



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE CIENCIAS

POSTGRADO DE ECOLOGIA TROPICAL

**ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO DE
UN CAFETAL SOMETIDO A DIFERENTES
FORMAS DE MANEJO**

ISBELIA REYES R.

MAGISTER SCIENTIAE

Mérida, Septiembre 1986

Venezuela

Tutores: Dr. Jorge Paolini
Dra. Ana Bróder

Autor: Isbelia Reyes

VEREDICTO

Quienes suscriben integrantes del Jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias con fecha, 03-09-86, para conocer y emitir veredicto sobre la Tesis presentada por la Bachelor en Ciencias ISBE LIA REYES RANGEL para optar al Título de Magister Scientiae en Ecología Tropical y que se titula:

"ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO DE UN CAFETAL SOMETIDO A DIFERENTES FORMAS DE MANEJO"

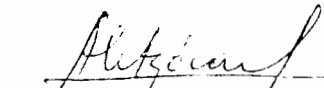
hacen constar lo siguiente:

PRIMERO: Que hoy 05-09-86, a las 4 pm. nos constituimos como Jurado en el salón de Reuniones del Postgrado de Ecología Tropical y designamos como Presidente del Jurado al Prof. Jorge Paolini. SEGUNDO: A continuación procedimos a discutir el trabajo presentado a nuestra consideración con el fin de decidir si se procedía a su defensa pública. Luego de considerar las observaciones y críticas de cada jurado, acordamos por unanimidad autorizar su presentación. TERCERO: A las 5 pm. de este mismo día, el Jurado se reunió en el salón del Postgrado de Ecología Tropical y se procedió al acto público de sustentación del Trabajo de Tesis presentado a requerimiento del Jurado. CUARTO: Una vez concluida la sustentación correspondiente, el Jurado interrogó al aspirante sobre diversos aspectos a que el trabajo se refiere. QUINTO: Seguidamente, el Presidente del Jurado invitó al público asistente a formular preguntas y observaciones sobre el trabajo presentado. SEXTO: Una vez concluido el acto de presentación el Jurado procedió a su deliberación final y concluyó que: SE APRUEBA LA TESIS DE MAESTRIA PRESENTADA A NUESTRA CONSIDERACION Y SE RECOMIENDA SU PUBLICACION.

En fé de lo cual firman en Mérida, a los cinco días del mes de setiembre de mil novecientos ochenta y seis.


Dr. Jorge Paolini


Dr. Héctor Rodríguez


Dra. Aída Azócar

JEHOVA, DIOS DE LUZ Y DE VICTORIA

Todo lo hizo hermoso en su tiempo;
y ha puesto eternidad en el corazón de ellos,
sin que alcance el hombre a entender la obra
que ha hecho desde el principio hasta el fin.

Ec. 3:11

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que de una u otra manera permitieron la realización de este trabajo, en especial

a la familia Salas Marzei, dueños de la hda. Cucuchica, por su hospitalidad y colaboración al facilitarme la entrada al cafetal,

a Miguel Montilla, compañero y amigo, gracias por tantos viajes a Cucuchica, por su hospitalidad, por su ayuda técnica y sobre todo por tantos momentos agradables,

a mis tutores, Dr. Jorge Paolini y Dra. Aura Azócar por el interés puesto en este trabajo, por su ayuda y consejos, también por las correcciones hechas y la dirección general,

al Dr. Hector Rodríguez por sus acertados comentarios,

a la Dra. Irene Garay, quien me apoyó y dió inicialmente las primeras bases de este trabajo,

a Saúl Flores, por haber procesado tantas muestras pacientemente,

al postgrado de Ecología Tropical por facilitarme todo el material y el laboratorio de Ecofisiología,

al CONICIT por el financiamiento de este postgrado,

a mamá por protegerme siempre,

a Luis por facilitarme todo, por su apoyo, por su amor...

y a todas las personas que me prestaron ayuda técnica en Geografía, Botánica y Fisiología Animal de la ULA,

gracias a todos.

CONTENIDO

RESUMEN	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE APENDICES	xiii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
1. Degradación de la materia orgánica.	5
2. Respiración Edáfica.	9
3. Celulólisis.	10
4. Actividad Enzimática.	11
III. MATERIALES y METODOS	19
1. Descripción de la parcela experimental.	19
2. Formas de manejo.	23
2.1. Tradicional.	23
2.2. Residuo de café.	24
2.3. Fertilizante químico.	24
3. Propiedades físico-químicas del suelo y del residuo de café.	25
3.1. Recolección del suelo.	25
3.2. Determinación de la textura del suelo.	25
3.3. Determinación del pH en agua.	26
3.4. Determinación de la humedad del suelo.	26
3.5. Determinación de la temperatura del suelo.	26
3.6. Determinación de fósforo total (PT).	27

3.7. Determinación de nitrógeno total (NT).	27
3.8. Determinación de cationes en el suelo y en el residuo de café.	27
3.9. Determinación de la materia orgánica.	28
4. Aportes al agroecosistema y su dinámica.	29
4.1. Recolección de la hojarasca debajo del cafeto.	29
4.2. Velocidad de descomposición de la hojarasca y del residuo de café.	29
4.3. Retención de humedad de la hojarasca y del residuo de café.	31
5. Indices de la actividad biológica.	31
5.1. Degradación de la Celulosa.	31
5.2. Respiración Edáfica.	32
5.3. Actividad de la Carboxi-Metil Celulasa.	34
5.4. Actividad de la Fosfatasa Ácida.	36
5.5. Actividad de la Ureasa.	38
6. Tratamiento estadístico.	39
IV. RESULTADOS.	41
1. Propiedades físico-químicas del suelo y del residuo de café.	41
1.1. Características texturales del suelo.	41
1.2. pH del suelo en agua.	43
1.3. Humedad del suelo.	43
1.4. Temperatura del suelo.	45
1.5. Nutrientes del suelo.	45
1.6. Composición química del residuo de café.	51

2. Aportes al agroecosistema y su dinámica.	51
2.1. Recolección de la hojarasca debajo del cafeto.	51
2.2. Velocidad de descomposición de la hojarasca y del residuo de café.	54
2.3. Retención de humedad de la hojarasca y del residuo de café.	54
3. Actividad Biológica.	57
3.1. Degradación de la Celulosa.	57
3.2. Respiración Edáfica.	59
3.3. Actividad de la Carboxi-Metil Celulasa.	67
3.4. Actividad de la Fosfatasa Acida.	69
3.5. Actividad de la Ureasa.	79
V. DISCUSION.	84
1. Descomposición del residuo de café.	84
2. Nutrientes del suelo.	86
3. Actividad Biológica.	88
3.1. Celulolisis.	88
3.2. Respiración Edáfica.	91
3.3. Actividad Enzimática.	94
VI. CONCLUSIONES.	118
BIBLIOGRAFIA.	121

RESUMEN

Se midió la actividad biológica y los parámetros físico-químicos del suelo de un cafetal bajo diferentes formas de manejo (tradicional o control, fertilización con residuo de café y fertilización con NPK) durante dos períodos lluviosos y uno seco. Se utilizaron como parámetros de la actividad biológica la degradación de la celulosa, la respiración edáfica y la actividad enzimática (carboxi-metil celulasa, fosfatasa y ureasa).

Se encontró que la celulólisis y la respiración edáfica presentaron mayor actividad en las épocas húmedas que en la época seca, mientras que las enzimas presentaron una mayor actividad en la primera época húmeda cuando se registraron las menores temperaturas del suelo. Igualmente, se registraron cambios en los parámetros químicos del suelo (Ca, K, Na, NT, PT y materia orgánica) a causa del régimen hídrico.

Según las formas de manejo se encontraron diferencias significativas entre todos los parámetros biológicos estudiados. La celulólisis y la respiración edáfica presentaron las mayores actividades en el manejo con residuo de café y las mas bajas en la fertilización química respecto al manejo tradicional. Sin embargo, la actividad de las tres enzimas siempre fue mayor en el manejo tradicional con valores similares en el manejo con residuo de café para la

carboxi-metil celulasa y la ureasa y menores en la fertilización química, mientras que la fosfatasa disminuyó su actividad con el uso de ambos insumos.

La fertilización con NPK redujo la actividad de todos los parámetros biológicos medidos, la alteración provocada por este fertilizante en el suelo se reflejó en una disminución del pH del suelo. El residuo de café es un material que se descompone fácilmente en este suelo ($K=3,4 \text{ año}^{-1}$) y aunque incrementó el metabolismo general del suelo ejerció un efecto negativo sobre las enzimas posiblemente debido a la disminución de la humedad del suelo y/o al contenido en sustancias fenólicas.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Distribución anual de la precipitación de Tovar (Edo. Mérida) durante el período de muestreo (Fuente: MARNR).	20
Fig. 2. Plano de la parcela experimental.	21
Fig. 3. Variaciones texturales del suelo de la parcela experimental.	42
Fig. 4. Valores mensuales del pH (H ₂ O) del suelo (profundidad 0-10 cm) de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	44
Fig. 5. Marcha anual de la humedad del suelo (profundidad 0-5 cm) de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	44
Fig. 6. Valores mensuales de la temperatura media diaria de la superficie del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	44
Fig. 7. Valores mensuales del nitrógeno total del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	47
Fig. 8. Valores mensuales del potasio del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	47
Fig. 9. Valores mensuales del calcio del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	48
Fig. 10. Valores mensuales del magnesio del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	48
Fig. 11. Valores mensuales del sodio del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	48

fertilizante químico.	49
Fig. 12. Valores mensuales del fósforo del suelo de la parcela experimental sometida a tres formas de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	49
Fig. 13. Valores mensuales de la materia orgánica del suelo de la parcela experimental sometida a tres formas de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	50
Fig. 14. Valores mensuales de la relación C/N del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	50
Fig. 15. Tasa de desaparición de la hojarasca y del residuo de café durante la primera y la segunda fertilización.	55
Fig. 16. Humedad de la hojarasca y del residuo de café durante la primera y la segunda fertilización.	55
Fig. 17. Degradación mensual de la celulosa bajo el mantillo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	58
Fig. 18. Respiración edáfica mensual diurna y nocturna de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	61
Fig. 19. Respiración edáfica mensual diurna de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	62
Fig. 20. Respiración edáfica mensual nocturna de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	63
Fig. 21. Relación entre celulolólisis y respiración edáfica diaria en los tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico.	66

- Fig. 22. Actividad mensual de la carboxi-metil celulasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico. 68
- Fig. 23. Relación entre la degradación de la celulosa y la actividad de la carboxi-metil celulasa del suelo bajo manejo con fertilizante químico. 70
- Fig. 24. Relación entre la respiración edáfica y la actividad de la carboxi-metil celulasa del suelo bajo manejo con residuo de café. 71
- Fig. 25. Actividad mensual de la fosfatasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico. 72
- Fig. 26. Actividad mensual de la fosfatasa para muestras de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico. 74
- Fig. 27. Actividad mensual de la fosfatasa para muestras de suelo de la subparcela experimental (TA), sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico. 76
- Fig. 28. Actividad mensual de la ureasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico. 80
- Fig. 29. Actividad mensual de la ureasa para muestras de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico. 82
- Fig. 30. Actividad mensual de la ureasa para muestras de suelo de la subparcela experimental (TA) sometida a tres tipos de manejo: tradicional, residuo de café y fertilizante químico. 83
- Fig. 31. Actividad mensual de la carboxi-metil celulasa, fosfatasa y ureasa para una mezcla

compuesta de suelo de la parcela experimental bajo manejo tradicional. 96

fig. 32. Actividad mensual de la carboxi-metil celulasa, fosfatasa y ureasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental bajo manejo con residuo de café. 101

fig. 33. Actividad mensual de la carboxi-metil celulasa, fosfatasa y ureasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental bajo manejo con fertilizante químico. 102

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1. Contenido de nutrientes del residuo de café y de otros abonos orgánicos.	52
Tabla No. 2. Aporte anual de materia orgánica al sistema (g/m ²).	53
Tabla No. 3. Parámetros de la descomposición de la hojarasca y del residuo de café.	56
Tabla No. 4. Pruebas de significación para los índices biológicos usados en este trabajo.	60
Tabla No. 5. Coeficiente de correlación de rango de Spearman (rs) entre los parámetros biológicos estudiados.	65
Tabla No. 6. Efecto de la textura del suelo sobre la actividad fosfatásica ($\mu\text{g p-NF/g.h}$).	77
Tabla No. 7. Efecto de las características intrínsecas del cafeto sobre la actividad fosfatásica ($\mu\text{g p-NF/g.h}$).	78
Tabla No. 8. Valores comparativos de la actividad celulolítica (% pérdida de celulosa/peso seco).	90
Tabla No. 9. Valores comparativos de la respiración edáfica (mg CO ₂ /m ² .h) para ecosistemas naturales y cultivos.	93
Tabla No. 10. Valores comparativos de la actividad de la carboxi-metil celulasa (mg glucosa/100 g de suelo.día)	98
Tabla No. 11. Valores comparativos de la actividad de la fosfatasa ácida ($\mu\text{g p-NF/g suelo.h}$).	99
Tabla No. 12. Valores comparativos de la actividad de la ureasa ($\mu\text{g NH}_4\text{-N/g suelo.h}$).	100
Tabla No. 13. Densidad (indiv/m ²) de la fauna del suelo en los tres tipos de manejo.	107

LISTA DE APENDICES

Apendice I.

