

INSTITUTO SUPERIOR DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA HABANA

“FRUCTUOSO RODRIGUEZ PEREZ”

I NSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

“NUTRICIÓN, FERTILIZACIÓN Y BALANCE DEL FERTILIZANTE
NITROGENADO PARA EL CAFETO EN UN SUELO FERRALÍTICO
ROJO COMPACTADO”

TESIS PRESENTADA EN OPCION AL GRADO CIENTÍFICO DE
CANDIDATO A DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS.

AUTOR: LIC. RAMON RIVERA ESPINOSA

TUTOR: ING. EOLIA TRETO HERNANDEZ. C. DR.

LA HABANA
1987

SINTESIS

Se realizaron tres experimentos de campo y uno de micro parcelas con 15 N en el periodo agosto 1981-abril 1986, con el objetivo de establecer los rendimientos y balance del fertilizante ^{15}N para el cafeto, cultivado en suelo Farralítico Rojo compactado a plena exposición solar, su dependencia con la densidad de plantación, así como estudiar las transformaciones del N-fertilizante en el suelo.

En todos los casos se encontró una alta respuesta a la fertilización-N, dependiendo la eficiencia de esta de la densidad de plantación, originándose incrementos de 15 %. Al pasar de 5000 a 10000 plantas/ha. Se obtuvieron criterios de interpretación para el análisis foliar (% N), siendo definitorio el momento de muestreo para la utilización de este método. Las transformaciones del N-fertilizante en el suelo dependieron de la época de aplicación, encontrándose altas velocidades de denitrificación. Al cabo de 9 meses -1 año de realizada la aplicación, del 20-25 % permanecía en el suelo presentando una baja residualidad. < 1 %.

El balance del fertilizante-N (^{15}N) arrojó. que del 35-47 % fue absorbido por las plantas, siendo las pérdidas de un 27 %, aún en la aplicación de mayor aprovechamiento.

Se propone un sistema de fertilización-N para 5000 plantas/ha. basado en la extracción, balance y análisis foliar cuyas principales características son:

Plantación y 1er año 128-145 Kg. N/ha. segundo año, 204 Kg. N/ha. y en el tercer año, 306 Kg. N/ha para rendimientos de 15 a 20 t. c. cereza/ha.

I INTRODUCCION.

El N es el elemento que se utiliza en mayores cantidades en el mundo como fertilizante, estimándose un consumo de $70,5 \times 10^4$ t en el año 1985 (FAO, 1986) sin tener en cuenta el N aportado con los fertilizantes orgánicos, ni el fijado biológicamente. En nuestro país se presenta la misma tendencia y si en 1970 se utilizaron 140 000 t (Eolia Treto, 1982a), en 1985 el consumo se incrementó hasta 250 000 (FAO, 1986). A este aumento en la fertilización no han correspondido aumentos proporcionales en los rendimientos, siendo una imperiosa necesidad el encontrar las causas de esta baja eficiencia y las formas de incrementarla.

Las investigaciones agroquímicas en Cuba sobre el uso del fertilizante nitrogenado, se han caracterizado por enfocar los aspectos más apremiantes: obtención de dosis y fraccionamientos más adecuados y en algunos casos el establecimiento de los métodos de diagnóstico; sin embargo no se ha podido cuantificar la participación del nitrógeno del fertilizante y del nitrógeno del suelo en la nutrición de las plantas, lo cual ha impedido una valoración integral de los sistemas de fertilización utilizados, así como de la eficiencia de estos.

Por otra parte es mínima la información sobre los diferentes procesos que conforman el ciclo del N y que conllevan a pérdidas del sistema.(Soc. Cub. Ciencia del Suelo,1987).

A partir de la década del 70, comenzaron los trabajos con ^{15}N en Cuba, enfocados principalmente al aprovechamiento de los fertilizantes en la caña de azúcar y el arroz (Dinchev y col., 1974; María R. Romero y Caridad Pérez, 1983; López, 1984; Rivera y Eolia Treto, 1984,1985)y aunque la mayoría se han realizado en suelos Ferralíticos Rojos, no abordaron el estudio de las transformaciones del N en el suelo, obteniéndose en algunos de ellos, los primeros datos sobre las pérdidas del fertilizante nitrogenado en nuestras condiciones.

En relación con el café, se dispone de mucha menos información que con respecto a otros cultivos, comenzando el grueso de los trabajos de investigación a partir de finales de la década del 70.

Para el N se ha obtenido información preliminar en lo referente a dosis y tenores foliares adecuados en algunas zonas ecológicas (Martín, 1980a,b; Chala y col., 1985; González y col.,1986, Rodríguez y col., 1987),aunque con las limitaciones antes apuntadas; no

existiendo ningún resultado sobre los requerimientos del fertilizante, que conlleva la utilización de las altas densidades propuesta por Sara Cortes (1984).

Precisamente por los pocos resultados de investigación al respecto los Instructivos Técnicos (Cuba. MINAGRI, 1987) no se basan en los datos concretos del país.

En el café internacionalmente, es en los últimos años en que se ha comenzado a trabajar en el balance de los elementos, no obstante es mínima la información que se dispone sobre los procesos de transformación del nitrógeno del fertilizante e inclusive de su aprovechamiento, no teniendo referencia de ninguna publicación sobre el balance de la fertilización con ^{15}N en condiciones de campo.

La necesidad de materiales orgánicos para el café en el momento de la plantación, es un tema controvertido, no obstante existe consenso en su utilización en suelos erodados y poco fértiles (Carvajal, 1984). En Cuba no hay resultados de investigación en este aspecto, recomendándose hasta el momento una dosis única para cualquier tipo de condición edafoclimática en que se plante el café.

Por todo lo anterior y respondiendo a los acuerdos de la I Reunión Nacional de Agroquímica (ACC, 1983) y en virtud de los lineamientos dados por el II Congreso del PCC (Castro, 1980) y ratificados en el III Congreso del PCC (Partido Comunista de Cuba, 1986), sobre la importancia del café para nuestra economía es que se realizaron estos trabajos con los objetivos de:

- Estudiar la necesidad de la aplicación de abonos orgánicos y su relación con la fertilización mineral nitrogenada.
- Evaluar la eficiencia de la fertilización nitrogenada y su dependencia con la densidad de plantación.
- Establecer la extracción y distribución del nitrógeno en el café, así como estudiar la absorción y distribución del nitrógeno del fertilizante
- Obtener criterios de interpretación para los contenidos foliares de nitrógeno.
- Estudiar las transformaciones del nitrógeno del fertilizante en el suelo, el grado de inmovilización y su residualidad.
- Determinar la respuesta a la fertilización nitrogenada y establecer su balance, por el método isotópico, así como un sistema de fertilización en base a los criterios agronómicos obtenidos.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Crecimiento, absorción y requerimientos del nitrógeno por el café.

2.1.1 Requerimientos ecológicos del cultivo.- Carvajal (1972) plantea que el café se cultiva en una amplia variedad de condiciones ecológicas, en altitudes desde unos pocos metros sobre el nivel del mar hasta aproximadamente 2000 m, en los más diversos tipos de suelo, clima y sistemas de cultivo muy variados.

La precipitación anual ideal, en áreas de secano, de acuerdo con dicho autor debe estar entre 1600-1800 mm. Con un mínimo absoluto de cerca de 1000 mm, siendo un factor muy importante la distribución de las lluvias, considerando Campos (1978), que el mínimo de días con precipitación en el año debe ser de 145 días y el máximo de 245.

Con respecto a la temperatura (Carvajal, 1984) da rangos de media anual entre 17 y 23 °C, aunque hace referencia a algunos más amplios de 13-27°C; temperaturas por encima de este límite aceleran el crecimiento vegetativo y frecuentemente ocurre muerte descendente así como floración y fructificación limitadas (Rojas, 1987).

Los suelos para el café pueden ser de diferentes orígenes geológicos, derivados de basalto, gneis o piedra arenisca como en el Brasil, gneis y granito como en el occidente de África y en la India, de ceniza volcánica como en Colombia y América Central o de lava como en el este de África y Hawaii. (Geus, 1967)

Más importante que su origen geológico es su condición física. Los suelos para el cultivo del café deben ser profundos, friables, de textura abierta y permeables (Muller, 1966; Geus, 1967; Carvajal, 1984) muy relacionado con el alto requerimiento de oxígeno de las raíces, por lo que suelos pobremente drenados y arcillosos, son inapropiados, al igual que los arenosos de bajas relaciones hídricas.

En relación con la acidez del suelo, se considera que el café prefiere una reacción ligeramente ácida, con un pH de 6,0 - 6,5 (Geuss, 1967) o entre 5,0-5,5 (Valencia y Carrillo, 1983); pero se pueden obtener excelentes cosechas en suelos ácidos siempre y cuando las propiedades físicas sean satisfactorias.

Con pH inferiores a 4,5 se recomienda aplicar materiales calcáreos (Anónimo, 1978, Gómez y Suárez, 1979 y Santinato y col., 1984) fundamentalmente para neutralizar la

acidez tóxica, siendo mucho más tolerante al Al^{3+} que el Mn^{2+} (Abruña y col.,1965). En el supuesto caso que no exista acidez tóxica y los contenidos de calcio sean del orden de los 400 Kg./ha, generalmente no hay respuesta al encalado (Carvajal, 1984).

2.1.2 Algunas características del patrón de crecimiento del cafeto.

El patrón de crecimiento y desarrollo del cafeto depende de forma general de las condiciones de precipitación, temperaturas y longitud del día de la zona en que esté ubicada la plantación (Muller, 1966; Cannell, 1976), siendo señalada la importancia de su conocimiento con vistas a realizar las labores culturales e incrementar la producción, desde los tiempos de Wakefield (1933) citado por Cannell y Huxley (1970) De acuerdo con Cannell (1976) el patrón normal de crecimiento vegetativo en las regiones no ecuatoriales es lento en los días fríos y secos del invierno, cuando ocurre la iniciación floral y rápido en primavera cuando los días se alargan, los árboles florecen, las temperaturas se incrementan y las lluvias comienzan, ocurriendo el mismo en forma de flujos.(Wormer y Gituanja, 1970).

Uno de los aspectos más interesantes y fundamentales dentro de la fisiología del cultivo lo es la interacción crecimiento vegetativo aéreo, radical y del fruto. En la mayoría de las áreas productoras del mundo con estaciones bien definidas, coinciden las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para el rápido crecimiento vegetativo con la fructificación (Cannell, 1976 y Kumar, 1979b).

Y si bien en las primeras semanas de la fructificación, las exigencias de los frutos son mínimas y ocurre un fuerte crecimiento del follaje que puede ascender hasta el 60 % de los incrementos en materia seca (Cannell, 1971b), en la etapa de rápida expansión de los frutos, el crecimiento vegetativo aéreo disminuye y puede inclusive cesar de acuerdo a la magnitud de la futura cosecha (Beaumont y Fukunaga, 1958; Ortíz, 1960; Geus, 1967; Cannell, 1976; Kumar, 1979a; Rivera y Ofelia Sam, 1983 y Ramaiah y Venkataramanan, 1985).

Robinson (1960) consideró entre las causas fundamentales de disminución del crecimiento vegetativo, en presencia de condiciones climáticas propicias, al lavado de los NO_3^- -N en el suelo, pero actualmente se considera que está dado fundamentalmente por la priorización del crecimiento del fruto a expensas del crecimiento vegetativo (aéreo y

radical) (Cannell y Huxley, 1969; Cannell, 1971 a y b).

Las raíces se consideran como el órgano más seriamente afectado por la desviación de los productos del metabolismo hacia los frutos (Cannell y Huxley, 1970), lo cual además de disminuir la capacidad de absorción de los nutrientes (Epstein, 1971) conlleva a la disminución de los niveles de síntesis de hormonas (citoquininas) y otros metabolitos necesarios para toda la planta y que se sintetizan en las raíces jóvenes en crecimiento (Kumar, 1979b).

El hecho de que el cafeto produzca siempre en madera nueva, hace que la extensión del crecimiento vegetativo aéreo del año en cuestión defina la producción del siguiente año, por lo cual una alta producción que conlleve un débil crecimiento vegetativo, originará una pobre producción en el próximo año.

Esta interacción fisiológica es la base de la conducta bienal del cafeto, y se origina producto de la ausencia en la planta de un mecanismo regulador de la fructificación en base a sus posibilidades (Cannell, 1976) ocasionando la sobreproducción, y aunque ocurre más notoriamente en plantaciones a plena exposición solar con bajas densidades (Wormer, 1965), es un problema asociado a todas las regiones caficultoras del mundo (Beaumont y Fukunaga, 1958).

Cooily Nakayama (1953) citados por Cooil (1960), indicaron la importancia del balance de carbohidratos en la planta, no garantizando la síntesis de carbohidratos las necesidades de una alta producción. Trabajos posteriores de Wormer (1965) y Yu (1984) corroboraron estos resultados.

No obstante la sobreproducción no es la única causa de la descompensación y Wormer (1965) planteó que además del nivel de la cosecha, la humedad disponible, la sombra y el fertilizante N pueden afectar la razón del crecimiento durante los períodos de crecimiento acelerado. Estando asociado según Muller (1966) con deficiencias de otros elementos minerales. Clowes (1973) consideró el fenómeno de forma más general, como "die back" fisiológico, que puede ser debido a un desequilibrio entre el área foliar y la cosecha (sobreproducción) o por una pobre producción de hojas debido a condiciones adversas decrecimiento. Ambas dejan de garantizar la cantidad suficiente de productos de la fotosíntesis para las exigencias de la cosecha.

2.1.3 Absorción y traslocación del Nitrógeno.

El Nitrógeno es el elemento promotor del crecimiento en las plantas (Devlin, 1980) y no es el café una excepción. Sus funciones y necesidades están estrechamente asociadas conformar parte de las moléculas de proteínas, ser elemento constitutivo de los ácidos nucleicos, ser parte integral de coenzimas, de las moléculas de clorofila y de los citocromos (Carvajal, 1972).

Relacionado con lo anterior son los efectos positivos del N sobre el crecimiento de las raíces, formación de ramas primarias, de nudos / ramas, de flores / nudos, en el coeficiente de logro de los frutos cuajados, en la disminución de la caída prematura de frutos, en la mayor emisión de hojas e incrementar la capacidad de retención de las mismas; en el contenido de cloroplastos y por ende mayor asimilación de CO₂ y capacidad fotosintética; en aumentar la resistencia a la sequía y a su vez aumentar la abertura estomática en condiciones adecuadas de humedad y nutrición (Muller, 1959 a; Cannell, 1973; Kumar y Tieszen. 1976; Tesha y Kumar, 1970, 1978; Kumar, 1979 b; Snoeck y Reffye, 1980 y Snoeck, 1981), todo lo cual conlleva a mayor área foliar, plantas más vigorosas y mayor rendimiento.

El café al igual, que otras plantas absorbe fundamentalmente el N en forma de NH₄⁺ y NO₃⁻ aunque generalmente debe predominar la absorción de los NO₃⁻ por la alta nitrificación que existe en los suelos (Franco y Munns, 1982); sin embargo de trabajos en solución nutritiva (Méndez, 1956) se concluye que es imprescindible que una parte del N se absorba vía NH₄⁺, cuando el café alcanza la etapa de floración y fructificación.

Carvajal y col. (1969) estudiaron la absorción de los macronutrientes durante 1 año, en condiciones de solución nutritiva, encontrando que existen cambios súbitos en la velocidad de absorción de los diferentes elementos, asociados con los estados fisiológicos más importantes.

En condiciones de campo, Robinson (1960) encontró que en los períodos secos la falta de humedad limitaba la absorción del N, ocurriendo una rápida absorción con el inicio de las lluvias, así como un incremento en la [NO₃⁻-N] en el suelo. El efecto depresivo de la baja humedad del suelo sobre la absorción del N fue también probado en experimentos de macetas (Bravo y Fernández, 1964).

Muller (1966) señaló entre los factores que más influyen en la absorción del N:

- a) la precipitación y como una consecuencia las condiciones de humedad del suelo
- b) el ciclo de crecimiento del cultivo
- c) si el café es cultivado al sol o bajo sombra. Benar (1969) encontró las mayores absorciones de N al inicio de las lluvias y en el período de fuerte crecimiento de los frutos, siendo moderada en las etapas posteriores de crecimiento del grano y cosecha y débil al finalizar la misma y coincidente con la estación seca.

Son interesantes los resultados de Kumar (1979 a), Kumar y Tieszen (1976) quienes encontraron que aún cuando el déficit de humedad era de un 50 % de la capacidad de campo, la afectación no era muy importante sobre la absorción de macronutrientes y de un 25 % en el nivel de la fotosíntesis, aunque sí disminuyó significativamente la velocidad de crecimiento, señalando que el café es relativamente tolerante a la sequía y que debe ser irrigado cuando se alcanza este déficit.