Tabla No.1. Cafetos que integran los grupos de textura señalados en el triangulo textural.

Apendice II.

Tabla No.1. Contenido de nutrientes en el suelo bajo manejo tradicional.

Tabla No.2. Contenido de nutrientes en el suelo bajo manejo con residuo de café.

Tabla No.3. Contenido de nutrientes en el suelo bajo manejo con fertilizante químico (NPK).

Apendice III.

Fig. 1. Efecto de la concentración del substrato (S) sobre la actividad fosfatásica (V) a 37°C y 1 h de incubación.

Fig. 2. Efecto de la concentración del substrato (S) sobre la actividad ureásica (V) a 37°C y 24 h de incubación.

I. INTRODUCCION

La creciente necesidad de mejorar las condiciones físico-químicas y biológicas de los suelos en agroecosistemas y por lo tanto su producción, ha motivado el uso de fertilizantes orgánicos como una entrada suplementaria de materia orgánica y de nutrientes que permitan continuar el funcionamiento del sub-sistema descomposición.

El alto valor en materia orgánica y en nutrientes de la pulpa de café, material de desecho del beneficio del café, ha promovido muchos estudios en relación al uso de este material como abono orgánico en almácigos y cafetos (Parra, 1959; Suárez de Castro, 1960; López A., 1966; Mestre, 1977).

En plantaciones de café de sombra, Aranguren (1979), encontró que la incorporación de nutrientes por la hojarasca es muy importante ya que ésta actúa como un factor ecológico de regulación de la fertilidad al contribuir cuatro veces más de lo que se necesitaría por fertilizantes químicos para producir una cosecha de 636 Kg/ha de peso seco de semilla.

La pulpa de café usada como abono está formada por el epicarpio (película roja exterior), y parte del mesocarpio (mucílago), lo cual representa entre el 45% y el 65% del peso seco del fruto (Suárez de Castro, 1960; Claude, 1979; Awolumate, 1983). Parra (1959), en aplicaciones de 20 y 40 Ton/ha de pulpa de café incrementó en el suelo el porcentaje de materia orgánica de 14,18 a 14,45 y 15,03; la capacidad de

intercambio catiónico de 21,37 a 21,59 y 24,41; las bases cambiables de 2,47 a 4,47 y 6,11 y el pH de 4,93 a 5,11 y 5,40 respectivamente.

Suárez de Castro (1960) cita diferentes investigaciones en las cuales la producción de café es siempre mayor en tratamientos con pulpa de café en relación a tratamientos químicos y otros tratamientos orgánicos: mantillo, compost, harina de hueso y abono de establo. Uribe (1977) al aplicar 6 kilos de pulpa seca/planta/año, obtuvo un promedio de 7.613 Kg de café pergamino seco, mientras que con aplicaciones de 600 gr de fertilizante químico/planta/año, produjo un promedio de 6.428,5 Kg, este autor no menciona si las cantidades de pulpa y fertilizante químico fueron comparables en relación al contenido de nutrientes. López (1966) al aplicar aproximadamente 3,5 Kg de pulpa seca/cafeto, incrementó la cosecha 39% sobre el testigo, sin fertilizante.

De acuerdo a los resultados encontrados por diversos autores en cuanto a la actividad biológica del suelo al utilizar abonos orgánicos y químicos, nos planteamos en este trabajo medir el efecto de diferentes formas de manejo de un cafetal, sobre la actividad biológica y los parámetros físico-químicos del suelo, utilizándose como fertilizante orgánico el residuo de café y como fertilizante químico NPK 3:1:3).

Se estudió una parcela de café de *Coffea arabica* var.

caturra, bajo sombra parcial en Tovar, Edo. Mérida, durante ocho meses, abarcando los períodos lluviosos de Septiembre y de Mayo y el período seco de Enero-Febrero. En la zona, la forma de manejo tradicional de los cafetales comprende el reciclaje de nutrientes a partir de la materia orgánica aportada por los árboles de sombra y recientemente ha sido introducido el uso de fertilizantes químicos.

Tres aspectos parecen justificar el uso del residuo de café como fertilizante orgánico en agroecosistemas: 1) generalmente es un material de desecho contaminante de las corrientes de agua cercanas al beneficiario de café; 2) su uso como abono orgánico en otros países latinoamericanos ha incrementado la producción de café respecto al uso de fertilizantes químicos y de otros abonos orgánicos y 3) en nuestro país el uso de fertilizantes químicos se hace cada día mas prohibitivo dado sus crecientes costos, por lo tanto, el residuo de café se presenta como una alternativa al ser una fuente de nutrientes y de materia orgánica.

Objetivos del trabajo.

En este trabajo se compara el efecto que sobre la actividad biológica del suelo tienen diversas formas de manejo (tradicional: hojarasca, fertilización química: NPK y fertilización orgánica: residuo de café) utilizando como criterios la actividad biológica (tasa de desaparición de la materia orgánica, respiración edáfica, celulolisis y la

actividad enzimática de la carboxi-metil celulasa, fosfatasa y ureasa) y los parámetros físico-químicos del suelo (humedad, temperatura, pH, materia orgánica, NT, PT y bases cambiables).

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

1. DEGRADACION DE LA MATERIA ORGANICA

La importancia de la materia orgánica en el flujo de energía y de nutrientes en un agroecosistema ha sido generalmente enfocada en función de la producción económica o agrícola. Aún con este objetivo se hace indispensable conocer cuan degradable es un material suministrado al medio edáfico y como se desarrolla la actividad biológica, la cual será la que permitirá el reciclaje de nutrientes entre los diferentes compartimientos del agroecosistema.

El suelo se presenta entonces como el sitio de regulación del almacenamiento de la materia orgánica en forma de humus y si bien no se sabe exactamente si el humus es un producto final de la descomposición (con cierta estabilidad biológica) o simplemente una etapa que permite la regulación de los ciclos biogeoquímicos y por lo tanto la productividad vegetal, éste ciertamente es una fuente de alimento importante para la vida de los microorganismos (Simonart, 1965; Dommergues y Mangenot, 1970). Durante el proceso de descomposición, a través de modificaciones químicas y bioquímicas los nutrientes se concentran en forma diferencial entre los numerosos organismos edáficos que intervienen en dicho proceso. Así, encontramos que el mantillo (materia orgánica fresca) será atacado primeramente por microorganismos, pasando a ser una materia orgánica transformada, la cual sufrirá un ataque

concomitante por la fauna y los microorganismos con consecutivas mineralizaciones de carbono y de nitrógeno y la liberación de otros nutrientes en forma inorgánica hasta la formación del humus, constituido por sustancias finales de difícil y lenta degradación, (Domergues y Hangenot, 1970).

El proceso de descomposición y transformación de la materia orgánica tiene lugar en las microlocalidades del suelo, mediante mecanismos diferentes y reversibles: nitrificación-denitrificación, aerobiosis-anaerobiosis, síntesis de sustancias y su degradación; la dinámica general de un horizonte o de un suelo está determinada por la naturaleza del proceso que tiene lugar en la mayoría de las microlocalidades (Szabó y Marton, 1965).

Se ha señalado que las prácticas culturales promueven la descomposición de la materia orgánica como consecuencia de un desequilibrio entre la mineralización de los nutrientes y su demanda, causada por la perturbación de la comunidad biológica, lo que lleva al suelo a un empobrecimiento en términos de disminución de la materia orgánica (Sánchez, 1976; Swift, 1984). Chirinos et al. (1971) encontraron para algunos suelos venezolanos que un 51% de los suelos bajo explotación agrícola poseían bajo contenido de materia orgánica. Alexander (1977) menciona que después de 25 o más años de cultivo en 28 suelos de Georgia el contenido de materia orgánica decreció de 3.29% a 1.43%. Hernández (1985) al estudiar un cultivo de caña de azúcar encuentra una diferencia

de 10,58 Ton/ha de materia orgánica entre dicho cultivo y un bosque cercano. Actualmente se contrarrestan éstas pérdidas por rotación de cultivos, uso de fertilizantes químicos e incorporación de restos vegetales (Primavesi, 1965; Sánchez, 1974).

El bajo contenido de materia orgánica en agroecosistemas, repercute en una disminución de la capacidad de intercambio catiónico, debido a la naturaleza coloidal del humus; por otra parte disminuye la agregación de las partículas del suelo, las cuales son cementadas con las moléculas de mucopolisacáridos originadas por la microflora; disminuye la actividad biológica y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre y otros nutrientes esenciales. Numerosos factores afectan los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica: las condiciones físico-químicas y biológicas del medio edáfico; la composición química, la relación C/N y el grado de desintegración del material que "entra" al suelo y las condiciones del clima y del microclima (Dommergues y Mangenot, 1970; Alexander, 1977).

Un elemento clave en el proceso de descomposición es el nitrógeno, si el substrato es pobre en nitrógeno la descomposición es baja. Debido a que generalmente las plantas de cultivo contienen alrededor del 40% de carbono, el contenido de nitrógeno se compara con la relación C/N, asociándose un bajo contenido de N o una relación C/N grande con una baja descomposición (Alexander, 1977). Se considera

que los residuos orgánicos con menos de 1,5% de N o lo que es igual una relación C/N aproximadamente de 25 o mayor, produce una inmovilización del N por parte de los microorganismos, mientras que si el N de estos residuos es mayor a 1,5%, la mineralización es la reacción dominante (Martínez y Blasco, 1972).

Bastardo (1983), estudió la dinámica de desaparición de la materia orgánica en gramíneas de sabanas tropicales encontrando que la colonización y sucesión del substrato dependen notablemente de la fisiología de los diferentes grupos de microorganismos que actúan en el proceso. También encontró que el elemento más eficientemente mineralizado fue el nitrógeno; la mayor eficiencia para la mineralización del fósforo orgánico la presentaron los Actinomicetos mientras que la capacidad para liberar azufre disponible fue en general muy baja.

Según Alexander (1977), las transformaciones que llevan a cabo los microorganismos durante el proceso de descomposición pueden resumirse en la siguiente forma:

- a) alteración de la solubilidad de los compuestos inorgánicos;
- b) liberación de los cationes y mineralización de los compuestos orgánicos;
- c) inmovilización de los aniones y cationes disponibles, en los constituyentes celulares de los microorganismos;
- d) oxidación y reducción de los compuestos inorgánicos de fósforo, nitrógeno y azufre;

e) realización de transformaciones indirectas sobre los productos finales resultantes de su actividad biológica, como cambios en la acidéz y alcalinidad, síntesis de agentes quelantes que permiten la liberación de cationes y de sales solubles.

Como la degradación de la materia orgánica es una propiedad de todos los heterótrofos del suelo, ésta es utilizada para indicar el nivel de actividad biológica. Se han desarrollado varias técnicas para medir las tasas de descomposición de la materia orgánica, entre ellas tenemos: a) respiración edáfica, b) determinación de la pérdida de materia orgánica y c) degradación de un constituyente específico como celulosa, hemicelulosa o lignina (Swift et al. 1979).

2. RESPIRACION EDAFICA

Laundergardth (1927), al medir el metabolismo general del suelo mediante la respiración edáfica o desprendimiento de CO₂, encontró que éste provenía de cuatro fuentes: respiración de microorganismos, respiración de la fauna, respiración de las raíces y oxidación química. Dado que las tres primeras están relacionadas con la descomposición de la materia orgánica, muchos autores han utilizado esta medida en el laboratorio como un índice de la actividad biológica (Herman y Temple, 1979; Nannipieri et al., 1978) o de la actividad metabólica del suelo (Medina, 1969; Wanner, 1970; Medina y Selwer, 1972; Hernández, 1985). Se ha encontrado que la

respiración edáfica está relacionada con la humedad y la temperatura del suelo (Medina, 1979; Wanner, 1970; Medina y Selwer, 1972; Parmentier y Remacle, 1977; Hernández, 1985) encontrándose una mayor actividad durante la noche y durante los meses de lluvia.

3. CELULOLISIS

La etapa mejor conocida del ciclo del carbono es la degradación de la celulosa, compuesto que constituye la fracción más importante en los tejidos vegetales, entre 15% y 30% de los órganos verdes y entre 30% y 50% en gramíneas secas y madera (Dommergues y Mangenot, 1970). La capacidad para degradar celulosa se encuentra entre los microorganismos más diversos: bacterias, actinomicetos, hongos filamentosos, mixomicetos y protozoarios. Parmentier y Remacle (1976) estudiaron la actividad celulolítica en tres estaciones cercanas que se diferenciaban por el constituyente principal del estrato herbáceo: *Declampsia cespitosa*, *Vaccinium myrtillus* y *Declampsia flexuosa*. La velocidad de descomposición de la celulosa fue mayor en el sitio de *Declampsia cespitosa* donde igualmente se encontró la relación C/N más baja, la temperatura más baja y el porcentaje de humedad más alto. De manera similar, según la calidad del substrato, Ledel (1974), encontró una actividad celulolítica mayor en un bosque de haya que en un bosque de pinos.

4. ACTIVIDAD ENZIMATICA

La mineralización de compuestos orgánicos, no está sólo relegada a los microorganismos "sensu stricto", sino que el suelo contiene todo un sistema enzimático que actúa sobre determinados substratos con la liberación de compuestos inorgánicos. La actividad enzimática de los suelos, resulta de la actividad de las enzimas acumuladas y de aquellas que provienen directamente de los microorganismos. Las fuentes de las enzimas acumuladas son principalmente las células microbianas aunque también se originan de las raíces y de los residuos animales y vegetales (Kiss et al., 1975). Algunos autores señalan que la fauna del suelo (Kiss, 1957 cit. Burns, 1978) y las raíces de las plantas (Knudson y Smith, 1919; Rogers et al., 1942; Koslov, 1965; cit. Burns, 1978) excretan estas enzimas. En desperdicios orgánicos y en sedimentos de afluentes municipales también se ha reportado actividad enzimática (Dick y Tabatabai, 1984). De cualquier modo, la actividad enzimática de un suelo no depende sólo del factor llamado abiótico, el cual incluye enzimas extracelulares (unidas a las paredes celulares de células vivas) y aquellas activas asociadas a los fragmentos de células muertas, sino que también comprende la actividad asociada a las enzimas que se encuentran dentro de las células microbianas vivas (Nannipieri et al., 1983).

Son numerosas las enzimas del suelo que han sido investigadas hasta el momento (Kiss et al., 1975; Burns,

1978), sin embargo sólo aquellas relacionadas con los ciclos del carbono, del nitrógeno y del fósforo han sido estudiadas en mayor detalle. En el presente trabajo nos vamos a limitar a tres enzimas: carboxi-metil celulasa, fosfatasa ácida y ureasa, las cuales están implicadas en los ciclos biológicos antes mencionados. Seguidamente describiremos algunas de las características más resaltantes de dichas enzimas.

La actividad celulolítica global comporta dos entradas, la celulólisis efectuada por los microorganismos vivos (hongos, bacterias y actinomicetos) y aquella por las enzimas celulolíticas del suelo (Kong y Dommergues, 1972). La degradación de la celulosa por vía enzimática ocurre en tres etapas y es catalizada por tres enzimas diferentes las cuales pueden tener distinta procedencia entre los microorganismos. La transformación de la celulosa insoluble en celulosa soluble se realiza por la celulasa (C1), la celulosa soluble es transformada en oligosacáridos y celobiosa por la Cx, llamada carboxi-metil celulasa (CMCasa) y finalmente la celobiosa es transformada en glucosa bajo la acción de la β -glucosidasa (Charpentier, 1968; cit. Kong y Dommergues, 1972). Las enzimas celulolíticas provienen principalmente de hongos, actinomicetos y algunas bacterias (Voets et al., 1975), las cuales han sido reportadas como enzimas extracelulares, es decir, unidas a la pared celular durante el consumo de la fuente de carbono en hongos y bacterias (Norkrans, 1967).

El término fosfatasa, describe un amplio grupo de

enzimas, las fosfomonoesterasas, las fosfodiesterasas, las fosfotriesterasas y las enzimas activas en enlaces P-N (Eivasi y Tabatabai, 1976) las cuales catalizan la hidrólisis de los *esteres fosfóricos*, nucleótidos, fosfolípidos, fosfoproteínas, glicerofosfatos y azúcares fosfatos que conforman la principal fracción del fósforo orgánico en el suelo. Las fosfomonoesterasas se diferencian en fosfatasa alcalina, neutra y ácida, dependiendo del rango de acción del pH. En este trabajo el término fosfatasa se referirá sólo a este último grupo de enzimas (fosfomonoesterasas).

Las fosfatasas han sido detectadas en numerosas plantas y microorganismos. Jonossy (1963; cit. Spiers y McGill, 1979), reportó esta enzima en hongos, actinomicetos y en menor cantidad en bacterias. También se ha encontrado que el sistema de micorrizas en plantas de haya tiene una alta actividad fosfatásica, la cual está principalmente localizada en la envoltura del hongo (Battlett y Lewis, 1973). Skujins (1976) reportó que la fosfatasa ácida es de origen extracelular, sin embargo, Ladd y Paul (1973) demostraron que una gran producción de la enzima es dada por las células vivas.

La ureasa cataliza la hidrólisis de la urea en amonio y dióxido de carbono. Esta enzima ha sido detectada en numerosas plantas y microorganismos, especialmente bacterias (Voets et al., 1975). Paulson y Kurtz (1969), demostraron que la actividad ureásica de los suelos proviene de dos fuentes:

la ureasa microbial asociada directamente con los microorganismos y la ureasa absorbida por los coloides del suelo. Posteriormente estos mismos autores demostraron que la actividad ureolítica de los suelos se debe principalmente a esta última (Paulson y Kurtz, 1970). Las enzimas del suelo al ser producidas en su mayor parte por los microorganismos, van a estar condicionadas por los mismos factores. Las actividades de la carboxi-metil celulasa (Gomah y Gomaa, 1980), la fosfatasa (Khan, 1970; Dadal, 1982) y de la ureasa (Zantua y Bremner, 1976; Khan, 1970) fueron incrementadas con adiciones de materia orgánica. Palacios (1982) al estudiar varios tipos de suelos en Venezuela obtuvo correlaciones significativas entre la actividad de la ureasa y el contenido de materia orgánica, el nitrógeno total, el pH y la capacidad de intercambio catiónico. Frankenberger y Dick (1983) encontraron igualmente correlaciones positivas entre la actividad ureásica y el nitrógeno total, la capacidad de intercambio catiónico y correlaciones negativas con el porcentaje de arena. Así mismo, se han encontrado correlaciones entre la actividad fosfatásica y el nitrógeno total (Speir, 1977; Burns, 1978); con el ión Mg^{2+} y el pH del suelo (Frankenberger y Johanson, 1982), con la distribución de microorganismos en el perfil del suelo (Kheziev y Burangulova, 1965), con la actividad biológica determinada por métodos respirométricos (Batistic y Mayaudon, 1977) y según la estacionalidad (Kiss et al., 1975).

Kong y Dommergues (1972) encontraron que la actividad de la carboxi-metil celulasa fue mayor en suelos ácidos (turba ácida y un mor de podzol) que en un suelo básico (turba cálcica). En este mismo estudio al agregarse N y P, la actividad de esta enzima fue netamente estimulada en los suelos ácidos, mientras que en el suelo básico hubo una gran dependencia del P inorgánico. La estabilidad de la ureasa y de la fosfatasa fue investigada en varios suelos de pH entre 1 y 13 por Frankenberger y Johanson (1982). A bajos y altos pH las enzimas sufrieron una inactivación irreversible, sin embargo, la estabilidad de las enzimas a un dado pH fue altamente dependiente de los suelos estudiados. Esta variación se atribuyó a la diversidad de la vegetación, microorganismos y fauna del suelo como contribuyentes de la actividad enzimática y a los sitios de protección generados por la textura de los suelos. Los llamados sitios de protección permiten que las enzimas queden embebidas dentro del humus coloidal y complejos organo minerales, resistiendo a la denaturación provocada por los pH subóptimos. Otros autores (Burns et al., 1972; Pettit et al., 1976; Frankenberger y Dick, 1983) han formulado explicaciones similares respecto a la textura de los suelos.

La actividad enzimática de la ureasa, de la fosfatasa y de la invertasa fue estudiada por Kulinska et al., (1982) en los suelos ácidos del Cerrado, Brazil, el cual se caracteriza por una vegetación que constituye un gradiente fisonómico.

La actividad de estas enzimas fue estudiada en el "Cerrado" "sensu stricto" (sabana arbolada), en el "Cerradão" (sabana cerrada) y en el "a-Cerradão", este último hace mención a una parcela del Cerradão deforestada y fertilizada con 600 Kg/ha de superfosfato y 2,5 Ton/ha de cal, tres años antes, aproximadamente. La actividad de las enzimas siempre fue mayor en el "Cerradão", intermedia en el "Cerrado" y menor en el "a-Cerradão". En este trabajo no se logró establecer ninguna correlación entre las características del suelo en las tres áreas estudiadas y las actividades enzimáticas. Se sugiere la importancia de la cantidad y de la calidad del material vegetal agregado al suelo como un determinante de las actividades enzimáticas. Resultados similares han sido reportados por Pancholy y Rice (1973) para tres tipos de vegetación durante tres estados sucesionales. Este autor reportó una actividad ureásica menor en el primer estado sucesional, intermedia en el segundo y alta en el tercer estado sucesional; resultados opuestos con respecto al gradiente sucesional fueron hallados para la carboxi-metil celulasa.

Maguregui (1982) observó un incremento de las actividades de las fosfodiesterasas y fosfomonoesterasas al utilizar tierra de filtro (material de desecho de las fabricas azucareras) en suelos ácidos de la mesa de Guanipa (Edo. Anzoátegui) en la rizósfera de plantas de *Arachis hypogaea*. Dalal (1982) al agregar residuos vegetales de *Trifolium*

rapens , incremento la fosfatasa en suelos cultivados con Avena sativa respecto a los mismos suelos sin cultivar, sin embargo, al utilizar separadamente las raíces y la biomasa aérea de Trifolium sp., la actividad fue mayor al utilizar ésta última.

Batistic y Mayaudon (1977) estudiaron, entre otros parámetros de la actividad biológica, la carboxi-metil celulasa y la fosfatasa del suelo de una pradera de Bélgica utilizando tres tratamientos: fertilizante NPK , orina de ganado y la combinación de estos dos insumos. La actividad biológica general del suelo, la carboxi-metil celulasa y la fosfatasa se incrementaron con los tratamientos: orina de ganado y orina de ganado más NPK. Khan (1970) observó mayores actividades enzimáticas para la ureasa y la fosfatasa en suelos tratados con abonos orgánicos que en aquellos tratados con fertilizantes químicos. La fertilización con fósforo inorgánico puede causar tanto incrementos como disminuciones de la actividad fosfatásica. Spiers y McGill (1979) reportaron una disminución de la actividad de la fosfatasa en suelos con alto contenido de materia orgánica y alta actividad enzimática inicial y un aumento de la actividad en suelos de bajo contenido de materia orgánica y baja actividad enzimática inicial. El efecto inhibitor del fósforo inorgánico sobre la fosfatasa parece estar relacionado con la cantidad de fósforo inorgánico agregado y la capacidad del suelo (Rankov y Dimitrov, 1971; Juma y Tabatabai, 1977; Spiers y McGill,

1979). Avdonin et al., (1976) al estudiar la ureasa en parcelas tratadas sistemáticamente con fertilizantes químicos (nitrato de amonio, cloruro de potasio, superfosfato y encalado) observaron una inhibición de la actividad de esta enzima. Sin embargo, Zantua y Bremner (1976) no encontraron ningún efecto en la actividad de la ureasa en los suelos tratados con urea y otros fertilizantes químicos.

III. MATERIALES Y METODOS

1. DESCRIPCION DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

Se estudió una plantación de Coffea arabica var. caturra ubicada en el sector "La Grita" en la hacienda "Cucuchica" (780 m.s.n.m.), Tovar, Edo. Mérida.

Según registros de los últimos 10 años (1974-1984) del MARNR, la temperatura mínima media anual es de 18°C y la temperatura máxima media anual de 27°C; la precipitación de la zona varía entre 727 y 1307 mm. El régimen de precipitaciones es bimodal, con máximos de lluvias en los meses de Mayo y Septiembre y la estación seca en los meses de Enero y Febrero. La distribución de las precipitaciones durante el período de muestreo puede observarse en la fig. 1.

El área experimental de la plantación fue de 1125 m² con 153 cafetos (edad 3-4 años), de los cuales se habían obtenido dos cosechas sin utilización de insumos, en la fig. 2 se muestra el plano de la parcela y la distribución de los cafetos. Se realizaron dos deshierbes manuales durante el tiempo de muestreo, uno en el mes de Septiembre, antes de comenzar los muestreos, y otro durante la época seca, en el mes de Enero.