El N en la planta, se encuentra en un alto porcentaje (85-98%) en forma de N orgánico, y el resto fundamentalmente como NO_3^- -N, dependiendo de la etapa fisiológica del cultivo (Benac, 1969) y de los contenidos de otros elementos (Cannell y Kimeu, 1971).

Carvajal (1967) en *Coffea arabica* encontró que la $[\text{NO}_3^-$ -N] en las hojas osciló entre 600 y 1500 ppm, mientras Benac (1969) en *Coffea canephora* obtuvo valores mayores, entre 720 y 4390 ppm, no obstante en ambos casos los valores mayores estuvieron asociados con el auge del crecimiento vegetativo y los menores inversamente relacionados con el crecimiento del fruto.

Los frutos fundamentalmente en la etapa de su rápida expansión son altos consumidores de productos del metabolismo y elementos minerales, lo cual origina un patrón de traslocación en función de sus necesidades (Muller, 1966; Cannell, 1970; Cannell y Huxley 1970) y que en gran parte explica la disminución en el contenido de macronutrientes, exceptuando el Ca, principalmente en las hojas maduras y viejas del café durante esta etapa (Muller, 1966, Benac, 1969, Cannell y Kimeu, 1971, Rivera y Martín, 1980 b).

Un estimado de la magnitud del consumo que de los elementos absorbidos hacen los frutos del café lo dan Cannell y Kimeu (1971) quienes encontraron que en plantas con alta producción, los mismos tomaron el 89, 95, 98 y 99 % del incremento neto en Mg, K, N orgánico y P respectivamente, consignando que los contenidos de dichos elementos en las diferentes partes del sistema vegetativo y radical estuvieron inversamente

relacionados con la existencia y magnitud de la cosecha.

2.1.4 Requerimientos de N por el café. Exportación.

El N junto con el K son los elementos que el café absorbe en mayores cantidades (Carvajal, 1984). Mehlich (1968) trabajando con *Coffea arábica* con una densidad de 1 345 plantas/ha, cultivado al sol, encontró que el café extrajo entre su segundo y tercer año 140,6 kg N/ha, distribuidos en 26,3%, 47,2%, 12,7 % y 13,7 h en los frutos, el follaje, las ramas y las raíces más el tallo respectivamente, para producciones de 1255 Kg. c. oro/ha.

Geuss (1967) consideró que los requerimientos de nutrientes para el café son altos y que parece razonable asumir que una ha. de café de crecimiento rápido y alto rendimiento extrae durante un año, 135 Kg. N, 34 Kg. P_2O_5 y 145 Kg. K_2O /ha respectivamente.

La magnitud de estas exigencias depende asimismo de si el café se cultiva al solo bajo sombra, siendo superiores en el primer caso debido a un crecimiento más vigoroso y mayor producción. (Geuss 1967, Kumar, 1979 b, Carvajal, 1984).

Cannell (1970) y Cannell y Kimeu (1971) obtuvieron que el café absorbe 150 Kg. N, 229 Kg. K_2O , 77 Kg. CaO y 25 Kg. MgO/ha anualmente, siendo mayor la absorción en la medida que las plantas presentaron una mayor producción.

En este caso la exportación en plantas con alta producción (2,5 Kg. masa seca frutos/planta) llegó a ser hasta del 42 del N absorbido durante 12 meses, estando el resto distribuido en: 31% en las hojas, 11 % en las ramas, 5 %. En el tallo y 11 % en las raíces.

En el caso de un cultivo perenne uno de los criterios agroquímicos que con más fuerza se maneja es el de la exportación por cosecha (Snoeck, 1980, Carvajal, 1984) basado en que el resto del N absorbido permanece en el sistema.

Cannell y Kimeu (1971) estimaron que en plantaciones de alrededor de 10 años de edad con un sistema de poda establecido, alrededor del 70 % del N anualmente absorbido retornaba al suelo por concepto de caída de hojas y poda, exportándose alrededor del 23 % para producciones medias de 1t café oro/ha. Aranguren y col. (1982a) también consideran la hojarasca como un "compartimiento" importante del N en la biomasa de un cafetal.

De forma general los resultados de diferentes trabajos (Carvajal, 1959; Muller, 1959b; Geuss, 1967; Glander, 1968; Cannell y Kimeu, 1971; Snoeck, 1980 y Bornesmiza, 1982) coinciden en que el % N en el fruto cosechado oscila entre 1,6-2,4 %, lo cual implica exportaciones de aproximadamente 5-7 Kg. N/t c.cereza o de 25-40 Kg. N/t. c.oro.

Siendo exportaciones poco importantes en las condiciones de baja producción <0,5 t c.oro/ha pero considerables en plantaciones con altos rendimientos de 3-5 t c.oro/ha año como los planteados por Mitchell (1974), Von Senger (1974) y Sara Córtes (1984).

2.2 Fertilización Nitrogenada.

2.2.1 Dosis.

La fertilización de un cultivo es una resultante de la integración de sus demandas y la intensidad de las mismas con las posibilidades del suelo de satisfacerlas. En el caso del Nitrógeno la mineralización de la materia orgánica del suelo, resulta de forma general insuficiente para garantizar las altas exigencias de su cultivo intensivo (Oruko, 1977a), dando por resultado que la respuesta a la fertilización-N sea muy positiva en el café (Muller 1966; Uribe y Mestre 1976; Carvajal 1984).

Uno de los factores que más ha influido en el incremento de las necesidades y la respuesta a la fertilización -N es la disminución de la sombra o la eliminación de la misma (Muller 1966, Geus 1967, Oruko 1977a), lo cual origina plantaciones más productivas, pero más exigentes en cuanto a manejo y fertilización. Geus (1967) plantea que la dosis óptima al sol, puede ser disminuida a la mitad para café sombreado y a 1/4 para intensamente sombreado.

En la Tabla 1 se presentan las dosis de N recomendadas para el cultivo del café en diferentes países así como las vigentes en nuestro país, y se puede observar que como criterio general se fertiliza de acuerdo al grado de producción esperado, lo cual es la integración de los diversos factores que determinan el crecimiento y desarrollo, y por ende la cosecha con las posibilidades de suministro del suelo y su complementación con los fertilizantes.

En Cuba en los últimos años se han obtenido resultados preliminares al respecto en diferentes zonas ecológicas (Martín 1990h; Chala y col., 1985; González y col.

Tabla 1.- Dosis de fertilizante-N en algunos países cafetaleros. Resultados de investigación y recomendaciones a los productores.

| Países | Rendimiento esperado | Dosis ; Fraccionamiento kg/ha | Referencia |
|-------------|----------------------------|--|---|
| Brasil | 1500 kg c. oro/ha | 160 ; 4 aplicaciones | Gaus, 1967. Moraes y col., 1985 |
| | 1285 kg c. oro/ha | 225-300 ; 4 aplicaciones | |
| Colombia | 7000 kg c. oro/ha | 360 ; 4 aplicaciones | Mitchell, 1974; Uribe y Salazar, 1981 |
| Costa Rica | 5600-7750 kg c. cereza/ha | 203 ; 3 aplicaciones | Oficina del Café, 1977 |
| | 8000-11100 kg c. cereza/ha | 263 ; 3 aplicaciones | |
| | >11000 kg c. cereza/ha | 323 ; 3 aplicaciones | |
| Cuba | > 700 kg c. oro/ha | 160 ; 2 aplicaciones | Cuba. MINAGRI, 1987 (suelos latosoles) |
| | < 700 kg c. oro/ha | 128 ; 2 aplicaciones | |
| Hawaii | 2100 kg c. cereza/ha. | 412 ; 4 aplicaciones | Gaus, 1967. |
| | 3600 kg c. oro/ha. | | |
| India | 1250 kg c. oro/ha | 40 kg vía suelo y 50 kg vía foliar; 3 aplicaciones | Iyengar y Awathramani, 1975. |
| | > 1000 kg c. oro/ha | 180-225 ; 3-4 aplicaciones | KrishnamurthyRao y Ramaiah 1985 |
| Kenya | < 1000 kg c. oro/ha | 80 ; 3 - 4 aplicaciones | Anónimo, 1978. |
| | 1000-1500 kg c. oro/ha | 140 ; 3 - 4 aplicaciones | |
| | 1500-2000 kg c. oro/ha | 140-200 ; 3 - 4 aplicaciones | |
| | > 2000 kg c. oro/ha | hasta 300 ; 3 - 4 aplicaciones | |
| Puerto Rico | 3000 kg c. oro/ha. | 340 ; 3 aplicaciones | Abruña y col., 1965. |

Tabla 2.- Contenidos de % N en hojas del 3er, ó 4to par y estado nutricional asociado, en diferentes países caficultores.

| País | Alto | Medio | Bajo | Deficiencia | Referencia |
|-------------|---------|--------------------------------------|-------------|--------------|--|
| Costa Rica | >2,80 % | 2,30-2,80 % | 2,00-2,30 % | <2,00 % | Chaverri y col, 1957 |
| Brasil | >3,40 % | 3,00-3,40 % | 3,00 % | - <2,40 % | Chaverri y col, 1957 Gallo y col, 1970 |
| Colombia | >3,00 % | 2,50-3,00 % | 2,00-2,50 % | <2,00 % | Machado, 1956. |
| El Salvador | - | 3,00 % (sol) 2,50-2,70 % (sombra) | - | - | Flora Espinosa, 1961. |
| Hawaii | >3,25 % | 2,00-3,25 % | - | - | Cooil, 1960. |
| India | >3,5 % | 2,5 - 3,5 % | <2,5 % | - | KrishnamurthyRao e Iyengar, 1975. KrishnamurthyRao y Ramaiah, 1985 |

1985,1986), siendo de forma general las dosis recomendadas, superiores a las plantadas por el Instructivo Técnico. (Cuba. MINAGRI, 1987), no obstante en algunos de los casos la eficiencia de la fertilización -N ha sido baja.

2.2.2 Fraccionamiento y vías de aplicación.

El fraccionamiento del fertilizante es una consecuencia de las transformaciones y dinámica del mismo en el suelo. En el caso del N, elemento que se caracteriza por su movilidad y estar sujeto a unas transformaciones y reacciones que disminuyen su disponibilidad (Franco y Munns, 1982), se aconseja de forma general fraccionarlo, muy ligado al patrón de crecimiento y por ende de exigencias, así como al de la humedad en el suelo (Muller, 1966; Geus, 1967; Mehlich, 1968, anónimo 1983a) .

Se recomienda en zonas donde existe una estación de lluvias y otra de seco bien definidas, aplicar el N conjuntamente con el P y K justamente al comienzo de las lluvias o 10 días después que comience el crecimiento principal. Una segunda aplicación después de la mitad de la estación de las lluvias, cuando la cosecha ejerza la máxima demanda y la tercera usualmente como urea o nitrato al final de la estación lluviosa cuando la humedad todavía permite la absorción del N. (Geuss. 1967)

Cada una de estas aplicaciones tiene un basamento fisiológico, y la tercera aplicación se recomienda para recuperar al cultivo de la cosecha, así como para que la planta enfrente las condiciones de sequía post-cosecha, que usualmente encuentra el cafeto en regiones con régimen de lluvias monomodal, con cantidades adecuadas de N, basado sobre todo en que plantas bien abastecidas de N, soportan mejor las condiciones de sequía, aumenta la retención de la hoja y disminuye la velocidad de transpiración del cafeto. (Tesda y Kumar, 1970 y 1978; Muller, 1966),

En áreas con dos estaciones de lluvia (Mehlich, 1968) se plantean diferencias en época, pero siempre manteniendo al menos 3-4 aplicaciones que pueden incrementarse hasta 5 6 más en zonas donde siempre exista humedad (Cooil y Fukunaga, 1969; Anónimo,1983b).

El fertilizante N generalmente se aplica vía suelo, y de acuerdo con Carvajal (1984) en la superficie del suelo, en banda o a voleo, con el cuidado de que el fertilizante esté comprendido en el interior de la proyección de la circunferencia que forman las ramas, pero sin estar en contacto con el tronco. En suelos de fuerte pendiente se recomienda

hacer la aplicación en semicírculo en la parte alta del suelo.

En las últimas décadas se ha generalizado por su alta efectividad la aplicación de N-vía foliar (Muller, 1966; Oruko, 1977b y BASF, 1978).

Esta aplicación, es más efectiva por el envés que por el haz de la hoja (Caín, 1956) y se utiliza generalmente, urea en concentraciones desde 0,5-2,5%, siendo absorbido al menos el 80% de N entre 24-48 horas. (Malavolta y Coury, 1957; Krishnamurth y Rao y col, 1976).

2.2.3 Fuentes de Nitrógeno Mineral.

Muller (1966) considera que casi cualquier tipo de fertilizante N ha sido utilizado en el café, aunque no abundan mucho los trabajos en este sentido. Al respecto, Abruña y col., (1963) no encontraron diferencias entre el uso del sulfato de amonio, nitrato de amonio, nitrato de potasio, nitrato amónico calcáreo y la urea, aunque todos superiores al NaNO_3 .

Moraes y col. (1976) concluyeron luego de 11 cosechas, que las mejores fuentes fueron el sulfato de amonio y el nitrocalcio. Oruko (1977a) plantea que después de 12 cosechas no se encontraron diferencias entre el nitrato de amonio y calcio, el sulfato de amonio y el nitrato sulfato de amonio, aunque los rendimientos fueron ligeramente superiores con el primero. Carvajal (1972) considera que la única fuente que consistentemente da más bajos resultados y que por tanto no debe utilizarse es el NaNO_3 .

Todo parece indicar (Robinson, 1961a; Muller, 1966; Mehlich, 1968; Valencia y col, 1975; Anónimo 1978) que entre los criterios más importantes para definir el tipo de fertilizante-N, además del económico están:

- a-su efecto residual acidificante,
- b- la acidez del suelo, su efecto sobre la disponibilidad y toxicidad de otros elementos y en especial los microelementos,
- c-los otros elementos que con el fertilizante se aportan,
- d- las características físicas de los suelos en unión con el régimen de lluvia y el propio manejo del cultivo (Oruko, 1977a).

En Kenya (Anónimo 1978) se recomienda el uso del sulfato de amonio en suelos ligeramente ácidos donde su efecto acidificante no cause problemas, y en los suelos

ácidos aplicar fertilizantes de residualidad neutra y de ser posible que aporten calcio, o la combinación de distintos tipos de fertilizantes en las distintas aplicaciones que se hacen en el año o en los años subsiguientes para buscar los efectos deseados.

Por supuesto el uso de los fertilizantes complejos (Mehlich, 1968; Carvajal, 1984) a veces limita estas decisiones, entonces son necesarias aplicaciones periódicas de enmiendas con vistas a mantener el pH en una zona relativamente óptima y evitar efectos que limiten el desarrollo del cultivo y la propia respuesta al fertilizante (Anónimo, 1983a).

2.2.4 Aplicación de Materia Orgánica.

Contenido de materia orgánica.-El contenido de materia orgánica de los suelos está regido fundamentalmente por el clima disminuyendo a medida que aumenta la temperatura media anual y aumentando con la precipitación. En algunas de las áreas donde se cultiva el café, los suelos tienen altos contenidos de materia orgánica oscilando entre 8 y 17% y hasta 20%. (Snoeck y Duceau, 1978; Mestre y Uribe, 1980 y Uribe, 1983) y en Brasil donde la precipitaciones menor (1200-1600mm) se considera que un suelo ideal debe tener un 5% de materia orgánica (Kupper, 1981).

En Puerto Rico (Anónimo 1968) si bien las áreas recomendadas para el cultivo del cafeto poseen entre 3-6% de materia orgánica, el criterio de contenido adecuado es de 3 % en suelos profundos, de buenas propiedades físicas y condiciones climáticas y aunque el contenido de nutrientes es bajo, se obtienen magníficos rendimientos de 2-3 t café oro/ha por medio de la fertilización y manejo adecuado.

Glander (1968) valora en alto grado el contenido de materia orgánica de los suelos, planteando que solo en el caso de suelos de buena calidad y bastante contenido de humus, pueden conservar los mismos la estructura favorable, humedad uniforme y condiciones de aeración que les permitan a las plantas de café producir rendimientos duraderos.

Otros autores como Franco y col. (1960) plantean que si bien las adiciones de materia orgánica persiguen mejorar las propiedades físicas y suministrar nutrientes, estos últimos se pueden garantizar a través de la fertilización y si los suelos tienen propiedades físicas adecuadas para el cultivo, no es necesaria la adición de materiales orgánicos. A su vez, hace referencia al cultivo en Hawaii (Ripperton y col., 1935, citado por Franco y col., 1960) donde con altas aplicaciones de fertilizantes se obtienen altos rendimientos en

suelos con bajo contenido de materia orgánica, no existiendo interés en elevar este contenido.

Todo parece indicar que al menos entre los límites planteados el contenido de materia orgánica no es limitante, no debiendo analizarse aislado de las propiedades físicas de los suelos, relieve y precipitaciones, y posiblemente más importante que una diferencia absoluta entre los valores de dos ecologías, lo sea la disminución que se presenta con respecto a los valores originales, ya sea por la erosión o el cultivo.

Según Glander (1968) resultados de trabajos realizados en Brasil indican que el contenido de humus en un suelo rojo después de 22 años de cultivo sin fertilizantes, disminuyó en un 39 %. Y en Costa Rica en suelos con largo tiempo de explotación, la materia orgánica disminuyó desde 4-6) hasta 1,5-2%.

Von Senger (1974) considera que la explicación de los altísimos rendimientos de alrededor de 4t café oro/ha en condiciones de producción en Kilimanjaro, está asociado con las fuertes aplicaciones de arropes y pulpas de café anuales durante 25 años que mantuvieron la estructura del suelo tan buena como la de las condiciones "vírgenes" bajo bosques.

Aplicaciones de materiales orgánicos.- Las aplicaciones de abonos orgánicos o materia orgánica influyen en la fertilidad de los suelos en varias formas (Glander, 1968; Anónimo 1978)

- aportando elementos minerales que se liberen gradualmente.
- aumentando la capacidad de intercambio catiónicos de los suelos, lo cual incrementa la reserva de nutrientes. Influyendo sobre la estructura de los suelos mejorando la
- compactación, retención de humedad, aireación y otras características físicas, las cuales influyen sobre el crecimiento y desarrollo del sistema radical.
- incrementando la actividad de la flora microbiana.
- incrementando la disponibilidad de elementos como el P a través de la formación de complejos orgánicos, bien sea con el P o con el Fe y el Al.

Carvajal (1984) a partir del análisis de diferentes resultados llegó a la conclusión que la utilización de abonos orgánicos es de gran valor cuando se cuenta con los materiales a discreción y bajo costo. Su empleo en plantaciones de café es particularmente ventajoso

en suelos erodados y de baja fertilidad. En los suelos buenos no se observa respuesta a la aplicación de materia orgánica.

De forma general se ha obtenido que la respuesta al estiércol se ve disminuida en presencia de fertilizante-N (Jones y col., 1960; Malavolta y Moraes, 1965, citados por Carvajal, 1984), recomendando Robinson y Wallis (1959) la mitad de la dosis de fertilizante-N cuando se aplica estiércol a suelos erodados. Moraes (1981) planteó que en Brasil el uso del estiércol a razón de 10 Kg. (peso seco) /cafeto año conduce casi siempre a resultados satisfactorios y que son mejores aún con complementos de fertilizantes minerales.

Además del estiércol otros residuos orgánicos se han utilizado en el cafeto, entre ellos la pulpa del café (Carvajal, 1984) de alto contenido en K y materia orgánica en dosis entre 5-10kg/planta.

Uribe y Salazar (1983) encontraron que la aplicación anual de 6kg pulpa/cafeto sustituía la fertilización mineral en suelos con altos contenidos de materia orgánica.

En Cuba pocos trabajos se han hecho al respecto en el cafeto. Rivera y Martín (1980a) encontraron que un fondo de estiércol (15 Kg./planta) y arroyo, aplicado durante la plantación de la variedad MundoNovo, en un suelo Ferralítico Rojo (2,7 % MO.) garantizaron un crecimiento óptimo hasta la época de las primeras floraciones a partir de la cual fue evidente la necesidad de complementar con fertilizantes minerales. No existiendo referencias a la utilización de la cachaza en el cafeto.

La cachaza ha sido utilizada ampliamente en Cuba como abono orgánico y mejorador (Aloma y col, 1974; Paneque, 1977; Medina, 1980) y en estos mismos suelos Arbola (1968) y Guijarro (1983) encontraron aumentos significativos en los rendimientos, con la adición de cachaza en caña de azúcar y plátano respectivamente, así como en los contenidos de materia orgánica, fósforo y calcio asimilables en el suelo.

En la actualidad se recomienda (Cuba. MINAGRI, 1987) aplicar 10 libras de materia orgánica /planta en el momento de la plantación, con independencia de las características ecológicas del área en cuestión.

2.2.5 Análisis Foliar.

Desde que Lagatu y Maume (1934) citados por Muller (1959b), sentaron las bases para el

diagnóstico foliar aplicado a la vid y a la papa, innumerables trabajos se han realizado en el mundo con vista a utilizarlo en los diferentes cultivos de importancia económica, siendo unos de los métodos de trabajo agroquímico más comúnmente usado (Malavolta 1971; Carvajal 1984).

El café no ha sido una excepción, y ya Muller (1966) en su revisión citó 90 trabajos, que de forma directa estaban relacionados con el tema, de los cuales el 57 % fueron realizados entre 1950-1959 y el 34 % entre 1960-1965. En los mismos se realizó el grueso del trabajo básico y metodológico al respecto.

Los objetivos del análisis foliar han sido expuestos entre otros por Robinson (1961b), Muller (1966) y de acuerdo con Carvajal (1984), algunos de los más importantes son:

- Diagnóstico de deficiencias minerales de elementos mayores y micronutrientes.
- Definición de antagonismos nutricionales o desequilibrios provocados por la fertilización excesiva.
- Estudio de la respuesta a los fertilizantes con respecto a la calidad y cantidad.
- Comprobación de la eficiencia del método de aplicación de los fertilizantes.
- Establecer correlaciones entre la producción efectiva y el estado de nutrición de la planta.
- Guía para una fertilización económica asociada con el análisis de suelo.

Muller (1966) en la revisión más completa hecha al respecto sobre el café, analiza los diferentes aspectos que tienen que ser tenidos en cuenta para aplicar el diagnóstico foliar, entre ellos: especie y variedad, posición de las hojas en la planta, edad de las hojas, tipos de ramas, número de hojas/planta y número de plantas/muestra, hora del día, periodo o época del año, influencias ecológicas, influencia de la forma de cultivarlo (al sol o a la sombra), preparación de las muestras, bases de comparación, forma de expresar la concentración, relaciones entre elementos, establecimiento de criterios de interpretación. Considerándose que el tejido indicador sean las hojas, debido a que son los principales sitios de la actividad metabólica en la planta, ya que los cambios en el suministro de los nutrientes son reflejados en la composición química de las mismas (Krishnamurthy Rao e Iyengar, 1975).

La mayoría de los aspectos a tener en cuenta son resultantes de la traslocación de los nutrientes y productos del metabolismo, lo cual está definido por el estado fisiológico del cultivo, las características de las relaciones de crecimiento entre los órganos y la

influencia de los factores ambientales. Producto de lo anterior se recomienda hojas de ramas fructíferas, situadas en la parte central de la planta (Loue, 1953; Muller, 1966; Carvajal, 1969) generalmente del cuarto par de hojas, que se consideran hojas "maduras" y fisiológicamente activas (Loue 1953, Lott y col, 1956, Chavarri y col, 1957), aunque en ocasiones de acuerdo con el patrón de traslocación específico de los nutrientes, se recomiendan hojas jóvenes para los elementos de baja traslocación (Carvajal, 1969).

Muller (1959b), a su vez considera más apropiado un análisis diferencial de los contenidos del cuarto par y de hojas más viejas, como criterio de valoración, basado en que el gradiente de concentración estima con mayor certeza la traslocación, el stress nutricional y por ende el estado nutricional de la planta.

La propia existencia de la variación estacional en el contenido de los elementos (Muller, 1959b, 1966; Forestier 1967; Carvajal y López 1965) hace que sea determinante la época de muestreo, aunque por supuesto dependiendo de los objetivos del muestreo foliar.

En los trabajos de Loue (1953), Cooil y col. (1958), Abruña y col. (1965), Galio y col, (1971) se encontraron altas relaciones entre el contenido de los elementos en la época de las floraciones principales y la producción y como generalmente a partir de este momento comienza con fuerza el crecimiento vegetativo, el análisis foliar en esta fecha es importante para evaluar el estado nutricional de la planta, aunque es bueno aclarar que valores adecuados en este momento, no implica que las plantas no se fertilicen. (Krishnamurth y Rao e Iyengar, 1975).

El muestreo en la etapa de máxima demanda del fruto (Muller, 1959b; Gallo y col. 1970; Valencia y Arcila, 1977; Carvajal, 1984) es a su vez también importante, en este caso para evaluar, como la planta enfrenta las exigencias de la cosecha en formación, así como las dosis de fertilizantes utilizadas y la necesidad de variación de las mismas.

Otro aspecto bastante estudiado, es el efecto del cultivo al sol o a la sombra, sobre los tenores foliares (Muller, 1959a,b,1966). La experiencia demuestra que en las áreas donde el café se cultiva a plena exposición solar, los % N son mayores que en las áreas bajo sombra.

La utilización del diagnóstico foliar necesita del establecimiento de tablas de interpretación o definición de las zonas de nutrición en función del contenido del elemento, las cuales deben ser obtenidas para cada ecología y forma de cultivar el café. (tabla 2)

Si bien la tabla 2 es una resultante de estudios con un solo factor nutricional limitante, en este caso N, y aunque válida, se hace hincapié en la necesidad de estudiar las relaciones entre elementos (Muller, 1966; Robinson, 1969a, b; Malavolta, 1978, citado por Carvajal, 1984), no debiéndose dudar de que un elemento es solo una parte del estado nutricional completo y no deben ser considerados aislados entre sí, e inclusive Malavolta, 1978, citado por Carvajal, 1984 señala que los tenores de nutrimentos en las hojas, por sí solos no siempre reflejan un estado nutricional estrictamente confiable.

Forestier (1967) planteó, que el diagnóstico foliar posibilita conocer y controlar el estado nutricional de una planta, pero cuando queremos conocer la relación entre la composición mineral de la hoja y la producción, surgen varias dificultades, ya que la nutrición mineral no es sino uno de los mecanismos fisiológicos de la planta, como también lo es la fotosíntesis. Los mismos intervienen conjuntamente y reaccionan simultáneamente de manera complicada.

Robinson (1961 b) a partir de sus resultados experimentales consideró el análisis foliar como una herramienta útil, aunque era necesario establecer relaciones entre los tenores observados y el rendimiento, estación climática, períodos decrecimiento, edad de la hoja y prácticas culturales para una lógica y detallada interpretación.

Muller 1966 planteó que no debía ser esperada una simple correlación entre la concentración de un nutriente en las hojas y la producción de una planta. Esto es debido a la multiplicidad de simultaneas reacciones fisiológicas y también a factores externos que son difíciles de reconocer e interpretar.

Los resultados de diferentes trabajos de investigación (Loue, 1958; Espinosa, 1961; Abruña y col, 1965; Valencia y Arcila, 1977) señalan la existencia de relaciones significativas entre el contenido de los elementos y la producción que mejoran con la inclusión de las precipitaciones (Galloycol., 1971), aunque esto no significa que las ecuaciones de regresión correspondientes se mantengan inalterables de año en año.

Es interesante el enfoque de Forestier (1967) quien planteó que no era útil hablar de relaciones lineales que solo son válidas cuando se cumplía la ley del mínimo y que debía ser más adecuado la delimitación de una zona óptima de nutrición en los diferentes elementos en la cual el rendimiento sería el mejor que pueda obtenerse en la región climática de que se trate. Dicho autor desarrolló este enfoque de zona óptima a partir de los contenidos de % N, % K, % Ca y % Mg.

Con anterioridad Loue (1962) y posteriormente Robinson (1969b) desarrollaron el análisis conjunto de los cationes para la interpretación de la nutrición catiónica, expresando los contenidos en meq/100g en vez de %.

Loue (1958) estableció una tabla de interpretación para los contenidos del N, P y K en el café, recomendando dosis de fertilizantes en función del estado nutricional del cultivo, sin embargo Snoeck (1984) y Snoeck y Lotodé 1985 plantean que el diagnóstico foliar no permite precisar la necesidad de los cafetos en cuanto a fertilizantes.

Carvajal (1984) y Krishnamurthy Rao y Ramaiah (1985) proponen un ajuste del sistema de fertilización-N en base a los resultados del análisis foliar realizado en varios momentos del año, siendo un enfoque flexible que supera la correspondencia unívoca, de una dosis de fertilizante-N para un determinado % N en las hojas.

A partir de la década del 60 Carvajal y López (1965) comenzaron a desarrollar para el N y el P, la determinación del elemento metabolitamente activo, y todo un trabajo básico se desarrolló al respecto, llegándose a proponer índices críticos de los contenidos de NO_3^- -N en las hojas (Carvajal, 1965; Gallo y col., 1971). Esta forma metabolitamente activa del N, según dichos autores, refleja mejor el estado nutricional del N que el % N total.

En la década del 70 e influido por los resultados de Bar Akiva y col., (1965, 1967) en cítricos, Carvajal introduce y perfecciona la determinación de la actividad de la nitrato reductasa en las hojas como indicador del estado nutricional-N del café. (Castillo y Carvajal, 1976; Villalobos y Carvajal, 1977, Cavallini y Carvajal, 1978).

Entre las características de este método está el que no contempla la existencia de nivel crítico alguno, y sí el grado de respuesta que es una función del nivel de actividad enzimática y los factores externos e internos que lo gobiernan (Carvajal, 1978).

En Cuba se han publicado pocos trabajos sobre el uso del análisis foliar en el café (Rivera y Martín. 1980; Martín, 1983a; González y col., 1986) y en todos los casos basados en el contenido de N de las hojas(% N), encontrándose que tenores entre 3,0-3,30 en la época de las floraciones principales, son indicativos de un estado nutricional adecuado.

2.2.6 Densidad y Fertilización.

Uno de los factores que más ha incidido en los aumentos del rendimiento en las áreas

Tabla 3.- Densidades de plantación recomendadas en diferentes países caficultores. Resultados de investigaciones

| Densidad recomendada plantas/ha | Rendimiento anual | Observaciones |
|---------------------------------|-----------------------|---|
| 10,000 | 7,42 t.c.pergamino/ha | media de 6 localidades y 5 cosechas. Superior en 62 % al rendimiento de 2500 plantas/ha y 20 % a 5000 plantas/ha Colombia. Valencia (1973), Uribe y Mestre (1980). |
| 8,300 | 19,2 t. c.cereza/ha | media de 3 localidades y 2 cosechas. Superior en 10 % al rendimiento de 4170 plantas/ha. En 2 de los sitios la densidad más adecuada fue 12500 plantas/ha. Costa Rica. Oficina del Café (1977). |
| 10,000 | 8,11 t. c.cereza/ha | media de 4 cosechas. Superior en 29 % al rendimiento de 5000 plantas/ha y 3,26 veces mayor que el de 1250 plantas/ha. Camerun. Bouharmont (1981). |
| 12,500 | 18,4 t.c.cereza/ha | media de 3 cosechas, superior en 54 % al rendimiento de 5000 plantas/ha. Cuba-café bajo riego, a plena exposición solar. 140 m.s.n.m. Cortés, Sara (1984). |
| 12,500 | 18,7 t.c.cereza/ha | media de 2 cosechas, superior en 100 % al rendimiento de 5,000 plantas/ha. Cuba-650 m.s.n.m. Cortés, Sara (1984). |

cafetaleras del mundo ha sido el incremento en las densidades de plantación. De las densidades utilizadas comercialmente para *coffea Arabia* hace 20 años de aproximadamente 1000-1200 plantas/ha se ha pasado a 5000 plantas/ha (Mitchell, 1960, 1966; Browning y Fisher, 1975; Oficina del Café, 1976) e inclusive los resultados de Valencia (1973), Oficina del Café (1977), Kumar (1978); Uribe y Mestre (1980); Bouharmont (1981) y Sara Cortés (1984) recomiendan el uso de mayores densidades, desde 10000 hasta 12500 plantas/ha, siendo la densidad de 10000 plantas/ha usual en plantaciones tecnificadas en Colombia (Carvajal, 1984).

Browning y Fisher (1976) encontraron que el aumento de la densidad de plantación hasta 5000 plantas/ha, eleva los rendimientos en 2-4 veces con respecto a los sistemas convencionales. En la tabla 3 se presentan los resultados de algunos trabajos realizados en diferentes países, en los cuales se recomienda el uso de densidades cercanas a 10000 plantas/ha.

La densidad óptima es una resultante de la ecología, variedad, manejo de la plantación, siendo muy interesante la observación de que en Kenya, en la medida que las condiciones son más adversas (baja altura, clima más cálido y seco) las densidades óptimas encontradas son mayores (Browning y Fisher, 1976).