La plantación presentó un 40% de sombra heterogénea generada por cinco árboles de Cedrella sp. y un árbol de Cordia sp. durante los meses de Septiembre a Diciembre. Sin

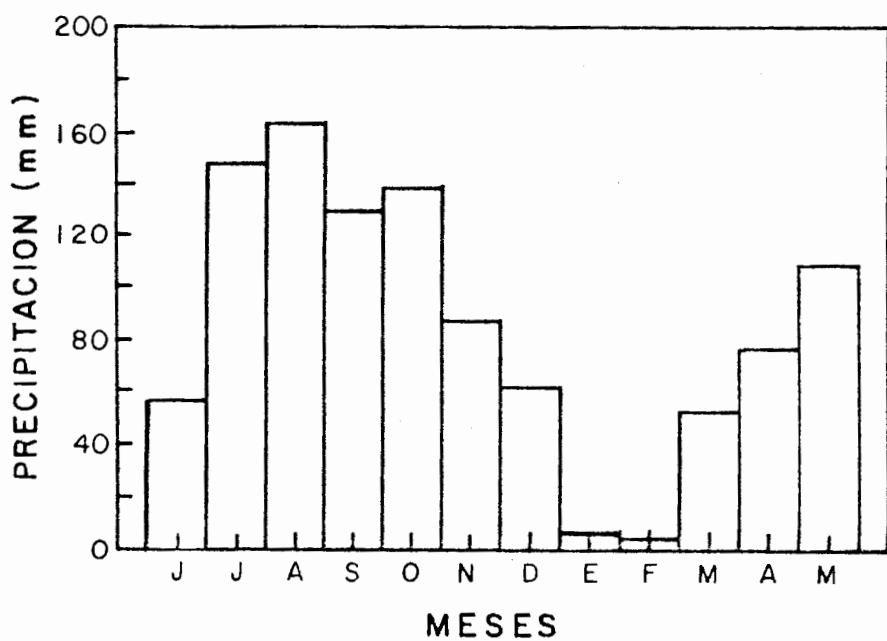
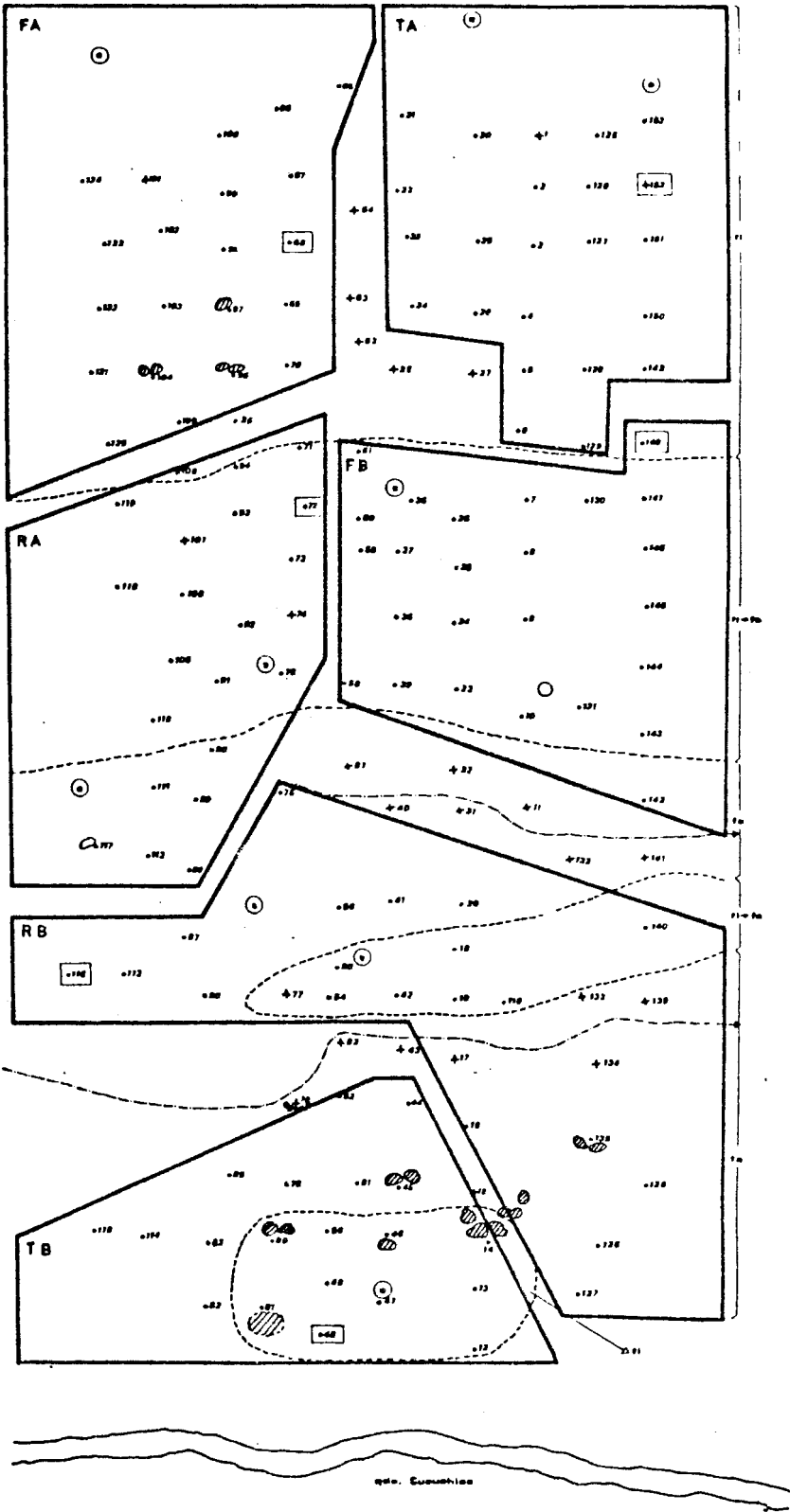


Fig. 1.- Distribución anual de la precipitación en Tovar (Edo. Mérida) durante el período de muestreo (Fuente: MARNR).

LEYENDA

- cafeto tratado
- + cafeto no tratado
- ☞ Piedra
- ⊖ Cedrella sp.
- árbol no identificado
- recolector de hojarasca en el cafeto
- curso intermitente de agua
- C sub parcela control
- F sub parcela con fertilizante químico
- R sub parcela con fertilizante orgánico
- fl textura suelo franco limoso
- fa textura suelo franco arenoso
- fl→fa textura suelo franco limoso limitando franco arenoso

Fig. 2.- Plano de la parcela experimental.



escala 1:100 aprox.

embargo, entre Diciembre y Enero el Cedro perdió sus hojas, lo que mantuvo a la plantación a casi plena exposición solar oeste hasta el final del muestreo.

La plantación se ubicó en la terraza sur de la quebrada Cucuchica presentando una ligera pendiente de aproximadamente 3 grados. Al sur, la plantación delimita con una ladera de 35 grados de pendiente, la cual origina un sucesivo aporte de arcillas a la parcela. Pero cursos intermitentes de agua en sentido este-oeste provocan el arrastre de estas arcillas en la parte media y sur de la plantación generando una variabilidad en la textura del suelo.

La parcela experimental se dividió en seis subparcelas, cada una con 20 cafetos previamente numerados. Se tomaron al azar dos subparcelas para cada tipo de manejo: tradicional o con entrada natural de nutrientes al ecosistema (TA y TB), fertilización con residuo de café (RA y RB) y fertilización química con NPK (FA y FB), véase fig. 2.

2. FORMAS DE MANEJO

2.1. Tradicional. Las dos subparcelas bajo manejo tradicional (TA y TB) tienen por entrada de nutrientes el mantillo natural del cafetal, constituido principalmente por la hojarasca de los árboles de sombra y la de los cafetos. Esta forma de manejo tradicional fue considerada como control.

2.2. Residuo de café. Una mezcla de pulpa y pergamino provenientes del beneficio de café de la zona fue usada como fertilizante orgánico. Se realizaron dos fertilizaciones siguiéndose el manejo agrícola de la zona, la primera fertilización se realizó a finales del mes de Octubre (época de lluvias) y la segunda a finales de la época seca, en el mes de Febrero. En las dos fertilizaciones se utilizó el residuo de café con un mes de descomposición a fin de evitar dañar las plantas a causa de las altas temperaturas generadas por el proceso de fermentación. Se utilizaron dos tipos de residuo de café de distinta procedencia y con un mes de descomposición. El primero estaba acumulado en una fosa y el segundo recibió aguas de lavado de una cochinera. Se añadieron 1,22 y 0,77 Kg peso seco de residuo de café por cafeto en la primera y segunda fertilización respectivamente, esta diferencia se debió a un mayor contenido de humedad del residuo utilizado en la segunda fertilización. Al aplicarse el residuo de café, éste se extendió desde el tronco hacia afuera en un radio de 50 a 60 cm.

2.3. Fertilizante químico NPK. Se utilizó la fórmula 3:1:3 aplicándose el nitrógeno en forma de urea y de sulfato de amonio, el fósforo en forma de fosfato diamónico y el potasio como cloruro de potasio. En la fertilización de Octubre se aplicaron 270 gr de NPK por cafeto, según las

indicaciones de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1979) y en la fertilización de Febrero la dosis fue de 150 gr por cafeto. La disminución de la segunda dosis se realizó con el fin de agregar cantidades equivalentes de nutrientes respecto al residuo de café. La aplicación se realizó en corona y a un radio entre 50 y 60 cm.

3. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO Y DEL RESIDUO DE CAFE.

Estas mediciones se realizaron con el fin de conocer la influencia de la estacionalidad y de las formas de manejo sobre las condiciones edáficas y microclimáticas del suelo.

3.1. Recolección del suelo. Mensualmente se recogió una muestra de suelo (profundidad 0-10 cm) al pie de cuatro cafetos por cada tratamiento: tradicional, fertilización orgánica y fertilización química.

3.2. Determinación de la textura del suelo. Se realizaron dos transectas Norte-Sur y cuatro Este-Oeste con la finalidad de conocer las características texturales del suelo de la parcela experimental. La textura fue determinada en 23 sitios diferentes. La distribución del tamaño de las partículas se hizo siguiendo el método de Bouyoucos (Day, 1965), utilizando como agente dispersante hidróxido de sodio 1N (NaOH). Se

tomaron lecturas del hidrómetro (tipo ASTM, No. 152H) a los 40 segundos y a las dos horas.

3.3. Determinación del pH en agua. A 10 gr de suelo y de residuo de café se le agregaron 25 ml de agua bidestilada (Jackson, 1976), después de agitar se dejaron decantar durante 30 min. El pH se determinó en un pH-metro marca Orión, modelo 811, electrodo combinado 81-02.

3.4. Determinación de la humedad del suelo. Mensualmente se recogió una muestra de suelo (profundidad 0-5 cm) al pie de 4 cafetos por tratamiento. Las muestras fueron secadas en estufa a 75° C durante tres días y luego se les determinó el porcentaje de agua en base al peso seco mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{a-b}{b-c} \cdot 100$$

donde "A" es el contenido de humedad, "a" es el peso del suelo húmedo más el peso del recipiente, "b" es el peso del suelo seco más el peso del recipiente y "c" es el peso del recipiente.

3.5. Determinación de la temperatura del suelo. Se realizó una medición mensual de la temperatura media diaria de la superficie del suelo de cuatro cafetos por tipo de manejo, tomándose tres registros durante el día: 7 am, 12 am y 6 pm.

Los registros fueron hechos en un aparato Soiltest modelo MC300B.

3.6. Determinación de fósforo total. Se digirieron 200 mg de suelo con 2 ml de una mezcla de ácido perclórico ($HClO_4$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) en la proporción 2:8, la cual tenía 0.16 gr/l de pentóxido de vanadio (V_2O_5) como catalizador (Gales y Booth, 1974). La temperatura de digestión fue de $200^\circ C$. El fósforo se determinó colorimetricamente utilizando como reactivos molibdato de amonio y ácido ascórbico (Jackson, 1976) en un espectrofotómetro Bausch y Lomb, modelo Spectronic 20.

3.7. Determinación del nitrógeno total. Se digirieron 200 mg de suelo o 100 mg de material vegetal con 2 ml de H_2SO_4 concentrado utilizando como catalizador sulfato de potasio y selenio metálico. Las temperaturas de digestión fueron $360^\circ C$ para el suelo y $200^\circ C$ para el material vegetal, manteniéndose estas condiciones de digestión durante 2 horas. Luego se destiló el nitrógeno en forma de amonio sobre el ácido bórico al 4% y se cuantificó el nitrógeno con una titulación por retorno.