La mayor cantidad de trabajo básico que fundamenta la utilización de las altas densidades se ha llevado a cabo en Kenya (Huxley y Cannell, 1970; Cannell, 1976; Kumar y Tieszen, 1976; Kumar, 1978, 1979a,b) a partir de los cuales se ha concluido que desde un punto de vista fisiológico y agronómico las altas densidades son más apropiadas para el cultivo del cafeto, debido a su bajo punto de compensación luminosa para la fotosíntesis, sustituyéndose la presencia de los árboles de sombra por el autosombreamiento del cafeto.

El propio auto sombreado, producido por las altas densidades, permite obtener una óptima distribución de luz en la plantación y una temperatura más adecuada en las plantas elevando la eficiencia del proceso fotosintético (Kumar, 1978), una mejor relación hojas/frutos disminuyendo la tendencia a la sobreproducción (Browning, 1973; Cannell, 1976; Kumar 1979a), así como se logra una mejor explotación del agua del suelo, no incrementándose sensiblemente las necesidades de agua hasta densidades de 10000 plantas/ha (Fisher y Browning, 1978; Kumar, 1978).

Con respecto a su efecto sobre las necesidades de fertilizantes, es poca la investigación

publicada al respecto (Mestre, 1977; Uribe y Salazar,1981; Matiello y col., 1984),aunque todos coinciden en que las altas densidades incrementan la eficiencia de la fertilización requiriendo ligeros incrementos de fertilizantes debido a la mayor extracción de N y rendimientos .

Kumar (1978) a partir de los resultados del análisis foliar en plantas de diferentes densidades, llegó a la conclusión que era evidente una mejor eficiencia de la fertilización en las mayores densidades, relacionándolo con la mayor cantidad de raíces que explora el suelo, siendo esto último también planteado por Cassidy y Kumar (1984).

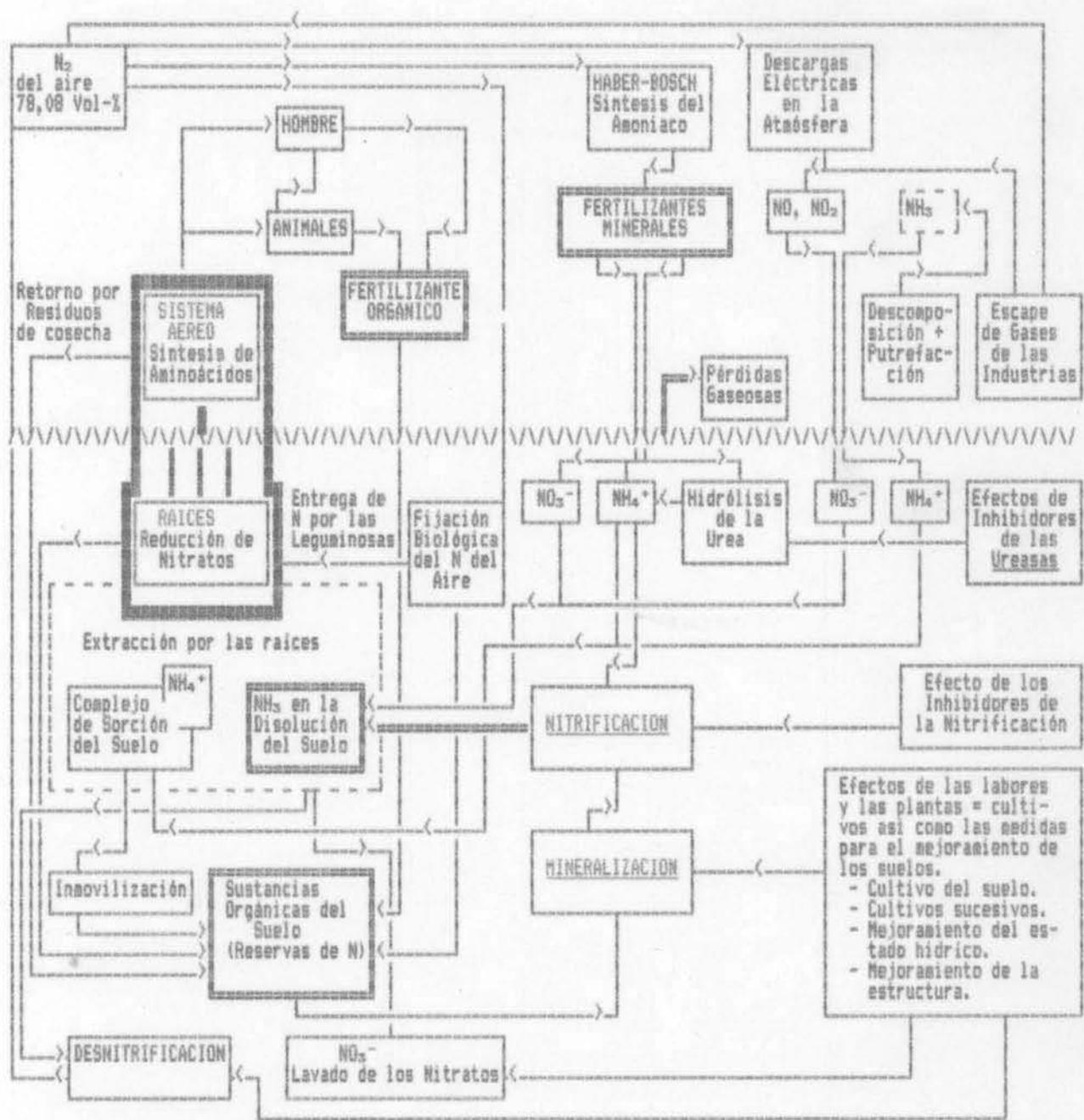
2.3 Balance y aprovechamiento del fertilizante-N por las plantas.

El nitrógeno esta sometido a uno de los ciclos más complejos que posee elemento alguno en la naturaleza (fig. 1) y debido a los diferentes procesos en que interviene, que conllevan a pérdidas del sistema suelo-planta (Black, 1968), el aprovechamiento o eficiencia de la fertilización no puede ser muy alto. Aún en los años en que no se disponía de ^{15}N , se estimaba un aprovechamiento del fertilizante-N que oscilaba entre 35 y 50% de acuerdo con Allison (1955).

A partir de la década del 50 se introduce el isótopo ^{15}N en las investigaciones agrícolas (Hauck, 1971), siendo reconocida desde la década del 70, la imprescindibleidad del mismo en las investigaciones referentes a evaluar hacia donde va el N-fertilizante e inclusive para estimar su aprovechamiento por las plantas en condiciones de campo (Broeshart, 1974; Fried y col, 1975; Fried, 1978),y es la base de su creciente utilización, aún teniendo en cuenta su alto costo.

Westerman y Kurtz (1974) estudiaron en condiciones de campo diferentes métodos para evaluar el coeficiente de aprovechamiento, basados en el método de las diferencias y en el isotópico, y concluyeron que las variantes en que no se usó el método isotópico, siempre sobreestimaron el coeficiente de aprovechamiento del fertilizante-N por el cultivo, en un rango de 17-35 %.,lo cual también fue determinado por Broeshart (1974), Fried (1978), López (1984) y Olson y Swallow (1984).

La explicación de esta sobre estimación se basa en el denominado efecto "extra" que causa el fertilizante N sobre el aprovechamiento del N-suelo. (Hauck, 1971; Westerman y Kurtz1973; Korenkov y Rudelev, 1984; Pomazkina,1985).Es decir, no se puede suponer




PLANTA /\/\/\/\/\ **SUELO**

Fig. 1: Ciclo del nitrógeno (adaptado de Markgraff, 1977).

que el aprovechamiento del N del suelo se mantiene inalterable con y sin fertilizante-N, lo cual es la base del método de las diferencias.

En la tabla 4 se resumen los resultados de algunos de los muchos trabajos hechos en el mundo sobre el aprovechamiento y balance de fertilización-N, dependiendo el (%) de N recobrado por la planta del tipo de experimento, del portador, momento, forma y fraccionamiento del fertilizante-N, del clima, cultivo, tipo de suelo y manejo del mismo, irrigación etc, no obstante de forma general el coeficiente de aprovechamiento no es alto, existiendo un alto porcentaje de pérdidas.

2.3.1 Balance del Nitrógeno.

Si bien es importante el balance de la fertilización-N, esto no es más que parte de una cuestión más capital, del balance del N en el sistema suelo-planta.

Los resultados de muchos trabajos entre ellos Jenny (1933) citado por Black (1968), Glander (1968), Snoecky Duceau (1978), Salter y Green (1933) citados por Lamb y col. (1985) y los de estos últimos autores, demuestran la disminución en el nitrógeno y carbono del suelo, producto del cultivo. Winteringham (1980) presentó información acerca del balance general del N en cuanto a aportaciones y pérdidas, observándose como en algunos países, aún cuando se utiliza un alto nivel de fertilización-N, las pérdidas son mayores que las ganancias en el sistema.

Pomazkina (1985) estudió el balance del N en suelos de Chernozem y de prados con ION, obteniendo en el primer suelo balances negativos con las dosis óptimas de fertilizantes, llegando a la conclusión que el fertilizante nitrogenado al fortalecer la mineralización del N (efecto extra) aumenta la intensidad del ciclo del N, no propiciando en este caso la acumulación del N en el suelo, concluyendo que es necesaria la aplicación conjunta de fertilizantes minerales y abonos orgánicos para mantener balances adecuados y la fertilidad en dichos suelos.

Lamb y col. (1985) en experimentos de 10 a 12 años, encontraron balances negativos relacionados con el grado de laboreo, aún en condiciones de aplicación de residuos orgánicos. Tchumak y col. (1985) también obtuvieron balances negativos del N en diferentes rotaciones de trigo, maíz, cereales y remolacha azucarera en las condiciones de Ucrania. Hauck (1971) señalaba que los estudios realizados para incrementar la eficiencia en el uso del fertilizante-N, debían también ser dirigidos hacia la obtención de datos complementarios que describieran el curso completo del N, a través y proveniente del

Tabla 4.- Balance del N-fertilizante (¹⁵N) en diferentes condiciones.

| Autor(es) | Año | Condiciones de trabajo. | N-fertilizante (%) | | | | | No* detectado |
|----------------------|------|--|--------------------|-----------------|----------|-------------------|--------------|---------------|
| | | | Plantas | Suelo | Pérdidas | | Lavado | |
| | | | | | gasmosas | volatilización | | |
| Owens | 1960 | lisímetros | 15-24 | 38 ^A | 33 | | 5-20 | |
| Takahashi | 1964 | microparcelas | 22-27 | 55 | | | | |
| Takahashi | 1967 | campo | 26-35 | | | | | |
| Olsen y col. | 1970 | campo | 46 | 26 | | | | |
| Badzhov e Ikonova | 1971 | campo maíz | 8,5-13,0 | 37-43 | | | 1-1,66 | 45-47 |
| | | trigo | 40-43 | 28-33 | | | 0,1-0,85 | 24-27 |
| | | avena | 56-66 | 22-24 | | | | 11-23 |
| Hauck | 1971 | cultivos | 50-75 | | 0-40 | | | |
| | | pastos | 50-70 | | 25-35 | | | |
| Zasyatina | 1971 | invernadero, lisímetros, campo | 30-70 | 7-45 | | | | 11-35 |
| Olsen y col. | 1979 | campo | 48-57 | 23-28 | | | | 19,7-23,4 |
| Anónimo | 1980 | columnas NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻ | 27-32 24-44 | 25-46 37-52 | | 22-36** 0-15** | 0-10 0-39 | |
| Myers | 1983 | campo | 16-32 | 32-48 | | | | 36 |
| Strelnikova | 1983 | lisímetros | 39,8-54,8 | 13,3-30,6 | 3,8-38,2 | | 7,3-17,3 | |
| Olsen y Swallow | 1984 | microparcelas | 30-33 | 46,6-54 | 16-20 | | | |
| Maltsev | 1985 | microparcelas | | | | | | |
| | | a) voleo | 31 | 21-27 | | | | 45 |
| | | b) localizado | 50 | 21-27 | | | | 28 |
| Pomazkina | 1985 | invernadero | 49,2 | 16,1 | | | | 34,7 |
| | | microparcelas | 33,5 | 17,8 | | | | 48 |
| Rivera y Eolia Treto | 1985 | campo | 33 | 30-40 | | | 3-10 | 17-34 |
| Ng Kee Khong y col. | 1986 | columnas | 37,5 | 26 | | 22,8** | 11,5 | |
| Shabaev. | 1986 | invernadero | 72,5 | 15 | 12,5 | | | |

* Si bien la categoría no detectada se refiere a pérdidas, en ocasiones no se diferencio entre el tipo de de estas, respetándose la denominación del autor(es).

** Los autores no diferencian entre pérdidas por desnitrificación y por volatilización.

suelo, planteando que debía superarse el punto de vista agronómico-práctico de solo preocuparse por el N que incrementa los rendimientos.

Roswall y Paustian (1984) plantearon que el conocimiento cuantitativo del ciclo del N en los agro-ecosistemas es todavía insatisfactorio, así como la necesidad de conocer la importancia relativa de las pérdidas con vistas a diseñar manejos que sean más eficientes en conservar el N en el sistema. A su vez, realizaron 4 balances preliminares en experimentos a largo plazo (23 años), estimando pérdidas netas anuales entre 50-90 Kg. N/ha.

Macduff y White (1984) hacen menciona dificultades encontradas en los estudios de balance-N debido a las variaciones temporales y espaciales en el N-mineral, así como que en las condiciones reales no son válidas determinadas simplificaciones que se realizan, señalando que si el balance completo quiere ser realizado con precisiones necesario un completo y caro programa de muestreo.

En condiciones tropicales se han obtenido algunos resultados preliminares e incompletos acerca del balance del N en diferentes cultivos (Aranguren y col., 1982b; Bornesmiza, 1982; Gliessman, 1982; Pereira, 1982; Santana y Cabala, 1982; Rusche y Vose 1982, Valdivia 1982).

En el caso del cafeto se han realizado fundamentalmente en la década del 80 (Grima y Fasbender, 1981; Fasbender y Grimm 1981a,b; Aranguren y col., 1982a; Roskoski, 1982; Alpízar y col., 1985) y dirigidos a evaluar la extracción y exportación del cultivo, y el inventario del N en los diferentes compartimentos del sistema, así como la disponibilidad del N fijado por las plantas leguminosas de sombra, a través de la descomposición de la hojarasca y otros residuos que caen al sistema.

Estos trabajos aunque completos en algunos aspectos, no brindan información acerca de las pérdidas por lavado, erosión y gaseosas, ni sobre la inmovilización del N-fertilizante en el suelo.

En Cuba ha sido mínima la investigación realizada al respecto, y si bien existe información sobre la exportación y en algunos casos extracción de los cultivos (Pérez, 1982; Guijarro, 1983; Eolia Treto, 1982c; Rivera y col., 1985; Castro, 1986), sin embargo no existe prácticamente información sobre el balance del fertilizante-N, la cuantificación de los procesos de pérdidas, inmovilización, así como sobre el balance del N en el sistema suelo-planta-fertilizante.

Estos trabajos aunque completos en algunos aspectos, no brindan información acerca de las pérdidas por lavado, erosión y gaseosas, ni sobre la inmovilización del N-fertilizante en el suelo.

En Cuba ha sido mínima la investigación realizada al respecto, y si bien existe información sobre la exportación y en algunos casos extracción de los cultivos (Pérez, 1982; Guijarro, 1983; Eolia Treto, 1982; Rivera y col., 1985; Castro, 1986), sin embargo no existe prácticamente información sobre el balance del fertilizante-N, la cuantificación de los procesos de pérdidas, inmovilización, así como sobre el balance del N en el sistema suelo-planta-fertilizante.

Por todo lo anterior reviste una gran importancia realizar estos estudios en nuestras condiciones, y a que permiten inicialmente estimar la magnitud de los diferentes procesos que tienen lugar, en función de las condiciones concretas, e ir hacia la búsqueda de métodos que permitan elevar la eficiencia de la fertilización y mantener un balance adecuado del N y de la fertilidad del suelo.

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Condiciones experimentales.

Para alcanzar los objetivos propuestas se realizaron 4 experimentos de campo en *Coffea arábica* L. var. Caturra sobre suelo Ferralítico Rojo compactado (Hernández y col., 1975) en áreas de 1a Estación Central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) a 138 m sobre el nivel del mar en San José de las Lajas, provincia a La Habana.

Las principales características químicas del suelo, así como de la precipitación (m.m.) y la temperatura (°C) en el periodo experimental se presentan en las tablas 5 y 6. En todos los casos el café se cultivó la plena exposición solar y con una frecuencia de irrigación similar a la planteada en el Instructivo Técnico (Cuba. MINAGRI, 1987).

3.2 Métodos experimentales.

3.2.1 Descripción de los experimentos 1, 2 y 3.

Experimento 1.-Fertilización N x abono orgánico. Fue plantado en septiembre de 1982 con una densidad de 5000 plantas/ha (2 x 1 m). Se estudiaron dos fuentes de abono orgánico: cachaza y estiércol (tabla 7), tres dosis de los mismos: 0, 4 y 8 kg de materia seca/planta aplicados solo en el momento de la plantación, así como tres sistemas de

Tabla 5. Expto 1, 2 y 3.- Características químicas iniciales de las áreas experimentales. (0-30 cm).

| | pH-H ₂ O | pH-KCl | M.O. % | N-total % | P-disponible* ppm | K ⁺ *** meq/100g | Ca ²⁺ meq/100g | Mg ²⁺ meq/100g |
|---------------|---------------------|--------|-----------|--------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Experimento-1 | 6,3 | 5,4 | 2,70 | | 52 | 0,67 | 12,9 | 0,8 |
| Experimento-2 | 6,1 | 5,6 | 2,30 | | 40 | 0,90 | 9,2 | 1,2 |
| Experimento-3 | 6,0 | - | 3,0 | 0,178 | 43 | 0,5 | 12,0 | 1,1 |

* P-disponible - Bray-Kurtz-1.

** Cationes intercambiables - NH₄Ac. 1N.

Tabla 6.- Precipitación (m.m.) y temperatura media (°C) mensual en el periodo 1981-1986.

| Precipitación | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Total. |
|---------------|-------|-------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| 1981 | 12,2 | 73,0 | - | 55,0 | 181,5 | 273,9 | 199,9 | 174,1 | 124,4 | 93,7 | 26,7 | 6,4 | 1220,8 |
| 1982 | 24,1 | 66,6 | 38,7 | 76,7 | 124,7 | 1069,7 | 221,8 | 63,9 | 194,0 | 124,6 | 150,9 | 17,2 | 2155,7 |
| 1983 | 174,5 | 158,3 | 106,2 | 53,5 | 59,9 | 388,0 | 125,0 | 153,4 | 242,4 | 169,2 | 34,3 | 93,7 | 1760,4 |
| 1984 | 41,1 | 34,9 | 74,5 | 23,9 | 88,5 | 209,1 | 231,5 | 45,7 | 136,3 | 53,6 | 106,0 | 0,0 | 1045,1 |
| 1985 | 33,0 | 17,0 | 18,0 | 55,4 | 139,2 | 183,6 | 195,1 | 302,1 | 89,4 | 118,4 | 228,7 | 24,1 | 1404,0 |
| 1986 | 18,6 | 92,8 | 99,3 | 1,6 | 112,1 | 272,2 | 118,1 | 304,7 | | | | | |

| Temperatura °C | ene. | feb. | mar. | abr. | mayo | jun. | jul. | agos. | sept. | oct. | nov. | dic. | Media anual |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|----------------|
| 1981 | 20,2 | 21,0 | 23,9 | 25,5 | 26,4 | 26,4 | 26,5 | 25,7 | 26,7 | 24,6 | 21,2 | 20,5 | 24,1 |
| 1982 | 20,7 | 22,3 | 23,5 | 24,8 | 24,7 | 26,1 | 26,3 | 26,8 | 25,6 | 24,4 | 22,8 | 21,7 | 24,1 |
| 1983 | 20,4 | 20,0 | 20,8 | 22,3 | 24,8 | 25,5 | 26,0 | 25,9 | 25,3 | 24,8 | 22,8 | 21,8 | 23,3 |
| 1984 | 20,2 | 20,5 | 21,6 | 23,5 | 24,8 | 25,2 | 25,4 | 25,8 | 24,6 | 24,0 | 21,6 | 21,1 | 23,2 |
| 1985 | 17,7 | 20,8 | 22,2 | 22,3 | 24,6 | 25,8 | 25,5 | 25,7 | 25,3 | 25,1 | 23,4 | 20,4 | 23,2 |
| 1986 | 19,7 | 20,8 | 21,1 | 21,7 | 24,6 | 25,4 | 26,4 | 25,8 | | | | | |

Tabla 7. Expto 1.- Características químicas en base seca de los abonos orgánicos utilizados.

| Abono orgánico | M.O.% | N.% | P.% | K.% |
|----------------|-------|------|------|------|
| Estiércol | 35 | 1,85 | 0,31 | 1,25 |
| Cachaza | 35 | 1,85 | 0,70 | 0,21 |

Tabla 8. Expto 1.- Niveles de N, P₂O₅ y K₂O utilizadas en cada año. (kg/ha)

| | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|-------------------------------|------|------|------|------|
| N ₀ ** | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N ₁ | 40 | 40 | 120 | 120 |
| N ₂ | 80 | 80 | 200 | 200 |
| N ₃ | | | 280 | 280 |
| P ₂ O ₅ | 100 | 100 | 100 | 50 |
| K ₂ O | 120 | 150 | 300 | 300 |

* Los niveles-N enmarcados en la línea continua, constituyen los estudiados cada año en el factorial.

** El nivel N₀ a partir de 1984, se consideró como testigo de referencia.

Tabla 9. Expto 1.- Portadores, momentos de aplicación y fraccionamiento-N utilizado.

| | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | |
|-------------------------------|--------|------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| N | 20-0-0 | 100%-sept. | 50%-marzo 50%-junio | 40%-feb. 30%-jun. | 40%-marzo 30%-junio |
| | 46-0-0 | | | 30%-oct. | 30%-dic. |
| P ₂ O ₅ | 0-20-0 | 100%-sept. | 100%-marzo | 100%-feb. | 100%-marzo |
| K ₂ O | 0-0-60 | 100%-sept. | 100%-marzo | 100%-feb. | 100%-marzo |

Tabla 10. Expto 2.- Niveles de N, P₂O₅ y K₂O utilizados en cada año (kg/ha).

| | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 |
|-------------------------------|------|------|------|------|
| N ₀ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N ₁ | 40 | 40 | 40 | 80 |
| N ₂ | 80 | 80 | 80 | 160 |
| N ₃ | 120 | 120 | 120 | 240 |
| N ₄ | 160 | 160 | 160 | 320 |
| N ₅ | 200 | 200 | 200 | 400 |
| P ₂ O ₅ | 75 | 75 | 75 | 100 |
| K ₂ O | 75 | 150 | 240 | 290 |

Tabla 11. Expto 2.- Portadores, momento de aplicación y fraccionamiento-N utilizado.

| | Portador | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 |
|-------------------------------|----------|------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| N | 20-0-0 | 100%-sept. | 50%-abril 50%-julio | 40%-abril 30%-julio | 40%-abr. 30%-jul. |
| | 46-0-0 | | | 30%-nov. | 30%-nov. |
| P ₂ O ₅ | 0-20-0 | 100%-sept. | 100%-abr. | 100%-abr. | 100%-mar. |
| K ₂ O | 0-0-60 | 100%-sept. | 100%-abr. | 100%-abr. | 100%-mar. |

fertilización mineral-N en presencia de un fondo fijo anual de P_2O_5 y K_2O en un diseño bloques al azar, método factorial con cuatro repeticiones. A partir de marzo de 1984 en el tratamiento N_0PK constituyó un testigo de referencia.

Los niveles de fertilizante mineral N estudiados, así como los de P_2O_5 y K_2O se presentan en la tabla 8, mientras que los portadores, momento de aplicación y fraccionamiento utilizados se muestran en la tabla 9. Las parcelas estuvieron constituidas por 25 plantas, de las cuales se consideraron las nueve centrales para las diferentes evaluaciones.

Experimento2: Fertilización N x densidad de plantación. Se plantó en septiembre 1981, se estudiaron tres densidades de plantación: 5000 plantas/ha (2 x 1 m.), 6666 plantas/ha (2 x 0,75 m) y 10000 plantas/ha (2, x 0,5 m) y seis sistemas de fertilización N, sobre un fondo fijo anual de P_2O_5 y K_2O , en un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones.

Los niveles de fertilizante mineral-N estudiados, así como los de P_2O_5 y K_2O se presentan en la tabla 10, mientras que los portadores, momentos de aplicación y fraccionamiento utilizados se muestran en la tabla 11.

El número de plantas/parcela varió en función de la densidad de plantación, siendo de 25, 30 y 50 para 2 x 1, 2 x 0,75 y 2 x 0,5 m, seleccionándose 9, 12 y 12 plantas de cálculo respectivamente, de la zona central de cada parcela.

Experimento3: Eficiencia de la fertilización-N para 5000 y 10000 plantas/ha. Se plantó en septiembre 1982. Se estudiaron dos sistemas de fertilización-N y dos densidades de plantación, 5000 y 10000 plantas/ha, en presencia de un fondo fijo anual de P_2O_5 y K_2O respectivamente en un diseño de bloques al azar, método factorial, con siete repeticiones.

Los niveles de fertilizante-N estudiados, así como los de P_2O_5 y K_2O se presentan en la tabla 12, mientras que los portadores, momento de aplicación y fraccionamiento utilizados se muestran en la tabla 13.

El número de plantas/parcelas fue de 24 y 14 para los tratamientos fertilizados-N en las densidad es de 5000 y 10000 plantas/ha respectivamente y de 10 plantas/parcelas, para los tratamientos no fertilizados-N.

3.2.2 Evaluaciones en los Experimentos 1, 2 y 3.

- Mediciones morfológicas. En los experimentos 1 y 3 se midieron la altura y el diámetro de la copa (cm) con una periodicidad de tres veces al año, previo a la fertilización-N, a

Tabla 12. Expto 3.- Niveles de N, P₂O₅ y K₂O utilizados en cada año (kg/ha).

| | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|-------------------------------|------|------|------|------|
| N ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N ₁ | 80 | 80 | 200 | 200 |
| P ₂ O ₅ | 50 | 50 | 40 | 50 |
| K ₂ O | 30 | 100 | 240 | 300 |

Tabla 13. Expto 3.- Portadores, momento de aplicación y fraccionamiento-N utilizado.

| | Portador | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|-------------------------------|----------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| N | 20-0-0 | 100%-sep. | 50%-mar. 50%-jul. | 40%-mar. 30%-jul. | 40%-feb. 30%-jun. |
| | 46-0-0 | | | 30%-oct. | 30%-nov. |
| P ₂ O ₅ | 0-20-0 | 100%-sep. | 100%-mar. | 100%-mar. | 100%-feb. |
| K ₂ O | 0-0-60 | 100%-sep. | 100%-mar. | 100%-mar. | 100%-feb. |

partir del año de realizada la plantación. En el experimento 2 la frecuencia fue de dos veces al año, coincidente con la primera y última aplicación anual del fertilizante-N.

-Análisis del suelo.-En los tres experimentos, al inicio y en febrero-marzo de los restantes años, siempre previo a la primera fertilización del año en cuestión, se tomaron muestras de suelo de la capa superficial (0-30 cm) de cada parcela. Cada muestra estuvo compuesta por 6 submuestras, correspondientes cada una a una planta de cálculo, tomadas debajo y a ambos lados de la copa de las plantas. En cada muestra se determinó pH-H₂O, pH-KCl, M.O.% (Walkley-Black), P-asimilable (Bray-Kurtz1), K, Ca y Mg intercambiable (NH₄AC IN pH-7) de acuerdo con los métodos de escritos por Black (1965).

- Análisis foliar: En los tres experimentos y a partir de 12-18 meses de la plantación se tomaron muestras foliares por parcela, de hojas del 4to. Par de ramas centrales o fructíferas (Carvajal, 1969) con una frecuencia de tres veces al año, previo a la fertilización-N. Cada muestra estuvo compuesta de 32-36 pares de hojas, tomándose siempre 4 pares de hojas por planta de cálculo.

En el periodo mayo 1985-enero 1986 se realizó además un muestreo mensual en el experimento 3 y para los tratamientos (N₀, N₁, N₂, N₃, Estiércol 8 kg-N₃ y Cachaza 8 kg-N₃) del experimento 1, con el objetivo de estudiar la variación estacional de los elementos y el momento óptimo de muestreo con fines de diagnóstico. En este último caso se muestrearon hojas del 4^{to}. par de ramas fructíferas y de no fructíferas.

En todos los casos se evaluaron los contenidos totales de N, P y K por digestión húmeda con H₂SO₄ y determinación del N-Nessler, P-molibdato de amonio y K-fotometría de llama.

-Contenido de N (%) en la cosecha.- En los experimentos 1 y 3, se tomaron muestras de frutos/pase correspondientes a las cosechas de 1984-1985, determinándose el % N de forma similar a la descrita para el análisis foliar, calculándose además la exportación por concepto de cosecha.

-Rendimiento: En los diferentes experimentos, en el período agosto-diciembre de cada año, se recogió por parcela, la primera y segunda cosecha respectivamente, determinándose el rendimiento en Kg. café cereza/ha.

- Extracción de plantas-experimento 3.- Con el objetivo de evaluar la producción de materia seca y la extracción de N por el cafeto, se procedió extraer plantas representativas

de cada tratamiento en noviembre de 1983, de 1984 y marzo de 1986.(tabla 14).

El sistema aéreo se separó en: hojas, ramas en crecimiento y lignificadas, tallos en crecimiento y lignificados. El área foliar (m^2), se estimó de forma similar a la utilizada por Soto y Rivera (1979).

El sistema radical se evaluó a partir de la extracción de bloques de suelo de 50 x 30 x 30 cm. o de 50x40 x 30 cm., que conformaban $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{2}$ del volumen de suelo correspondiente a la superficie vital del cultivo hasta 90 cm de profundidad. (fig.2). El sistema radical se separó por lavado del suelo, y se diferenció en: raíz principal, axial y lateral. En los dos primeros muestreos, las laterales se subdividieron en > 1 mm. y < 1 mm..

-Caída del material vegetal.- Se seleccionaron 9 y 6 plantas de los tratamientos fertilizados-N en las densidades de 5000 y 10000 plantas/ha respectivamente. Se situó una malla, entre estas plantas y el suelo que permitió recolectar todo el material vegetal que se desprendió, con una periodicidad quincenal, durante el período marzo 1985-marzo 1986.

- Descomposición de la hojarasca. Producto de que el grueso del material vegetal caído correspondió a hojas, se procedió a evaluar su velocidad de descomposición. Se prepararon 40 bolsas de "malla plástica", cada una con 80g de hojas recientemente caídas y se situaron debajo de las plantas, en contacto con la superficie del suelo. Mensualmente y durante un año, se retiraron tres de las bolsas.

En las últimas tres evaluaciones, se determinó la masa seca (g) y el %N, %P y %K por los métodos anteriormente planteados. Extracción N y coeficiente aprovechamiento "aparente". A partir de los datos de masa seca/órgano, y los respectivos contenidos de %N, así como los correspondientes a las cosechas y caída del material vegetal, se estimó la extracción de N (kg/ha) para cada tratamiento, en cada fecha de extracción, procediéndose a calcular el aprovechamiento "aparente" (Terman y Brown 1968, Dinchev 1972), anual y acumulativo del fertilizante-N en ambas densidades.

3.2.3 Experimento 4

Estudios con ^{15}N -café. Con el objetivo de establecer el Balance de la fertilización-N por el método isotópico así como estudiar las transformaciones del N en el suelo y la absorción del N-fertilizante por el cafeto, se seleccionaron en enero de 1985, nueve

Tabla 14. Expto 3.- Plantas extraidas por tratamiento en cada fecha de muestreo.

| Tratamientos | 1983 noviembre | 1984 noviembre | 1985 marzo |
|-----------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 5000 pla/ha-N | 7 | 6 | 14* |
| 5000 pla/ha-No | 4 | 4 | 5 |
| 10000 pla/ha-N | 5 | 5 | 8 |
| 10000 pla/ha-No | 4 | 4 | 5 |

* 9 de ellas coinciden con las plantas en microparcelas del experimento 4.