3.8. Determinación de cationes en el suelo y en el residuo de café.

a. En el suelo. Muestras de 10 gr de suelo se extrajeron

con 25 ml de una solución de acetato de amonio 1N, pH 7, llevándose a un volumen final de 100 ml (Jackson, 1976). La solución se filtró con papel Whatman No. 42 y posteriormente se determinaron las bases cambiabiles (Ca, Mg, Na y K) por absorción atómica en un equipo Varian Techtron, modelo 157A bajo las siguientes condiciones:

Metal	Longitud de onda nm	Paso de Banda - espec <tral nm<="" th=""> <th>Rango óptimo de trabajo ug/ml</th> <th>Corriente de la lámpara - MA</th> <th>Combustible</th> <th>Comburente</th> </tral>	Rango óptimo de trabajo ug/ml	Corriente de la lámpara - MA	Combustible	Comburente
Na	589,6	1,0	0,5-2,0	5	Acetileno	Aire
K	769,9	1,0	1,5-6,0	5	Acetileno	Aire
Ca	422,7	0,5	1,0-4,0	3,5	Acetileno	Oxido nitroso
Mg	789,2	0,5	0,1-0,4	3,5	Acetileno	Aire

b. En el material vegetal. Se siguió el mismo método de digestión utilizado para el fósforo total (sección 3.6). Los elementos Ca, Mg, Na y K se determinaron después de haber filtrado las soluciones por absorción atómica siguiendo el mismo método señalado en la sección 3.8.a.

3.9. Determinación de la materia orgánica.

a. En el suelo. El análisis de materia orgánica se hizo

por vía húmeda siguiendo el método de Walkley-Black (Jackson, 1976). Este consiste en una oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio (1N) y titulación con sulfato ferroso (sal de Mohr), usando como indicador difenilamina.

b. En el material vegetal. Una muestra de 200 mg fue incinerada en una mufla a 450°C por tres horas. El contenido de materia orgánica se determinó por pérdida de peso (Jackson, 1976).

4. APORTES AL AGROECOSISTEMA Y SU DINAMICA.

4.1. Recolección de la hojarasca debajo del cafeto. Con el fin de conocer los cambios en el aporte de materia orgánica al agroecosistema se efectuó mensualmente el barrido de un perímetro conocido de seis cafetos, uno por cada subparcela. La hojarasca recolectada se separó en sus diferentes fracciones (hojas, pecíolos y frutos de café, cedro y otros), fue secada a 70° C y pesada, obteniéndose el peso seco para cada fracción por área de suelo debajo del cafeto.

4.2. Velocidad de descomposición de la hojarasca y del residuo de café. Para conocer la capacidad de degradación del residuo de café por el suelo de este cafetal se midieron paralelamente, la velocidad de descomposición de la hojarasca de café y de dicho material de desecho.

a. Hojarasca. Se recolectaron hojas activas del cafeto

las cuales fueron secadas en estufa a 70°C durante tres días y colocadas posteriormente en bolsas de malla plástica de dimensiones 15 cm x 15 cm (abertura 5 mm). Se colocó un peso seco de hojas de 1,3 gr por bolsa. En cada cafeto se colocaron dos bolsas numeradas en orientación Norte-Sur, las cuales fueron sujetadas al suelo por medio de ganchos. Mensualmente fueron retiradas las bolsas de 5 cafetos seleccionados al azar para medir la velocidad de descomposición (se asume que no hay incorporación de hojarasca al sistema). Las muestras fueron secadas en estufa a 70°C durante tres días, calculándose la velocidad de descomposición mediante el cambio de peso seco inicial. La tasa de desaparición fue calculada según el modelo de Wiegert y Evans (1964), mediante la fórmula:

$$K = \ln(P_f/P_o)/t$$

donde "K" es la constante de descomposición en mg/gr·año, "P_o" es el peso inicial de la muestra, "P_f" es el peso final de la muestra y "t" es el tiempo en años.

b. Residuo de café. Se colocaron debajo de cada cafeto cajas de malla respectivamente numeradas de dimensiones 2 cm x 5 cm x 5 cm y 5 mm de abertura a las cuales se le agregaron entre 15 y 20 gr peso seco de residuo de café. Dichas cajas fueron tratadas de manera análoga a la descrita en la sección 4.2.a.

4.3. Retención de humedad de la hojarasca y del residuo de café. Este experimento se realizó para conocer la capacidad de retención de humedad de la hojarasca y del residuo de café a lo largo del proceso de descomposición. Las bolsas de hojarasca y las cajas con residuo de café recolectadas mensualmente se limpiaron de restos animales, vegetales y de suelo, se les determinó el peso fresco en una balanza analítica Sauter, modelo 414/10. El peso seco de dichos materiales se determinó después de someterlo a una temperatura de 70° C durante tres días. La retención de humedad se calculó por la siguiente fórmula:

$$A = a-b/b \cdot 100$$

donde "A" es la retención de humedad, "a" es el peso húmedo de la muestra y "b" es el peso seco.

5. INDICES DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA.

5.1. Degradación de la Celulosa. Para evaluar la actividad celulolítica en el campo se utilizó papel de filtro Whatman No. 42 (sin cenizas) de 9 cm de diámetro previamente pesados en una balanza analítica Sauter modelo 414/10. El papel de filtro se colocó en bolsas de malla plástica de 1 mm de diámetro y de dimensiones 10 cm x 10 cm (Ledel, 1974; Parmentier y Remacle, 1976). Las mallas conteniendo los filtros se colocaron sobre la superficie del suelo, recubiertas ligeramente con la hojarasca que existiese debajo

de cada uno de 10 cafetos seleccionados al azar por cada tipo de manejo. Las bolsas se recolectaban mensualmente y después de eliminar cuidadosamente los restos vegetales y las partículas de suelo fueron secados durante cuatro días a 65° C. Posteriormente, después de limpiarlos de nuevo de partículas de suelo, se les determinó el peso seco. Este protocolo de trabajo fue repetido en 10 nuevos cafetos mensualmente. La actividad celulolítica se expresó como el porcentaje de pérdida de celulosa en función del peso seco inicial.

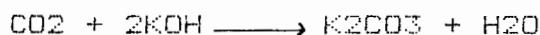
5.2. Respiración Edáfica. Se utilizó el método de absorción de Walter y Haber, o método de la campana, descrito por Selwer (1969) y Machado (1978). El principio de este método es la absorción del anhídrido carbónico liberado por el suelo sobre un álcali, determinándose la cantidad de CO₂ respirado por titulación con ácido.

Como campana se utilizaron potes de leche de 2 Kg y frascos de compota para la solución fijadora del CO₂. La relación del área de ambos recipientes fue aproximadamente de 10:1. Para permitir la fluidéz uniforme del CO₂, los frascos de compota que contenían 10 ml de KOH 0.5M fueron colocados sobre una rejilla de alambre.

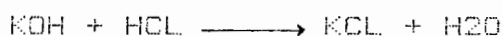
Mensualmente se realizaba una medición diaria en cada uno de los tipos de manejo, separándose la respiración diurna de

la nocturna. El número de réplicas por tipo de manejo fue de 10 cafetos escogidos al azar. Para evitar las variaciones provocadas por la insolación, los potes fueron recubiertos con maleza.

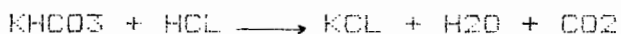
La cantidad de CO₂ fijado en la solución de KOH se determinó por doble titulación con HCL 0.1N. Se utilizaron como indicadores la fenolftaleína (1%) y el anaranjado de metilo (0.1%). Las reacciones químicas involucradas son las siguientes:



a. Indicador fenolftaleína.



b. Indicador anaranjado de metilo.



La tercera reacción mide la segunda parte de la reacción para los bicarbonatos; de esta manera la cantidad total de K₂CO₃ de la solución inicial se conoce multiplicando por 2 la cantidad del ácido utilizada en la segunda titulación y a la cual se le ha sustraído previamente el control. Los mg de CO₂ se obtienen multiplicando esta cantidad por el equivalente-gramo del CO₂ (22) y por la normalidad del ácido utilizado. La respiración edáfica se expresa en mg CO₂/m² . h por lo cual se hace necesario conocer el área de la campana utilizada y el tiempo exacto de la medición. Finalmente se

multiplica el valor obtenido por $3/4$ lo que corresponde a un 75% de absorción de CO_2 en períodos de 12 h por este método.

5.3. Actividad de la Carboxi-metil celulosa. Esta enzima del sistema enzimático de la degradación de la celulosa se estudió con el fin de registrar su actividad durante este proceso en las tres formas de manejo. También se estudió el efecto de la estacionalidad sobre su actividad y la relación con los demás parámetros biológicos.

a. Reactivos.

Buffer acetato-fosfato 0,5M pH 5,75. Se preparó con 500 ml de ácido acético 0,5M y 500 ml de fosfato disódico 0,5M. El pH de esta solución fue de 5,75.

Carboxi-metil celulosa. Se disolvieron 2,5 gr de carboxi-metil celulosa (Merck) en 250 ml de agua desmineralizada, obteniéndose una solución al 1%.

Solución de antrona. Se disolvió 1 gr de antrona en 500 ml de H_2SO_4 95% (Bachelier y Gavinelli, 1966).

b. Preparación de la curva estandar de glucosa. Se disolvieron 25 mg de glucosa en aproximadamente 50 ml de agua desmineralizada, diluyéndose luego a 1L. A partir de esta solución madre de 250 $\mu g/ml$ se obtuvieron soluciones de concentraciones 12,5, 25, 50 y 100 $\mu g/ml$. A 1 ml de estas soluciones se les trató con la solución de antrona (ver método en la siguiente sección) y se graficó absorbancia versus

concentración de glucosa en $\mu\text{g/ml}$.

c. Determinación de la actividad de la carboxi-metil celulosa. Se midió la actividad de esta enzima siguiendo el método de Pancholy y Rice (1973) modificado (se utilizó el buffer acetato-fosfato pH 5,75 citado por Ross, 1965 en lugar del buffer acetato pH 5,9). A 5 gr de suelo se le agregaron 0,5 ml de tolueno (Merck), después de 15 min, se añadieron 10 ml de buffer acetato-fosfato 0,5M a pH 5,75 y 10 ml del substrato carboxi-metil celulosa 1% los cuales se mezclaron bien. Al control se le substituyó el substrato por 10 ml de agua bidestilada. Las muestras, con dos réplicas dada la exactitud del método y sus respectivos controles, se colocaron a 30° C en una estufa Blue M Electric Company, modelo OV-16A, por 24 h. Al final de este período se les agregó 50 ml de agua, se filtraron con papel Whatman No. 42 y se diluyeron a 100 ml. El contenido de azúcares reductores se determinó siguiendo el método colorimétrico de la antrona (Bachelier y Gavinelli, 1966). A 2 ml de la muestra se le agregaron 4 ml de la solución de antrona en frío y mediante agitación, luego se colocó la muestra en baño de maría durante exactamente 10 min para la obtención del color. Se leyó la concentración de glucosa en relación a la curva estandar a 620 nm en un espectrofotómetro Bausch y Lomb, modelo Spectronic 20, expresándose la actividad de esta enzima en mg de carbohidratos solubles/100 gr. de suelo . 24 h.

5.4. Actividad de la fosfatasa ácida. Esta enzima encargada de mineralizar el fósforo orgánico se estudió con el fin de registrar su actividad en las tres formas de manejo. También se estudió el efecto de la estacionalidad sobre su actividad y la relación con los demás parámetros biológicos estudiados.

a. Reactivos.

Buffer Universal. Se preparó disolviendo 3,025 gr de tris-hidroximetil-aminometano, 2,90 gr de ácido maléico, 3,50 gr de ácido cítrico y 1,57 gr de ácido bórico en 122 ml de NaOH 1N. La solución fue llevada a pH 6 con HCL 1N, luego se enrazó a 250 ml.

p-Nitrofenil fosfato (pNFF). Se preparó una solución de pNFF 20 mM, disolviendo 0,2631 gr de la sal disódica 4-nitrofenil fosfato (Merck) en 50 ml de agua desmineralizada y se conservó en obscuridad. Esta solución se preparó cada vez que se determinaba la actividad enzimática.

Cloruro de calcio 0,5M. Se disolvieron 73,5 gr de cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en agua y se diluyó la solución a 1L.

Hidróxido de sodio 0,5M. Se disolvieron 20 gr de NaOH en 1 L de agua bidestilada.

b. Preparación de la curva estandar de p-Nitrofenol (pNF). Se disolvió 0,139 gr de p-nitrofenol en 500 ml de agua,

se llevo a pH 9 con NaOH 0,1M, seguidamente se diluyó a 1 L, obteniéndose una concentración final de 1000×10^{-6} M. A partir de esta solución madre se prepararon las siguientes concentraciones: 0, 1, 5, 10, 50 y 100 $\mu\text{g/ml}$ de pNF. A estas soluciones se les midió la absorbancia a 405 nm en un espectrofotómetro Bausch y Lomb, modelo Spectronic 20, dichos valores se graficaron versus μg de pNF.

c. Determinación del efecto de la concentración del sustrato. Se determinó el efecto de la concentración del pNFF sobre la actividad fosfatásica mediante cuatro soluciones de concentraciones 2,5, 5, 10 y 20 mM, a fin de conocer la concentración del sustrato a la cual la velocidad enzimática es máxima.

d. Determinación de la actividad de la fosfatasa. La actividad de la fosfatasa se determinó por el método propuesto por Tabatabai y Bremner (1969). Un gr de suelo se incubó a 37°C , en una estufa de la firma Blue M Electric Company, modelo DV-18A, por 1 h después de agregarle 4 ml de buffer universal, 0,25 ml de tolueno y 1 ml del sustrato pNFF (20 mM). Al final del tiempo de incubación se agregó 1 ml de CaCl_2 0,5M y 4 ml de NaOH 0,5M para inactivar la enzima; luego se pasó la muestra por papel filtro Whatman No. 42. Cada muestra consistió en 4 réplicas con sus respectivos controles. Se determinó la concentración del pNF por colorimetría (véase sección b), expresándose la actividad de la enzima en μg pNF/g

suelo . h.