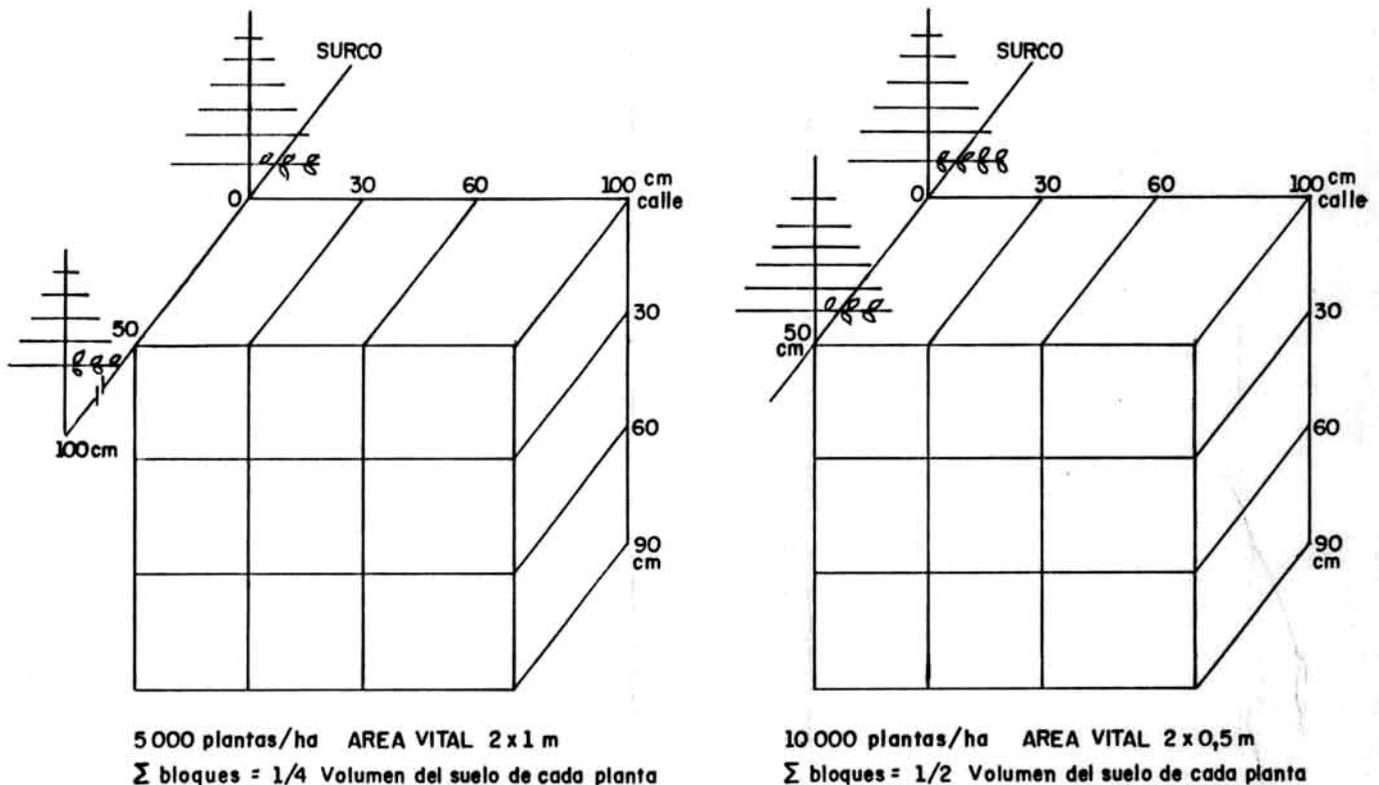


Fig 2: EXPTO. 3. EXTRACCION DE BLOQUES DE SUELO PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA RADICAL

plantas de 21 años de plantadas representativas del tratamiento: 5000 plantas/ha-fertilizante-N del experimento 3, alrededor de las cuales se introdujeron, nueve estructuras metálicas sin fondo de 2 x 1 x 0,6m.

Cada estructura contenía una planta y constituía una micro-parcela. Estas plantas fueron nueve de las 14 que se consideraron para evaluar la extracción y aprovechamiento "aparente" del fertilizante-N del experimento 3 en la evaluación de marzo de 1986. En cada una se fertilizó con una dosis de 200 kg/ha, fraccionado en tres momentos. El ^{15}N se aplicó por grupo de tres micro-parcelas (tabla 15) de acuerdo con el esquema experimental propuesto por Fried y col.(1975) y Fried (1978). El ^{15}N se añadió en forma de solución a 5-10 cm de profundidad, en bandas situadas a ambos lados de las plantas y a 20-30 cm de distancia al tronco .

Antes de cada aplicación de N, se procedió a marcar todos los puntos de crecimiento vegetativo del sistema aéreo, con vistas a poder separar el crecimiento existente, antes de la aplicación-N de marzo 1985 y entre cada una de las realizadas posteriormente.

3.2.4: Evaluaciones expto. 4.

- Análisis de suelo.- En el momento de la aplicación de ^{15}N y con posterioridad, con una determinada sistematicidad (tabla.16) se procedió a extraer muestras de suelo, de las micro-parcelas con los enriquecimientos superiores de ^{15}N (15 y 20 at.%. ^{15}N) de dos zonas de muestreos: 20-30 cm y 65-75 dm de distancia a la planta y en las profundidades de 0-30 cm, 30-60 cm y 60-90 cm para la primera zona y solo hasta 60 cm para la segunda.

En cada una de las muestras se determinó el $\text{NO}_3^- \text{N}$ y $\text{NH}_4^- \text{N}$ (Bremner, 1965), realizándose en algunas de ellas, el fraccionamiento del N-suelo por el método de extracciones sucesivas de Vorobjev y col. (Muravin, 1982).

En abril 1986 posterior a la extracción de las plantas, se tomaron dos muestras de suelo por cada uno de los bloques de suelo extraídos para el estudio del sistema radical (Fig. 2) realizándose el fraccionamiento del N y % N total (Hauck y Reichardt, 1977).

En todos los casos se determinó el at.% ^{15}N en un espectrómetro de emisión, ISONITROMAT-5201, calculándose el % Nddf (Vose, 1980) en las diferentes muestras

-Análisis foliar: A partir de la aplicación de ^{15}N de marzo de 1985 y con la periodicidad descrita en la tabla 17; se tomaron muestras del 2do. Par de hojas de ramas fructíferas y no fructíferas, así como del último par existente antes de dicha aplicación, de ramas

Tabla 15. Expto 4.- Esquema del fraccionamiento del fertilizante-N y de la aplicación de ^{15}N en las microparcelas (cajuelas).

| Tratamientos | marzo 1985 | junio 1985 | noviembre 1985 |
|------------------------|--|--|--|
| ^{15}N -marzo | 80 kg N/ha 20-0-0 ^{15}N -20%*2 caj. ^{15}N -5%**1 caj. | 60 kg N/ha 20-0-0 | 60 kg N/ha 46-0-0 |
| ^{15}N -junio | 80 kg N/ha 20-0-0 | 60 kg N/ha 20-0-0 ^{15}N -15%*2 caj. ^{15}N -5%**1 caj. | 60 kg N/ha 46-0-0 |
| ^{15}N -Nov. | 80 kg N/ha 20-0-0 | 60 kg N/ha 20-0-0 | 60 kg N/ha 46-0-0 ^{15}N -15%* 2 caj. ^{15}N -5%** 1 caj. |

* Las cajuelas (caj.) con 15 y 20 at % ^{15}N se utilizaron para el muestreo de suelo y las evaluaciones en plantas.

** Las cajuelas (caj.) con 5 at % ^{15}N se utilizaron para las evaluaciones en plantas.

fructíferas en las diferentes zonas de la planta.

- Cosecha: Se tomó la cosecha individual por cada planta, así como muestras individuales en cada fecha de recolección.

-Poda de ramas: En enero de 1986, después de la cosecha 1985, se procedió a realizar una poda de saneamiento en cada una de las micro-parcelas.

- Caída de hojas: Aparece descrito en 3.2.2 ya que se hace referencia a las mismas plantas.

-Extracción de plantas: Para evaluar la distribución del ^{15}N , así como el aprovechamiento del N-fertilizante por el cafeto, se extrajeron las plantas de las cajuelas en marzo de 1986.

El sistema aéreo se subdividió en función de su tamaño en tres zonas A, B y Copa (fig.3), considerándose como copa todo el crecimiento vegetativo, debido a la elongación del tallo, que ocurrió con posterioridad a la aplicación de N de marzo/1985. En cada zona el mismo se separó en hojas, ramas y tallo para cada intervalo de crecimiento, definido por las aplicaciones de fertilizante nitrogenado a partir de marzo/1985. El sistema radical se extrajo tal y como fue descrito para la evaluación de marzo 1986, del experimento 3.

En todos los casos se realizó masa seca (g) y se evaluó el N por digestión $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Se}$ y destilación con arrastre de vapor, determinando posteriormente el at.% ^{15}N (Faust, 1981).

-Balance ^{15}N -fertilizante. A partir de los datos anteriores, se determinaron los $\text{mg}^{15}\text{N exc.}$ (Faust, 1981) en cada uno de los diferentes "compartimentos" de las plantas estudiados y por ende el total extraído para cada fecha de aplicación y su correspondiente aprovechamiento- $^{15}\text{N}(\%)$. De forma similar se procedió con el ^{15}N encontrado en el suelo, en el momento de la extracción (marzo 1986).

El ^{15}N no detectado, ni en la planta, ni en el suelo se consideró como perdido del sistema:

-Residualidad del ^{15}N -fertilizante.- En mayo 1986, se sembró maíz en las micro-parcelas, cortándose las plantas en julio 1986. Se obtuvo la extracción de ^{15}N (mg/microparcela) de forma similar a la descrita para el cafeto. La residualidad se evaluó en base a la aplicación de ^{15}N y al ^{15}N que se encontró en el suelo en marzo 1986.

3.2.5 Análisis estadístico

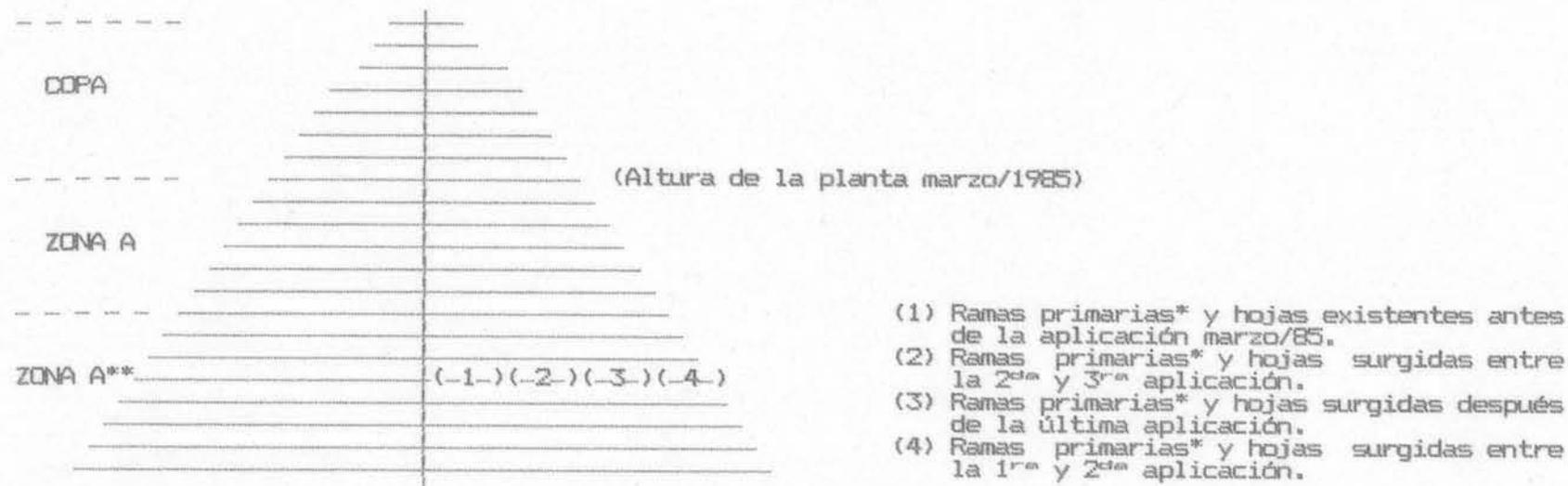
Los resultados de las mediciones, evaluaciones y análisis químicos, fueron procesados de acuerdo con los diseños experimentales utilizados en cada caso (Snedecor y Cochran, 1971), docimándose las medias de los tratamientos en base a la Prueba de Rango

Tabla 16. Expto 4.- Fechas de muestreo de suelo para cada una de las aplicaciones de ¹⁵N.

| | Aplicación 23-3-1985 | | Aplicación 27-6-1985 | | Aplicación 15-11-1985 | |
|-----------------------------|----------------------|------|----------------------|------|-----------------------|------|
| | fecha | días | fecha | días | fecha | días |
| 1 muestreo t ₀ | 23/ 3 | 0 | 27/ 6 | 0 | 15/11 | 0 |
| 2 muestreo t ₁ | 8/ 4 | 15 | 4/ 7 | 7 | 22/11 | 9 |
| 3 muestreo t ₂ | 23/ 4 | 30 | 17/ 7 | 20 | 3/12 | 17 |
| 4 muestreo t ₃ | 7/ 5 | 44 | 24/ 7 | 27 | 9/12 | 23 |
| 5 muestreo t ₄ | 23/ 5 | 60 | 16/ 8 | 50 | 13/12 | 27 |
| 6 muestreo t ₅ | 15/ 6 | 87 | 4/ 8 | 69 | 28/12 | 42 |
| 7 muestreo t ₆ | 30/ 7 | 128 | 25/ 9 | 90 | 15/ 1/86 | 58 |
| 8 muestreo t ₇ | 19/ 9 | 179 | 30/10 | 125 | 5/ 2/86 | 82 |
| 9 muestreo t ₈ | 5/12 | 256 | 4/ 2/86 | 221 | 14/ 4/86 | 149 |
| 10 muestreo t ₉ | 6/ 2/86 | 318 | 14/ 4/86 | 247 | | |
| 11 muestreo t ₁₀ | 10/ 4/86 | 381 | | | | |

Tabla 17. Expto 4.- Fechas de muestreo foliar para cada una de las aplicaciones de ¹⁵N.

| | Aplicación 23-3-1985 | | Aplicación 27-6-1985 | | Aplicación 15-11-1985 | |
|------------|----------------------|------|----------------------|------|-----------------------|------|
| | fecha | días | fecha | días | fecha | días |
| 1 muestreo | 8/ 5 | 46 | 3/ 8 | 37 | 4/12 | 19 |
| 2 muestreo | 21/ 6 | 90 | 31/ 8 | 65 | 28/12 | 43 |
| 3 muestreo | 3/ 8 | 133 | 30/10 | 125 | 24/ 1/85 | 70 |
| 4 muestreo | 25/11 | 247 | 24/ 1/86 | 211 | | |
| 5 muestreo | 24/ 1/86 | 267 | | | | |



* Un trabajo similar se realizó con el crecimiento secundario y terciario.

** N° de ramas primarias Zona A = Zona B = $\frac{\text{N° ramas primarias mayo/85}}{2}$

Fig. 3.- Expto 4. Clasificación del sistema vegetativo en zonas e intervalos de crecimiento en marzo/1986.

Múltiple (Duncan, 1955). Asimismo se establecieron correlaciones lineales y cuadráticas, entre algunas de las variables estudiadas, obteniéndose las ecuaciones y los índices de determinación (R^2) correspondientes.

3.2.6 Análisis económico.

Se realizó en base a los resultados de los diferentes experimentos, con el objetivo de calcular la ganancia adicional por la aplicación de las dosis recomendadas de fertilizante-N con relación a dosis similares a la del Instructivo Técnico (Cuba. MINAGRI, 1987), así como el incremento en rentabilidad debido a la mayor eficiencia de la fertilización-N en las altas densidades.

Para el primero de los casos, se considero que el rendimiento que se obtiene con el sistema de fertilización- N del Instructivo fue el correspondiente a los sistemas N_1 y N_2 de los experimentos 1 y 2 respectivamente, producto de presentar acumulados de fertilizantes muy similares y sobre todo muy parecidos en los años de cosecha.

-La significación de los términos y abreviaturas utilizados en el texto, tablas y figuras de la tesis aparecen descritos en el anexo 1.

4 RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Experimento 1. Fertilización-N y Materia Orgánica.

4.1.1 Efecto de los tratamientos sobre las características químicas del suelo.

En la tabla 18 se presentan algunas características químicas iniciales del suelo (Sept.1982), donde se puede observar que de forma general caen dentro del rango que se plantea para este tipo de suelo (Cuba. INRA, 1975), presentando inclusive valores altos de P y K indicativo de fertilizaciones anteriores.

Tanto la fertilización mineral sola como combinada con abono orgánico provocaron efectos significativos sobre las características químicas del suelo, manifestándose con mayor intensidad en el primer muestreo.

En dicho muestreo (marzo 1983) se encontró un efecto significativo de las aplicaciones de cachaza y estiércol sobre las diferentes características químicas estudiadas, mientras que el $(NH_4)_2SO_4$ sólo ejerció efecto sobre el pH, disminuyendo éste en 0,4 unidades. Los términos de interacción no resultaron significativos.