5.5. Actividad de la Ureasa. Esta enzima encargada de la hidrólisis de la urea se estudió con el fin de registrar su actividad en las tres formas de manejo. También se estudió el efecto de la estacionalidad sobre su actividad y la relación con los demás parámetros biológicos estudiados.

a. Reactivos.

Buffer THAM 0,05M pH 6,75. Se disolvieron 6,1 gr de tris-hidroximetil-aminometano (THAM) en 700 ml de agua, se llevó el pH a 6,75 con H₂SO₄ 0,2M y se diluyó con agua a 1 L.

Urea. Se preparó una solución de 35 mM disolviendo 0,105 gr de urea (Merck) en 50 ml de buffer THAM.

Solución de acetato fenilmercúrico-cloruro de potasio (KCL-FMA) 2M. Se disolvieron 375 gr de cloruro de potasio en 2,25 L de agua y se le agregaron 0,25 L de acetato de fenil mercurio disueltos previamente en 0,25 L de agua.

b. Determinación del efecto de la concentración del sustrato. Se midió el efecto de la concentración de la urea sobre la actividad ureásica mediante seis soluciones de concentraciones 5, 10, 20, 30 35 y 40 mM a fin de conocer la concentración del sustrato a la cual la velocidad de actividad enzimática es máxima.

c. Determinación de la actividad de la ureasa. La actividad de la ureasa fue determinada por el método

modificado de Tabatabai y Bremner (1972). A 5 gr de suelo se le agregaron 0,2 ml de tolueno, 9 ml de buffer THAM y 1 ml del substrato urea (35 mM). Después de 24 h de incubación, se inhibió la enzima al agregársele 40 ml de KCL-PMA, se agitaron las muestras por 1 h y se filtraron en papel Whatman NO. 42. Estos extractos fueron enrazados a 50 ml tomándose alícuotas de 10 ml para la determinación del nitrógeno mediante la liberación del amonio por el método Kjeldahl ya descrito para la determinación del nitrógeno total (sección 3.7). Cada muestra consistió en tres réplicas con su respectivo control. La actividad de la enzima se expresó en $\mu\text{g N-NH}_4/\text{g suelo} \cdot \text{h}$.

Nota: Todas las soluciones preparadas en este trabajo se conservaron en el refrigerador a 4°C.

6. TRATAMIENTO ESTADISTICO.

Se determinó la media aritmética (\bar{X}) y el error estandar (S) de todos los parámetros medidos. Los parámetros físico-químicos se analizaron mediante el uso del test t-student. Los índices biológicos fueron procesados mediante la estadística no-paramétrica (Siegel, 1970). Se utilizó el análisis de varianza de dos clasificaciones (diseño de "bloques aleatorios") utilizando el test de rangos de Friedman para determinar si había efecto diferencial significativo entre los tres tipos de manejo. Al existir diferencias

significativas se compararon los tipos de manejo dos a dos mediante la prueba de U de Mann-Whitney. Se utilizó el coeficiente de correlación de rango de Spearman entre los diferentes parámetros biológicos.

IV. RESULTADOS

1. PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SUELO Y DE LA MATERIA ORGANICA.

1.1. Características texturales del suelo y de la parcela experimental.

Dada la ubicación de la parcela experimental, descrita anteriormente, se hizo necesario determinar la textura del suelo en varios puntos de la misma. Se obtuvieron variaciones graduales desde la textura franco-limosa hasta franco-arenosa como se presenta en la fig. 3. Cada número presentado en el triángulo textural representa el grupo de textura formado por los cafetos muestreados a lo largo del estudio (Apéndice I). Los cambios de textura mostrados por la parcela se presentan en el plano de la misma (fig. 2), donde se observa que las subparcelas FA y TA y una parte de TB tienen suelos de textura franco-limosa (f1); las subparcelas FB y una parte de RA y RB son de textura franco-limosa pero en el límite del triángulo textural con la textura franco-arenosa (f1-fa) y la textura franco-arenosa (fa) se localiza alrededor de los cursos intermitentes de agua, comprendiendo la parte restante de las subparcelas RA, RB y TB. Tenemos entonces que en el suelo de las subparcelas tratadas con residuo de café se encuentra el mayor porcentaje de arenas. Estas variaciones texturales del suelo de la parcela experimental han de tomarse en cuenta para la interpretación de algunos resultados de la actividad

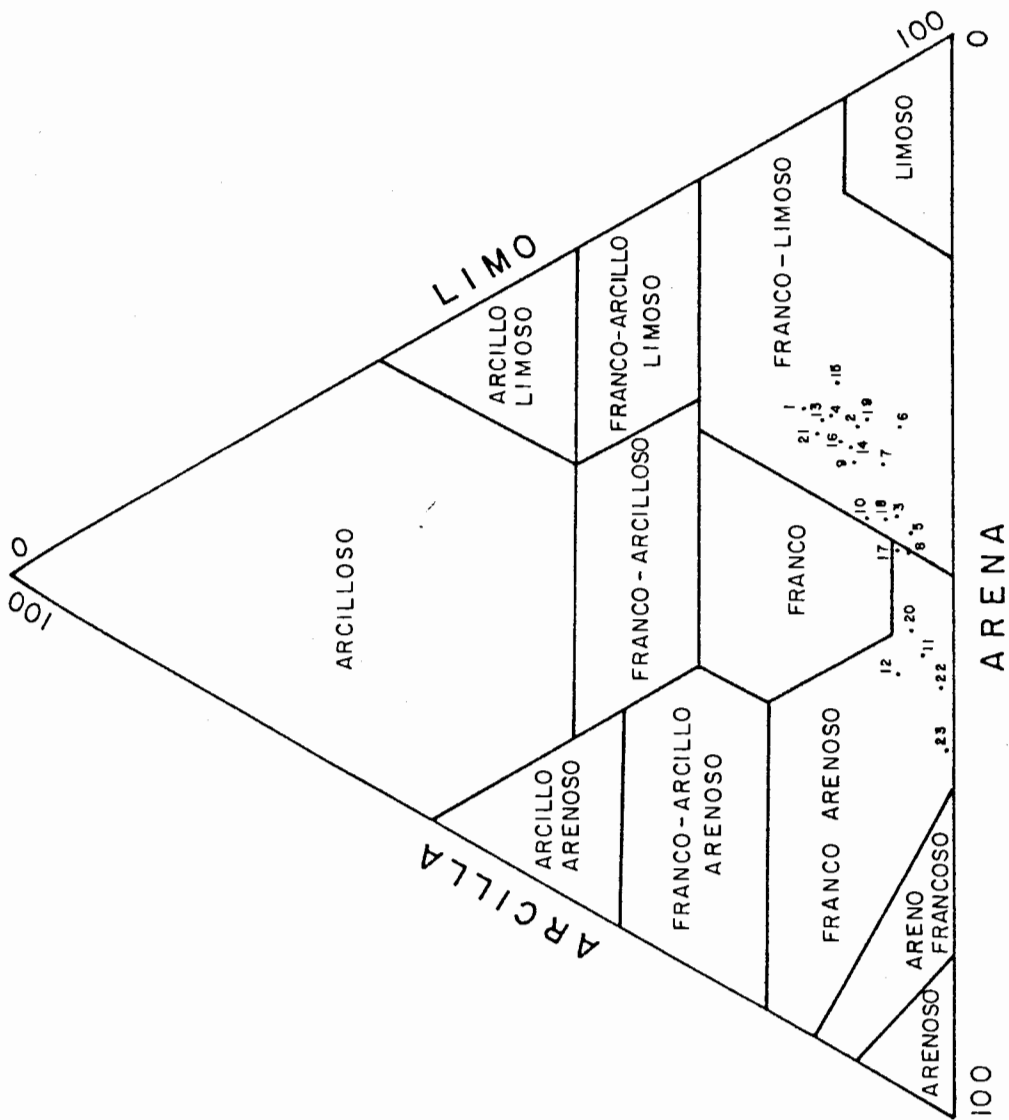


Fig. 3.- Variaciones texturales del suelo de la parcela experimental.

enzimática.

1.2. pH del suelo en agua.

Los cambios de pH experimentados por el suelo de la parcela bajo los tres tipos de manejo se presentan en la fig. 4. El pH en el suelo con manejo tradicional osciló a todo lo largo del tiempo de muestreo entre 5,4 y 5,8, no registrándose, igualmente, mayores variaciones en el suelo fertilizado con residuo de café. Contrariamente, el suelo fertilizado con NPK presentó descensos del pH después de realizadas las dos fertilizaciones, a finales de Octubre y a mediados de Febrero. Después de la fertilización realizada en la época de lluvias, el pH bajó de 5,65 a 5,20 al siguiente muestreo y en la segunda fertilización realizada a finales de la época seca, el descenso fue gradual pero mayor, pasando el pH de 5,6 a 4,9; manteniéndose en el rango bajo hasta finales del tiempo de muestreo.

1.3. Humedad del suelo.

Los valores mensuales y el efecto del tipo de manejo sobre la humedad del suelo se presenta en la fig. 5. El suelo bajo manejo tradicional presentó variaciones entre 45% y 34% de humedad, registrándose el menor contenido de agua en el suelo en el mes de Marzo para los tres tipos de manejo, mes en que comienzan las lluvias pero cuando se manifiesta el menor valor

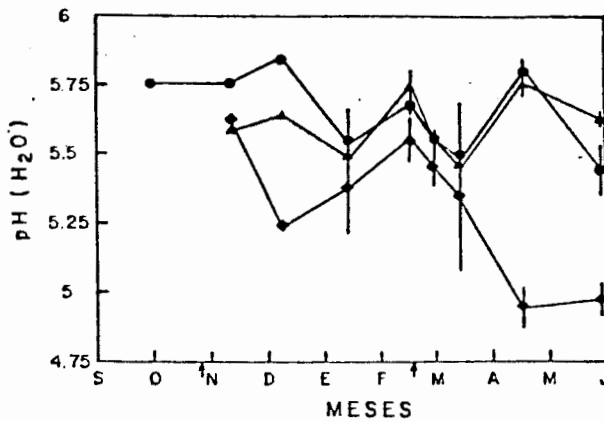


Fig. 4.- Valores mensuales del pH (H₂O) del suelo (profundidad 0-10 cm) de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

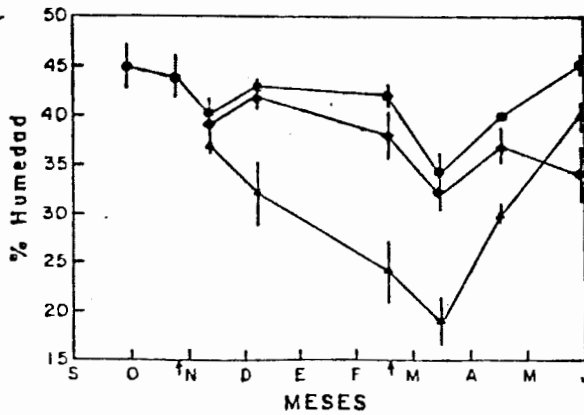


Fig. 5.- Marcha anual de la humedad del suelo (profundidad 0-5 cm) de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

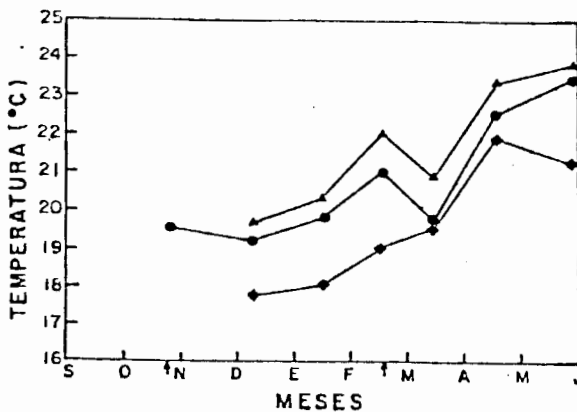


Fig. 6.- Valores mensuales de la temperatura media diaria de la superficie del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

de humedad del suelo. El suelo fertilizado con NPK presentó siempre una ligera disminución del contenido de humedad en relación al suelo bajo manejo tradicional, presentando valores entre 39% y 34%. El suelo tratado con residuo de café presentó mayores variaciones del contenido de humedad, entre 40% y 20%, observándose un descenso de humedad entre la primera y la segunda fertilización.

1.4. Temperatura del suelo.

La temperatura media diaria de la superficie del suelo experimentó algunas diferencias como se observa en la fig. 6. La temperatura más baja se registró durante las lluvias de fin de año y las más altas durante las segundas lluvias y cuando se inició el "veranito" de los meses de Junio y Julio. El suelo con residuo de café presentó temperaturas ligeramente superiores, entre 0,5 y 1°C respecto al manejo tradicional; mientras que en el suelo con NPK las temperaturas fueron menores hasta de 2°C, además de presentar una marcha diferente al de los otros manejos.

1.5. Nutrientes del suelo.

En el manejo tradicional el contenido de nutrientes del suelo varió a lo largo del muestreo. El NT, K^+ y Ca^{2+} presentaron una mayor concentración en el suelo durante las estaciones lluviosas y una menor concentración durante la

estación seca (figs. 7, 8 y 9), mientras que el Mg^{2+} (fig. 10), permaneció constante durante el tiempo de muestreo. Contrariamente, el Na^+ y el PT presentaron las mayores concentraciones en la estación seca (figs. 11 y 12).

Los niveles de Na^+ (0,013 a 0,06 meq/100 gr suelo), de Mg^{2+} (0,5 a 0,9 meq/100 gr suelo) y de Ca^{2+} (0,2 a 1,34 meq/100 gr suelo) fueron bajos en este suelo, mientras que los niveles de K^+ presentaron grandes variaciones, desde rangos muy bajos (0,07 meq/100 gr suelo) hasta muy altos (0,80 meq/100 gr suelo); igualmente, el PT y el NT presentaron variaciones entre los rangos bajos y medios, entre 7 y 69 mg PT/100 g suelo y 1,63 y 3,15 mg NT/100 gr suelo (Malagón, 1982).

El porcentaje de materia orgánica en el suelo fue menor en las épocas de lluvias y mayor en la época seca (fig. 13), variando entre 3% y 4% hasta 5%. La relación C/N se presentó alta en la época seca mientras que durante las épocas de lluvias osciló alrededor del óptimo, 10:1 (fig.14).

Se registraron diferencias significativas entre las tres formas de manejo para el Na^+ en los meses de Noviembre, Diciembre ($p < 0,05$) y Marzo ($p < 0,01$) fig. 11; para el K^+ en los meses de Noviembre ($p < 0,05$), Diciembre y Enero ($p < 0,01$) fig. 10 y el porcentaje de materia orgánica en Marzo ($p < 0,01$) fig. 13. Los valores de los análisis de nutrientes del suelo se presentan en el Apéndice II.

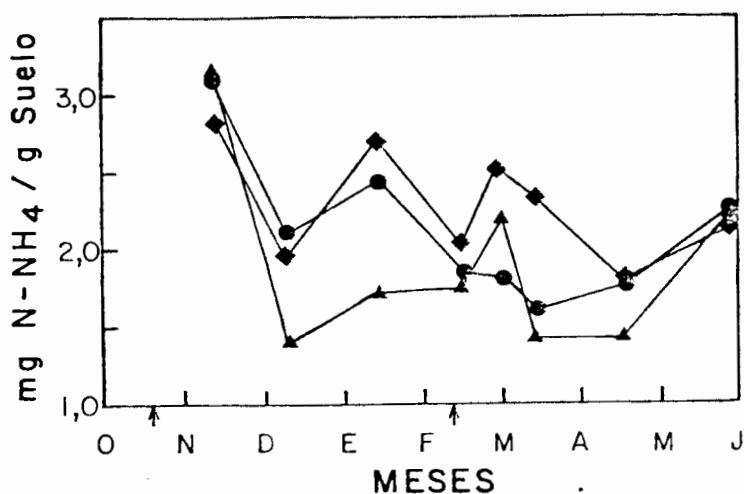


Fig. 7.- Valores mensuales del nitrógeno total del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

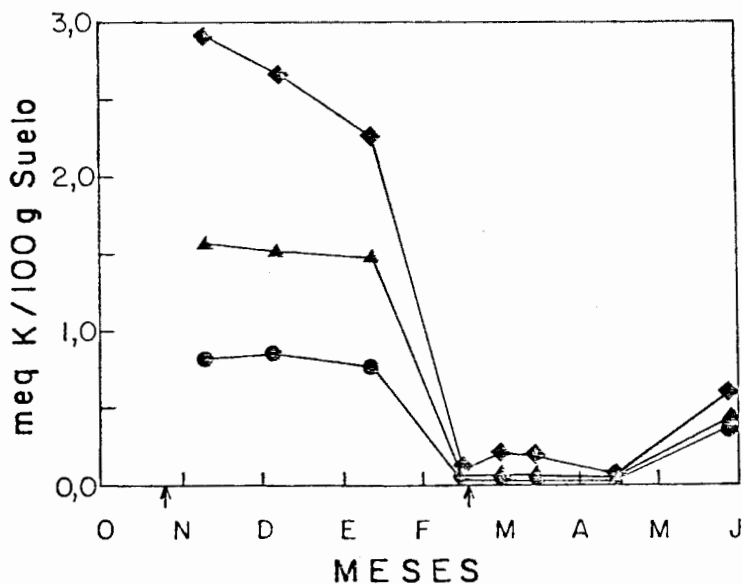


Fig. 8.- Valores mensuales del potasio del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

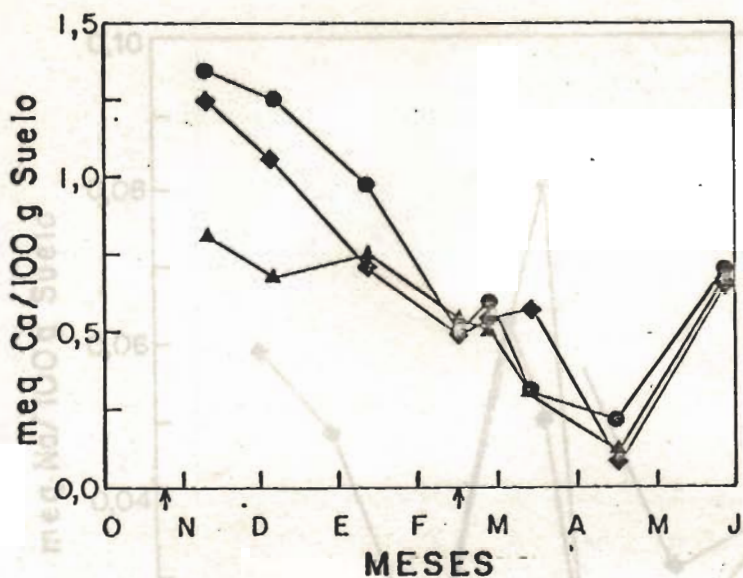


Fig. 9.- Valores mensuales de calcio del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: Tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

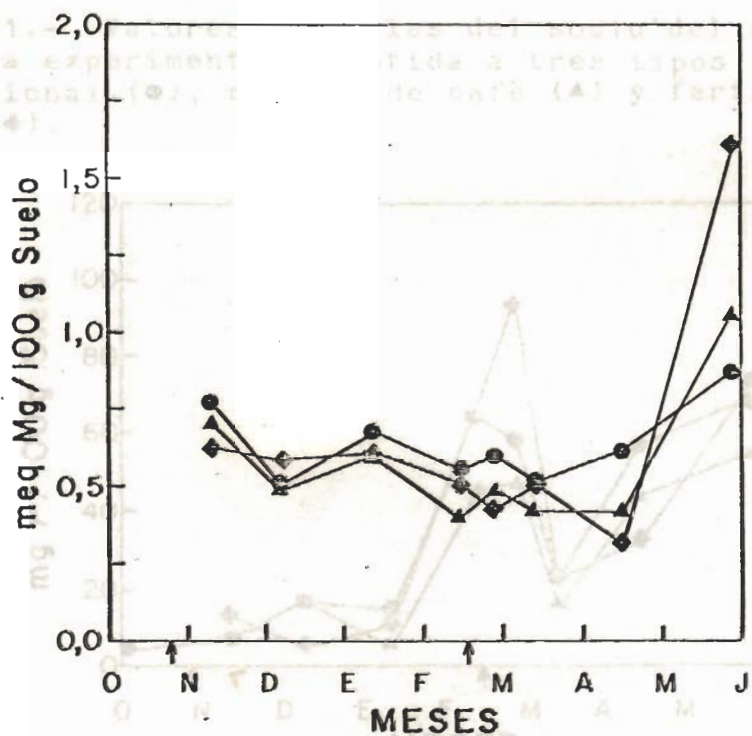


Fig. 10.- Valores mensuales del magnesio del suelo de la parcela experimental sometida a tres formas de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

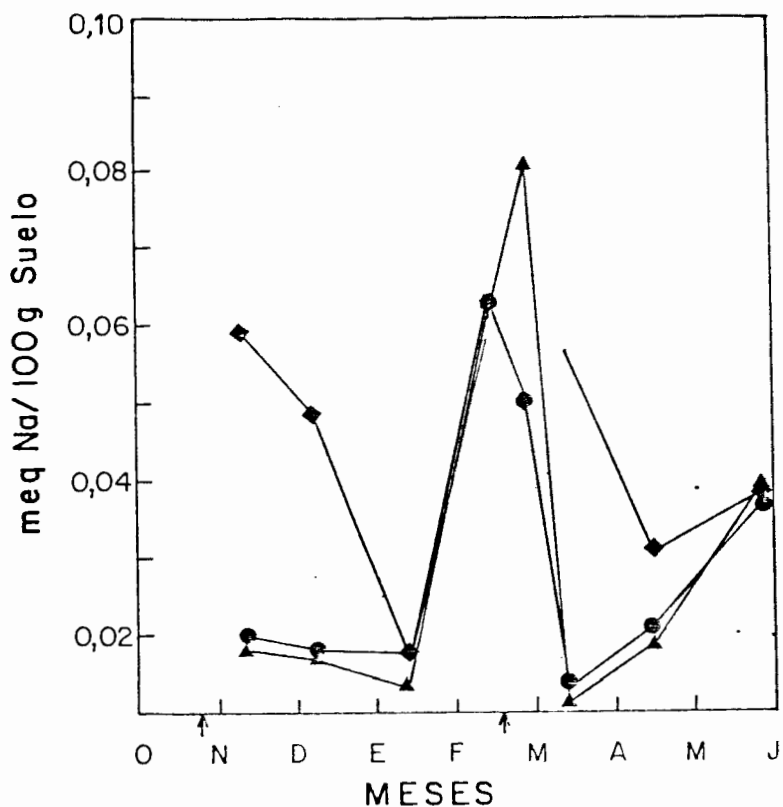


Fig. 11.- Valores mensuales del sodio del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: - tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

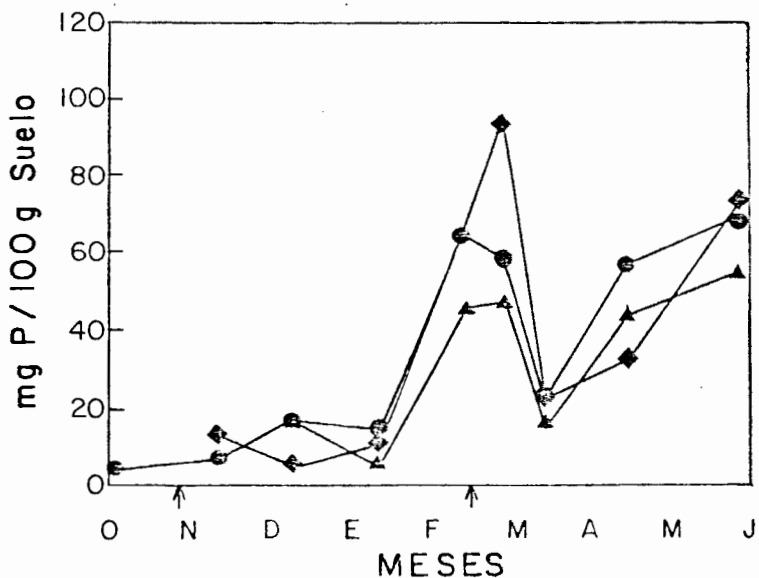


Fig. 12.- Valores mensuales del fósforo del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: - tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