Ambas fuentes de abono orgánico elevaron significativamente al 5%, la materia orgánica

Tabla 18. Expto 1.- Influencia de las fuentes y dosis de materia orgánica en las características químicas del suelo.

| | pH-H ₂ O | pH-KCl | M.O. % | P (ppm.) | K ⁺ meq/100g | Ca ²⁺ meq/100g | Mg ²⁺ meq/100g |
|-------------------------------|---------------------|--------|--------|----------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1982 Condiciones iniciales | 6,30 | 5,4 | 2,70 | 52 | 0,67 | 12,9 | 0,8 |
| 1983 Trat. sin abono orgánico | 6,00 b | 5,1 b | 2,72 b | 67 b | 0,76 | 12,8 bc | 0,8 b |
| 1983 Trat. 4 kg/pl. Estiércol | 6,10 b | 5,3 b | 3,00 a | 75 b | 0,91 | 13,5 b | 0,95 ab |
| 1983 Trat. 8 kg/pl. Estiércol | 6,50 a | 5,8 a | 3,08 a | 80 b | 0,93 | 15,8 a | 0,92 ab |
| 1983 Trat. 4 kg/pl. Cachaza | 6,06 b | 5,2 b | 3,12 a | 161 a | 0,85 | 13,7 b | 0,93 ab |
| 1983 Trat. 8 kg/pl. Cachaza | 6,10 b | 5,2 b | 3,12 a | 175 a | 0,85 | 14,7 ab | 0,99 a |
| ES _{AxB} | 0,1* | 0,11* | 0,07* | 9,5*** | 0,047 | 0,4* | 0,04 |
| 1984 Trat. sin abono orgánico | 5,60 b | 5,15 | 2,49 | 56 c | 0,82 | 8,9 c | 1,20 |
| 1984 Trat. 4 kg/pl. Estiércol | 6,10 a | 5,38 | 2,50 | 56 c | 0,83 | 11,0 a | 1,35 |
| 1984 Trat. 8 kg/pl. Estiércol | 5,78 ab | 5,35 | 2,52 | 62 bc | 0,80 | 10,7 ab | 1,27 |
| 1984 Trat. 4 kg/pl. Cachaza | 5,58 b | 5,09 | 2,55 | 68 b | 0,83 | 9,3 bc | 1,31 |
| 1984 Trat. 8 kg/pl. Cachaza | 5,63 b | 5,2 | 2,64 | 82 a | 0,81 | 9,3 bc | 1,27 |
| ES _{AxB} | 0,06* | 0,065 | 0,09 | 3,6* | 0,04 | 0,35* | 0,04 |
| 1986 Trat. sin abono orgánico | 6,41 | 5,50 | - | 82 b | 0,88 | 11,54 b | 1,22 |
| 1986 Trat. 4 kg/pl. Estiércol | 6,65 | 5,72 | - | 78 b | 0,95 | 11,20 b | 1,27 |
| 1986 Trat. 8 kg/pl. Estiércol | 6,82 | 5,86 | - | 84 b | 0,90 | 12,5 a | 1,28 |
| 1986 Trat. 4 kg/pl. Cachaza | 6,35 | 5,46 | - | 102 a | 0,87 | 11,20 b | 1,17 |
| 1986 Trat. 8 kg/pl. Cachaza | 6,53 | 5,65 | - | 106 a | 0,86 | 11,75 ab | 1,29 |
| E.S. _{AxB} | 0,09 | 0,09 | | 4,7* | 0,03 | 0,34* | 0,03 |

Excepto los resultados de las condiciones iniciales, cada uno de los restantes es la media de 3 niveles de fertilización-N con 4 repeticiones.

(%) del suelo y el Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiables, no presentándose diferencias entre las fuentes y si una tendencia a obtener los mayores incrementos con la dosis superior de abono orgánico.

El fósforo asimilable aumentó significativamente por la acción de las aplicaciones orgánicas, obteniéndose con la cachaza valores muy superiores a los encontrados con el estiércol, relacionados con las altas concentraciones de P existentes en la cachaza (tabla 7).

El K disponible presentó aumentos, aunque sólo significativos en el caso de las dosis superiores de estiércol y muy relacionado con los contenidos diferenciados de K de ambas fuentes.

Se encontraron asimismo incrementos en el fósforo y potasio disponibles en los tratamientos sin abonos orgánicos, con respecto a las condiciones iniciales, relacionadas con la fertilización fosfórica y potásica de fondo, obteniéndose en todos los casos contenidos suficientes de acuerdo con Martín (1983 b, c).

Con respecto al pH, si bien las aplicaciones de abono orgánico, disminuyeron el efecto acidificante del $(\text{NH}_4)_2\text{S}_4$ informado por Valencia y col., (1975), se encontró un ligero decremento de este índice, con excepción de los tratamientos que recibieron la dosis superior de estiércol, en los cuales el pH se incrementó. Estos tratamientos precisamente presentaron los mayores incrementos de Ca^{2+} y Mg^{2+} intercambiables.

Los resultados anteriores están muy relacionados con las características químicas de ambas fuentes (tabla7) y son similares a los encontrados por Paneque (1977), Rivera y Martín (1979), Guijarro (1983) trabajando con estos materiales en cafetos y otros cultivos.

En el resto de los años se presentó la tendencia a desaparecer estos efectos en el tiempo, reflejándose principalmente incrementos en los contenidos de fósforo y potasio disponibles, con respecto a las condiciones iniciales, fundamentalmente debido a las aplicaciones de fertilizante mineral.

4.1.2 Variables morfológicas y rendimiento.

De los tres factores estudiados, las dosis de abono orgánico y de fertilizante mineral-N, originaron generalmente efectos significativos, aunque dependiente de las variables analizadas. No se presentaron diferencias por el uso de la cachaza o el estiércol, siendo de

forma general no significativos los términos de interacción.

En la fig.4 se observa que:

-Existió un efecto significativo de la aplicación de abono orgánico sobre el diámetro de la copa, desde las primeras mediciones, reflejándose a su vez en la primera cosecha. Este efecto no se presentó ni en la segunda cosecha, ni en el rendimiento acumulado; sin embargo aún en las últimas mediciones las plantas más vigorosas correspondieron a los tratamientos con abono orgánico.

Existió una marcada respuesta a la aplicación de fertilizante mineral-N, desde las primeras evaluaciones, intensificándose con el desarrollo del cultivo y presentándose en ambas cosechas y el acumulado.

- El tratamiento N_0 presentó un comportamiento inferior desde las mediciones iniciales (6 meses), aunque los índices decrecimiento absoluto fueron indicativos de un suministro relativamente adecuado de N-suelo que permitió una primera cosecha de 6 t.café cereza/ha (t c.c./ha). A partir de esta las plantas presentaron una rápida depauperación. Las plantas de los tratamientos sin abono orgánico, presentaron en las últimas mediciones un diámetro de la copa significativamente inferior al de los tratamientos con abono orgánico, lo cual fue indicativo de la descompensación que sufrieron estos tratamientos al finalizar la cosecha.

Un aspecto interesante que se deriva de la Fig.4, es la relación entre la fertilización mineral-N y las aplicaciones de abono orgánico sobre el cultivo del café en este suelo.

Es importante partir de que el café en este suelo si bien presentó una respuesta a la fertilización-N desde las primeras evaluaciones, fue más marcada la respuesta inicial a la aplicación de abono orgánico, encontrándose que hasta la evaluación del 7/84 la fertilización mineral-N de por si no equipará el efecto de la dosis superior de abono orgánico.

En este período si bien en una sola ocasión el término de interacción fue significativo, se observó la tendencia a que la respuesta a la fertilización-N ocurriera en los tratamientos sin abono orgánico o con dosis intermedias de dicha aplicación.

Los resultados de las mediciones del diámetro de la copa indicaron que hasta la evaluación del 3/84 (18 meses de plantada) la dosis superior de abono orgánico fue suficiente para garantizar el óptimo crecimiento del café, aún en ausencia de fertilizante mineral-N, sin embargo se encontró un efecto significativo de la fertilización-N sobre la

primera cosecha, que fue mayor precisamente en presencia de la dosis superior de abono orgánico.

Este comportamiento está relacionado con que plantas con un mayor desarrollo condicionan un mayor potencial productivo (Valencia, 1973) y por ende mayores requerimientos de nutrientes para la formación de la cosecha y el resto del crecimiento, lo cual fue evidente que no pudo ser satisfecho por el efecto residual de la aplicación inicial de abono orgánico y la dosis inferior de fertilizante-N.

Es decir, no sólo hay que tener en cuenta que las cantidades potenciales de N que pueda aportar el abono orgánico en este momento deben ser menores ya que se ha mineralizado una parte del mismo, posiblemente la más fácilmente disponible (Jansen, 1984), sino que además las necesidades de N aumentaron significativamente, al entrar las plantas en la fase productiva.

Las plantas de los tratamientos sin abono orgánico al tener un menor crecimiento en la época de las floraciones, tuvieron un menor potencial productivo y menores requerimientos que fueron satisfechos al menos desde el punto de vista del rendimiento con la dosis inferior de fertilizante-N.

Si bien la aplicación del abono orgánico incrementó significativamente los rendimientos en la primera cosecha, los incrementos obtenidos en la segunda y en el acumulado no fueron significativos, no obstante aún en las últimas mediciones se mantuvo el efecto positivo sobre el crecimiento.

Un aspecto importante en la fisiología del cafeto y que influye en como el cultivo responde a las prácticas culturales, lo es su condición de cultivo perenne, indeterminado, con tendencia a la sobreproducción y con una marcada interacción entre los diferentes tipos de crecimiento, priorizándose la formación de la cosecha a expensas del crecimiento radical y vegetativo aéreo. (Beaumont y Fukunaga, 1958; Cannelly Huxley, 1970; Cannell, 1971a y b).

En la fig.4 se puede observar precisamente este fenómeno que se da a través del comportamiento de los tratamientos con abono orgánico, los cuales a partir de la formación de la primera cosecha, presentaron un a alternancia en su comportamiento, producto del efecto de la cosecha sobre el crecimiento vegetativo.

El comportamiento relativo de los rendimientos en los tratamientos con la dosis superior de abono orgánico y sin abono orgánico en cada una de las cosechas, así como los

resultados de las evaluaciones del diámetro de la copa el 12/85 y 2/86 donde se presentó una marcada interacción negativa entre el rendimiento 1985 y el crecimiento ($r=0,95$), fueron también con secuencias de las interacciones entre el crecimiento de los diferentes órganos del cafeto.

Los resultados sugieren que se debe analizar un número superior de cosechas para evaluar la necesidad de aplicación de abonos orgánicos en este suelo, ya que si bien en base al análisis estadístico de la producción acumulada (tab.19) no se justifica la aplicación de abonos orgánicos, la fuerte descompensación que se produjo en los tratamientos sin abono orgánico, aún en presencia de la dosis superior de fertilizante-N, permite esperar una marcada respuesta a dicha aplicación en las cosechas posteriores.

La suposición anterior está avalada, por la alta relación existente entre el crecimiento en la etapa de floración y la producción (Beaumont y Fukunaga, 1938; Valencia 1973; Rivera y Martín 1980a), así como en las significativas correlaciones encontradas en este experimento, entre dichas variables ($R^2=0,62$, O, 64).

De acuerdo con diversos autores (Jones y col, 1960; Glander, 1968; Von Senger, 1974; Moraes, 1981) la aplicación de materia orgánica beneficia el crecimiento y desarrollo de las plantas, bien sea a través de un suministro gradual de N, o de los efectos beneficiosos que sobre el suelo se ejercen, como mejoras en las propiedades físicas y biológicas, conservación de la humedad y que deben promover un mayor desarrollo radical y por lo tanto incrementar las posibilidades de absorción por el cultivo.

No obstante es un tema controvertido el que dicha aplicación sea siempre necesaria (Franco y col., 1960; Uribe y Salazar, 1983; Carvajal, 1984), recomendándola este último (1984) en suelos erodados con bajos contenidos de M. O.%, e indicando el primero su necesidad en suelos con propiedades físicas no adecuadas, siempre que se garanticen los nutrientes a través de la fertilización mineral.

En el caso de cultivos anuales o al menos con un ciclo vegetativo más rápido que el del cafeto, las aplicaciones de materiales orgánicos han sido beneficiosas en estos suelos (Eolia Treto, 1982b y Guijarro, 1983) y no hay dudas de que en los primeros periodos el cafeto respondió favorablemente a dicha aplicación, obteniéndose un efecto positivo sobre el N-disponible del suelo aún a los 15 meses de la aplicación (tabla 20) y sobre el crecimiento en la última evaluación de marzo de 1986.

Esta influencia positiva sobre el crecimiento, no es necesariamente una evidencia de una

Tabla 19. Expto.1- Efecto de la fertilización nitrogenada y el abono orgánico sobre el rendimiento (t. caf cereza/ha.)

| | 1984 | 1985 | Acumulado |
|----------------------|---------|--------------|--------------|
| N ₀ | 6,8 c | 1,3 c | 8,1 c |
| N ₁₂₀ | 10,1 b | 12,7 b | 22,8 b |
| N ₂₀₀ | 11,1 ab | 13,8 b | 24,9 b |
| N ₂₈₀ | 11,8 a | 16,9 a | 28,7 a |
| E.S. \bar{x} | 0,44 | 0,62 | 0,76 |
| | | | |
| A. orgánico 0 kg/pl. | 9,6 c | 14,5 | 24,1 |
| A. orgánico 4 kg/pl. | 10,9 b | 15,5 | 26,4 |
| A. orgánico 8 kg/pl. | 12,5 a | 14,1 | 26,2 |
| E.S. \bar{x} | 0,44 | 0,62 n.s. | 0,76 n.s. |

* letras desiguales implican diferencias significativas al 5 %, según d \acute{o} cima de Duncan.

Tabla 20. Expto 1.- Efecto de la cachaza y estiércol sobre las formas más fácilmente hidrolizable del N-orgánico del suelo.

| Tratamiento | Extracción KCl 0.25 N | | Extracción H ₂ SO ₄ 0.5 N | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|---------------|
| | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | Destilable | No destilable |
| N ₃₀ PK. 35 | 15 | 29 | 33 | 141 |
| N ₈₀ PK. | 13 | 30 | 71 | 141 |
| Estiércol* + N ₈₀ PK | 4 | 29 | 101 | 173 |
| Cachaza* + N ₈₀ PK | 31 | 80 | 103 | 167 |

* 4 kg de material orgánico seco/planta.

absorción adicional de nutrientes por concepto de efecto residual, sino que también puede ser una consecuencia del crecimiento más vigoroso que presentaron las plantas de dichos tratamientos en los periodos iniciales y que puede implicar un mayor sistema radical, una mayor capacidad de reserva de recuperación y cuyo efecto por ser un cultivo perenne, se mantenga al menos durante un periodo de tiempo.

En el caso de un cultivo perenne, indeterminado, la fertilización no sólo cumple el objetivo de garantizar el suministro de nutrientes para la cosecha en formación, sino que además los suministra para el crecimiento vegetativo, que en lo fundamental predetermina la producción del próximo año.

A menos que se disponga de un número alto de cosechas, o del estudio en un ciclo completo de plantación -sogeo, al escogerse un sistema de fertilización, debe tenerse en cuenta este aspecto sobre todo cuando existiere tendencia a la sobreproducción.

A partir de los criterios anteriores y del análisis del rendimiento anual y acumulado (tabla 19) las dosis más adecuadas de fertilizante-N durante los años de cosecha (1984 y 1985) se corresponden con las mayores estudiadas (280 kg/ha). Si bien en el año 1984 no se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos obtenidos con la dosis de 200 kg/ha y la de 280, la disminución en el ritmo de crecimiento del tratamiento inferior, durante el periodo de formación de la cosecha 1984, con relación al tratamiento de 280 kg/ha, y basado en todos los planteamientos anteriores permite suponer que dicha dosis fue insuficiente.

Aun cuando se obtuvo una respuesta lineal a la fertilización-N durante la segunda cosecha (1985), que sugiere que es posible obtener incrementos significativos en rendimiento con mayores dosis de fertilizante-N, los altos rendimientos y magnífico crecimiento alcanzado con esta dosis, permite suponer que no es muy inferior al óptimo biológico.

En Costa Rica (Oficina del Café, 1976, 1977) se recomiendan dosis que oscilan entre 200-325 kg N/ha de acuerdo al rendimiento. De igual forma se procede en Kenya (Anónimo, 1978), utilizándose aplicaciones de 300 kgN/ha para rendimientos de 2 t. c. oro/ha, relativamente similares a los aquí obtenidos.

En Puerto Rico (Anónimo, 1968), se encontró una dosis óptima de 340 kg N/ha para plantaciones con rendimientos ligeramente superiores, mientras que Uribe y Salazar (1981) obtuvieron que aplicaciones de 360 kg N/ha fueron necesarias para garantizar

altísimas producciones de 7 t. c. oro/ha en suelos con altos contenidos de N y MO.%, los cuales deben aportar mayores cantidades de N que el suelo Ferralítico Rojo.