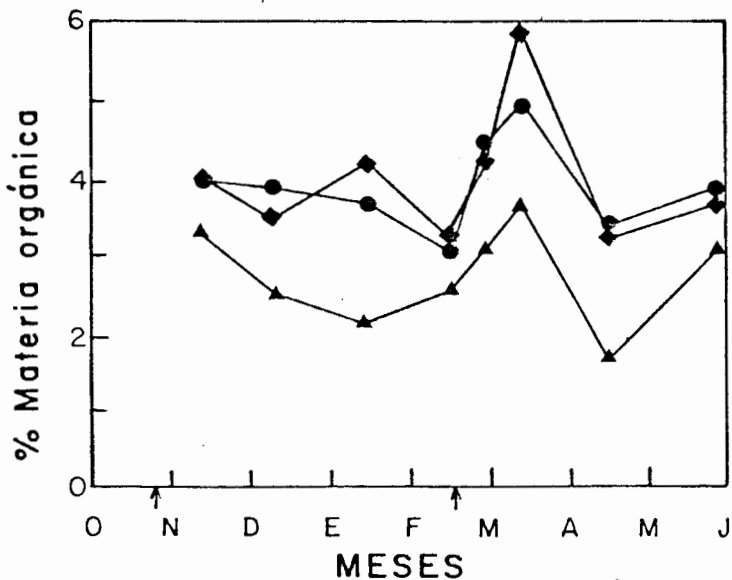


Fig. 13.- Valores mensuales de la materia orgánica del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

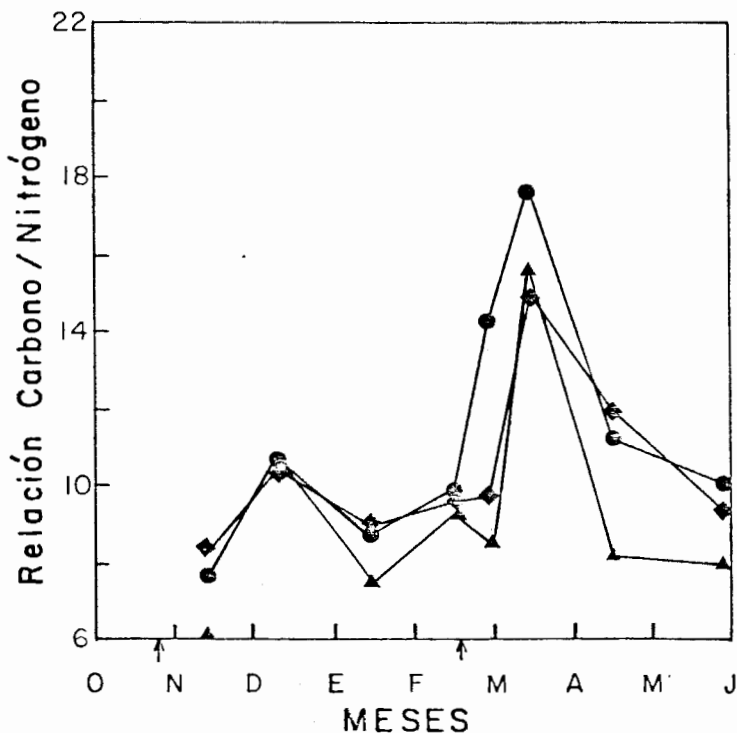


Fig. 14.- Valores mensuales de la relación C/N del suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

1.6. Composición química del residuo de café.

El análisis químico del residuo de café utilizado en cada fertilización se reporta en la Tabla No. 1; con resultados de potasio, calcio, magnesio y sodio mucho más bajos que los señalados por otros autores para la pulpa de café. La calidad del residuo de café utilizado varió como se observa a través de la relación C/N, la cual es menor para el residuo de café utilizado en la primera fertilización.

2. APORTES AL AGROECOSISTEMA Y SU DIMAMICA.

2.1. Recolección de la hojarasca debajo del cafeto.

El mayor aporte de hojarasca fue dado por las hojas de los árboles de cedro, correspondiendo a un 35,78% del total de la hojarasca colectada (Tabla No. 2). La fracción de hojas de café contribuyó con un 24,64% y las fracciones de los frutos de cedro y de café con 14,07% y 10,19% respectivamente.

El máximo valor de acumulación de hojarasca al cafeto ocurrió a finales de la estación lluviosa, entre Octubre y Diciembre (fig. 1), cuando se observaron fuertes vientos. Los árboles de cedro quedaron sin hojas hasta después de Abril, cuando se iniciaron de nuevo las lluvias. Es en esta época, entre Abril y Mayo, cuando se realiza el mayor aporte en hojas de café después de transcurrida la época seca entre Enero y Marzo. Es de notar que el alto aporte en frutos y hojas de café entre Octubre y Diciembre se debe principalmente a las

TABLA No. 1. CONTENIDO DE NUTRIENTES DEL RESIDUO DE CAFE Y DE OTROS ABONOS ORGANICOS.

	%NT	%PT	%K	%Ca	%Mg	%Na	%M.O.	C/N
(1) Pulpa Colombia	1.70	0.05	0.88					
(2) Pulpa Costa Rica	1.56	0.16	2.43	0.45	0.07			
(3) Pulpa El Salvador	1.40	0.14	3.08		0.12			
(4) Pulpa Colombia	2.10	0.47	6.60	0.77	0.05		88.26	
(5) Pulpa Colombia	3.30	0.19	0.88	1.15	0.44			
(6) Pulpa Nigeria	2.40	0.12	1.20	0.28	0.06	0.10		
Pergamino Nigeria	1.50	0.72	1.30	0.17	0.04	0.08		
(7) Abono de establo	0.50	0.11	0.42					
(8) Estiercol de aves	1.60	0.65	0.66					
(9) Compost de basuras	1.23	0.34	0.72					
(10) Residuo de cafe								
1ra. Fertilización	1.93		0.08	0.15	0.02	0.02	60.00	18:1
2da. Fertilización	2.35		0.02	0.08	0.02	0.02	98.00	24:1
1 día de descomposición			0.09	0.11	0.02	0.01	84.00	

(1) Rodríguez (1950)*

(6) Awolumate (1983)

(2) Carbajal (1959)*

(7) Lyon y Buckman (1956)*

(3) Instituto Salvadoreño de Investigaciones del café*.

(8) Gómez (1955)*

(4) Rubio y Pineda (1973)

(9) Analisis efectuado en la Universidad de Munich*.

(5) Parra (1959)

(10) Presente estudio.

*Citados por Suárez de C. (1960).

TABLA No. 2. APOORTE ANUAL DE MATERIA ORGANICA AL SISTEMA (G/M2)

FECHA	HOJAS		CEDRO/OTROS	CAFE	FRUTOS		OTROS	PECIOLOS		TOTAL
	CAFE	CEDRO			CEDRO	CEDRO		CEDRO	CEDRO	
26 Oct.	27.25	100.13	0.91	36.10	0.04	1.88	7.48	174.76		
07 Dic.	(6.35)	(24.58)	(0.58)	(12.81)	(0.04)	(0.56)	(4.03)	(40.55)		
07 Dic.	19.17	90.70	6.63	13.26	1.49	17.27	29.37	177.89		
14 Feb.	(3.71)	(13.48)	(1.18)	(2.98)	(0.30)	(8.74)	(5.67)	(22.70)		
14 Feb.	17.07	9.95	1.36	7.45	0.53	6.29	5.30	47.95		
13 Marz.	(3.94)	(3.37)	(0.34)	(2.61)	(0.19)	(2.02)	(1.30)	(7.66)		
13 Marz.	17.01	5.59	0.77	0.76	36.70	4.88	1.22	60.94		
15 Abril	(1.65)	(2.25)	(0.55)	(0.30)	(6.74)	(2.93)	(0.87)	(0.49)		
15 Abril	62.71	1.61	2.49	0.66	43.04	7.24	1.92	119.75		
28 Mayo	(10.32)	(0.75)	(1.24)	(0.30)	(17.32)	(2.29)	(0.77)	(26.40)		

pérdidas por la forma de recolección manual del café, observándose para las hojas de café un aporte más o menos constante entre Diciembre y Abril.

2.2. Velocidad de descomposición de la hojarasca y del residuo de café.

Las pendientes de descomposición de la hojarasca y del residuo de café son muy similares (fig. 15). Los parámetros de la descomposición se presentan en la Tabla No. 3, encontrándose para la hojarasca y el residuo de café de la primera fertilización una tasa de 2,16 y 3,44 año⁻¹ respectivamente. En términos de "tiempo medio de vida", es decir, el tiempo necesario para que se descomponga la mitad del peso inicial, se tiene 3,8 meses para la hojarasca y 2,4 meses para el residuo de café. Para la segunda fertilización efectuada a finales de la época seca, se midió nuevamente la desaparición del residuo de café, obteniéndose una tasa muy similar, 3,24 año⁻¹, a la de la primera fertilización, lo cual indica que la descomposición se realiza a la misma tasa independientemente de la estación hídrica en este cafetal.

2.3. Retención de humedad de la hojarasca y del residuo de café.

La cantidad de humedad retenida por la hojarasca descendió rápidamente en el primer mes (Septiembre-October)

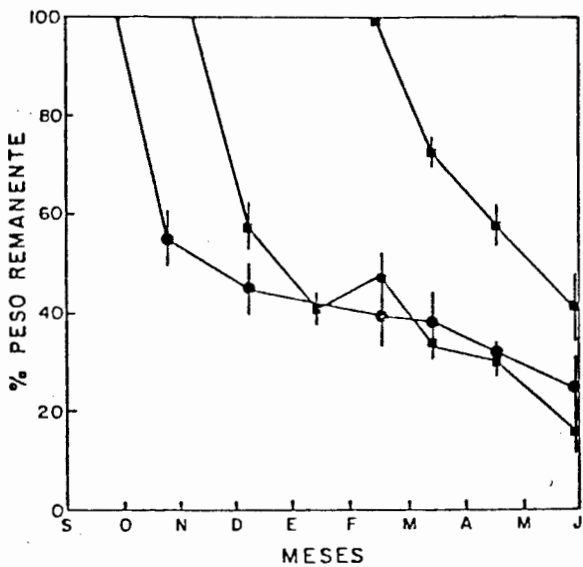


Fig. 15.- Tasa de desaparición de la hojarasca (●) y del residuo de café (■) durante la primera y la segunda fertilización.

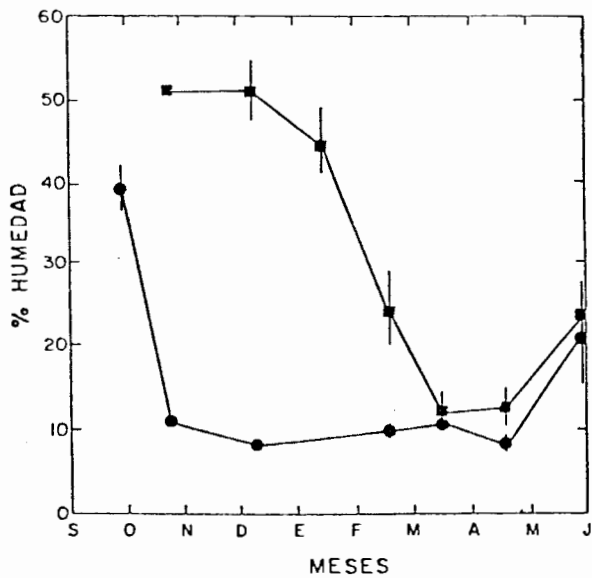


Fig. 16.- Humedad de la hojarasca (●) y del residuo de café (■) durante la primera y la segunda fertilización.

TABLA No. 3. PARAMETROS DE LA DESCOMPOSICION DE LA HOJARASCA Y DEL RESIDUO DE CAFE.

MATERIAL ORGANICO	K (año-1)	t1/2 (meses)	r*
HOJARASCA 28 Sept-28 May	2.16	3.8	0.9255
RESIDUO DE CAFE 11 Nov-28 May	3.44	2.4	0.9462
RESIDUO DE CAFE 13 Feb-28 May	3.24	2.6	0.9953

*Coeficiente de correlación de rango.

del 40% al 10%, fig.16; luego permaneció constante hasta el inicio de las nuevas lluvias cuando experimentó un ligero incremento. El residuo de café de la primera fertilización presentó por más tiempo una mayor retención de humedad, cerca del 50%, manteniendo luego el mismo comportamiento que la hojarasca aunque con valores algo superiores.

El residuo de café utilizado en la segunda fertilización contenía un mayor porcentaje inicial de humedad, siendo éste de 80% aproximadamente, sin embargo, después de un mes de descomposición su contenido de humedad se igualó al del residuo utilizado en la primera fertilización, 50%, para descender bruscamente a 20% en el último mes.

3. ACTIVIDAD BIOLÓGICA

3.1. Degradación de la Celulosa.

La degradación de la celulosa entre el suelo mineral y el mantillo del cultivo de café experimentó variaciones según la estación climática y el tipo de manejo, fig.17. La celulólisis fue máxima durante las épocas de lluvias (Octubre-Diciembre y Abril-Mayo) y mínima durante la época seca (Enero-Febrero). En las épocas de lluvias siempre se observaron sobre la hojarasca y sobre los papeles de celulosa masas blancas de hongos (podredumbres blancas) y micelio de color negro. Igualmente, los papeles de celulosa mostraron manchas de color amarillo, rosado y gris, ocasionadas por el