El magnífico crecimiento y rendimientos alcanzados, originó que las dosis óptimas de fertilizantes-N que se derivan de los resultados sean superiores a las definidas por el Instructivo Técnico (Cuba. MINAGRI, 1987) y aunque las condiciones experimentales fueron a plena exposición solar y bajo irrigación, estos resultados son indicativos de las necesidades de fertilizante-N para obtener buenos rendimientos en condiciones de producción.

González y col.(1986) obtuvieron una dosis óptima de 375 kg/ha. para rendimientos de 5 t. c. c./ha., bajo sombra y fraccionando el N en dos momentos / año.

Las adecuadas condiciones climáticas del Escambray y la relativamente baja eficacia de la fertilización-N sugieren la presencia de algún factor limitante o bien un indicio de la necesidad de aumentar el fraccionamiento del fertilizante-N en estas áreas de altas precipitaciones.

Es interesante como las plantas no presentaron diferencias por el uso de una u otra fuente de abono orgánico, en presencia de fondos fijos de fertilizantes fosfóricos y potásicos.

Esta conducta debe estar relacionada con que ambas fuentes presentaron contenidos similares de materia orgánica y N (tabla7), así como que provocaron efectos similares sobre las propiedades químicas del suelo (tabla18), no siendo importantes en este caso las diferencias encontradas sobre todo en el fósforo disponible en el suelo, al ser suficiente en todos los tratamientos, de acuerdo con Martín (1983b).

Si bien estas fuentes se han usado con éxito en diferentes cultivos (Paneque, 1977; Eolia Treto, 1982c; Guijarro, 1983) y el estiércol en el propio cafeto (Robinson y Wallis, 1957; Glander, 1968 y Moraes, 1981), no se tenía información del uso de la cachaza sobre el cafeto, encontrándose que ambas poseen un efecto similar sobre el establecimiento de la plantación, aportándose además cantidades importantes de P_2O_5 con la cachaza.

4.1.2.1 Efecto comparativo de los tratamientos sobre la altura y el diámetro de la copa.

En la tabla 21 se puede observar como ambas variables no reflejan de igual forma el efecto de los tratamientos, la altura de forma general solo detectó efectos del factor dosis de abono orgánico hasta 3/84, a partir de lo cual sólo detecta diferencias con respecto al

Tabla 21. Expto 1.- Significación estadística del efecto de los factores dosis de materia orgánica (M.O.) y niveles de fertilización-N sobre la altura y el diámetro de la copa.

| Fechas | Altura | | | | Diámetro de la copa | | | |
|---------|--------|------|---------|-------------------|---------------------|------|----------|-------------------|
| | M.O. | N | M.O x N | No ⁽¹⁾ | M.O. | N | M.O. x N | No ⁽¹⁾ |
| Feb./83 | * | * | N.S. | - | ** | ** | N.S. | - |
| Jun./83 | * | N.S. | N.S. | - | * | N.S. | N.S. | - |
| Oct./83 | *** | N.S. | N.S. | - | *** | N.S. | N.S. | - |
| Mar./84 | *** | N.S. | N.S. | - | *** | * | * | - |
| Jul./84 | N.S. | N.S. | N.S. | ** | ** | N.S. | N.S. | ** |
| Nov./84 | N.S. | N.S. | N.S. | ** | N.S. | N.S. | N.S. | ** |
| Mar./85 | N.S. | N.S. | N.S. | ** | ** | *** | N.S. | ** |
| Jun./85 | N.S. | N.S. | N.S. | ** | N.S. | ** | N.S. | ** |
| Dic./85 | N.S. | N.S. | N.S. | ** | *** | *** | N.S. | ** |
| Feb./86 | N.S. | N.S. | N.S. | ** | *** | N.S. | N.S. | ** |

⁽¹⁾ Significación con respecto al testigo de referencia NoPK.

*, **, *** Significación estadística al 5, 1 y 0,1 % respectivamente.

testigo sin fertilización-N, con independencia de los efectos de la fertilización-N y el abono orgánico sobre los rendimientos y el diámetro de la copa.

Rivera y Martin (1980 a) también obtuvieron que el diámetro de la copa fue un mejor indicador del estado nutricional que la altura de planta. Este comportamiento debe basarse en que la altura expresa el crecimiento primario y por lo tanto es priorizado a expensas del crecimiento de las ramas, siendo necesario que existan deficiencias importantes para que la planta restrinja su crecimiento apical.

4.1.3: Análisis foliar.

Los efectos de los diferentes factores, sobre el contenido de los macroelementos primarios en el cuarto par de hojas, fueron:

Ambas fuentes de abono orgánico ejercieron efectos similares sobre los tenores foliares, coincidiendo con los observados sobre las variables de crecimiento y rendimiento.

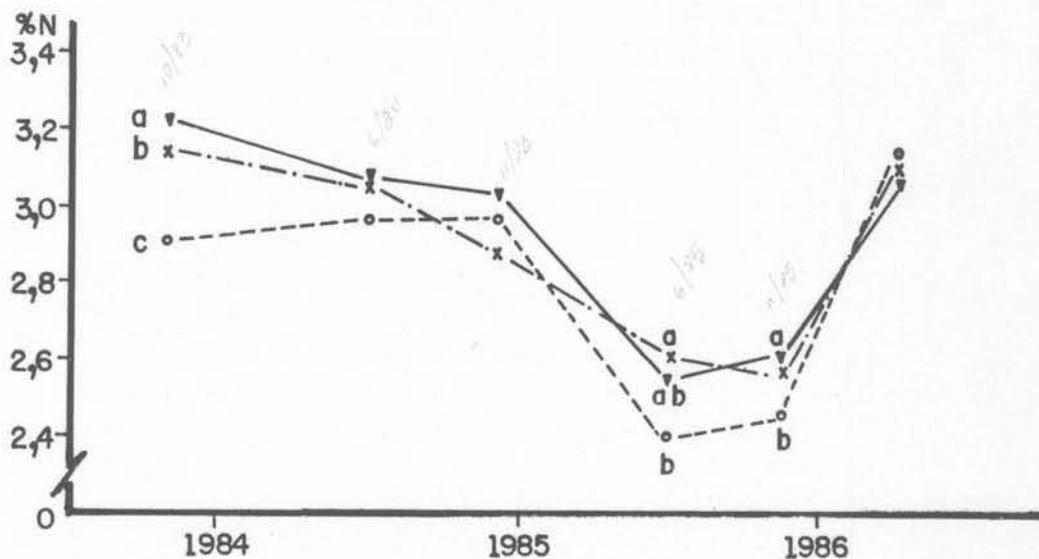
Sólo se presentaron efectos significativos sobre el % N, obteniéndose en todos los casos contenidos similares y adecuados de los tenores de % P y % K.

En las fig.5 y 6 se presentan los efectos de los factores dosis de abono orgánico y fertilizante nitrogenado sobre el % N, respectivamente, ya que sólo en un muestreo (10/83), fue significativo el término interacción. En dichas figuras se puede observar que: Las dosis de cachaza o estiércol originaron efectos similares sobre el % N, siendo significativos en algunos de los muestreos (50 %.), en los cuales su adición originó valores superiores que la no adición.(fig.5)

Si bien el análisis foliar reflejó la respuesta a la fertilización nitrogenada (Fig. 6), al presentar siempre un comportamiento inferior el testigo de referencia N₀PK, sólo en el muestreo de 10/83 existieron diferencias significativas debido al factor fertilización nitrogenada.

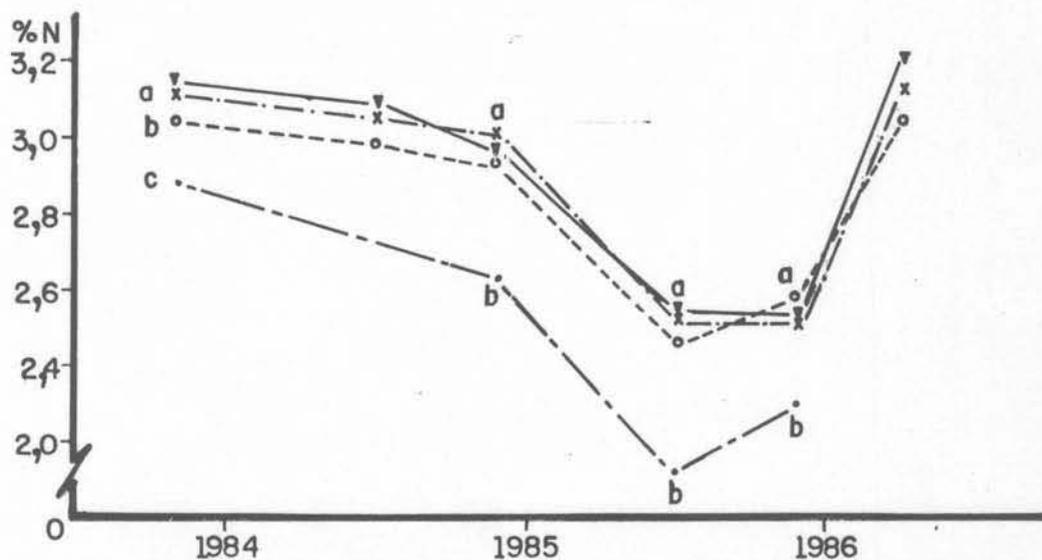
La utilización del análisis foliar como estimador del estado nutricional de las plantas, parte de la existencia de tablas de interpretación, que asocian rangos de contenidos con diferentes grados del estado nutricional, en momentos fisiológicos específicos de la planta. (Loue 1953, Chaverri y col, 1957, Muller 1966, Krishnamurthy Rao e Iyengar 1975).

En el caso del N existe una marcada dependencia con el modo de cultivarlo (solo sombra), estando relacionado el estado nutricional adecuado con valores entre 3,0-3,4 %



* - LETRAS DESIGUALES IMPLICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS AL 5 % ENTRE LOS NIVELES DE MATERIA ORGÁNICA, SEGUN DOCIMA DE DUNCAN

Fig. 5 - EXPTO 1 . DINAMICA DE LOS CONTENIDOS DE N (%), 4to. PAR DE HOJAS, PARA EL FACTOR DOSIS DE MATERIA ORGÁNICA (niveles de materia orgánica ▽—▽ 8 kg/planta ; ×—× 4 kg/planta ; ○—○ 0 kg/planta)



* - LETRAS DESIGUALES IMPLICAN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS AL 5 % ENTRE LOS NIVELES DE FERTILIZACION-N, SEGUN DOCIMA DE DUNCAN

Fig. 6 : EXPTO 1. DINAMICA DE LOS CONTENIDOS DE N (%), 4to PAR DE HOJAS, PARA EL FACTOR FERTILIZACION-N Y EL TESTIGO DE REFERENCIA N₀PK (niveles de fertilizante N: ▽—▽ N₃ ; ×—× N₂ ; ○—○ N₁ ; --- N₀PK)

N. en las etapas de floración e inicio de la fructificación (Muller 1966, Rivera y Martin 1980b; Krishnamurthy Rao y Ramaiah, 1985) contenidos por debajo de este rango son insuficientes y por debajo de 2,5 % N marcadamente deficientes (Chaverri y col, 1957; Krishnamurthy y Rao e Iyengar, 1975 y Carvajal 1984). Los efectos positivos de la adición de abono orgánico sobre el contenido de % N, en los muestreos del 10/83 y 11/85, reflejaron los efectos encontrados de este factor sobre el diámetro de la copa en fechas similares, en los cuales se obtuvieron que los tratamientos con abono orgánico poseían índice de crecimientos superiores.

La evolución del % N del tratamiento N_0PK explicó perfectamente el crecimiento y desarrollo de las plantas de dicho tratamiento. Estas si bien presentaron contenidos aceptables hasta 10/83, a partir de la formación de la primera cosecha (6/84) comienzan a presentar valores cada vez más bajos e indicativo de un suministro deficiente de N, llegando a alcanzar contenidos de 2, 10-2, 20 % N en la evaluación del 6/85.

Es interesante como si bien el análisis foliar (% N) realizado fundamentalmente en junio y noviembre, corroboró la necesidad de la fertilización nitrogenada, en base al comportamiento inferior del tratamiento N_0PK , no se detectaron diferencias a partir de 10/83 entre los contenidos del % N de los niveles N_i , N_a y N_s , mientras que dichos niveles sí provocaron diferencias significativas en el diámetro de la copa y el rendimiento durante 1984 y 1985 (fig. 4).

La influencia del momento del muestreo fue estudiada a partir de los resultados del muestreo mensual en diferentes tratamientos (Fig. 7, tabla 22) de donde se destacan los siguientes aspectos:

Existió una estrecha relación entre los contenidos foliares de N y las dosis de fertilizante-N, en los meses de julio, agosto y octubre, presentando los tratamientos con menores dosis de fertilizante-N, un comportamiento siempre inferior.

Se encontraron altas y significativas relaciones entre el rendimiento y el % N en los meses de julio, agosto y octubre. Existió de forma general una disminución del % N a partir del 1^{er} muestreo (mayo 1985) hasta el correspondiente al 12/85, presentando los tratamientos Estiércol 8 kg- N_3PK y N_3PK valores muy similares entre si y muy superior es al del resto de los tratamientos.

-Se encontró que la fertilización-N de junio incrementó el % N, dependiendo su efecto de la dosis aplicada sin embargo, el incremento fue mucho menor que el obtenido con la

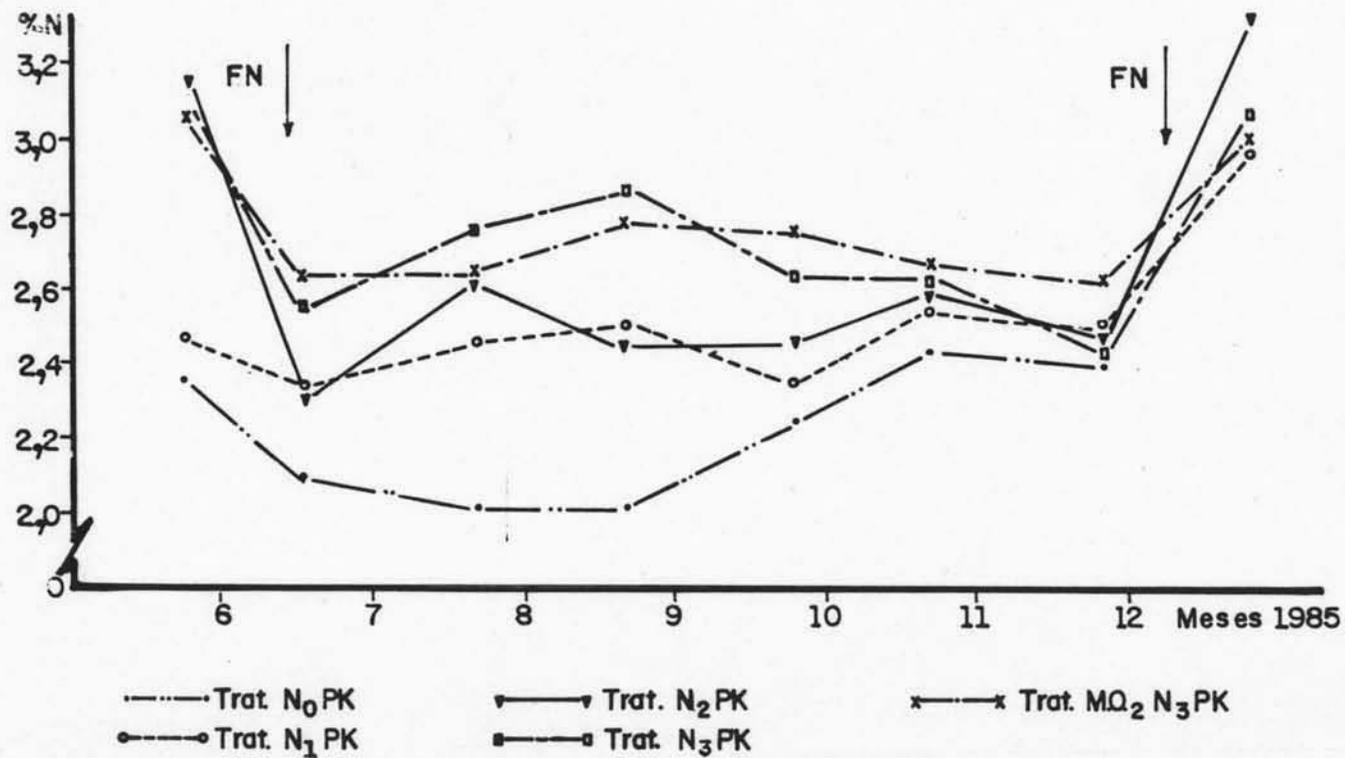


Fig. 7.- EXPTO 1. VARIACION ESTACIONAL DEL % N, 4to PAR DE HOJAS DE RAMAS FRUCTIFERAS PARA DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACION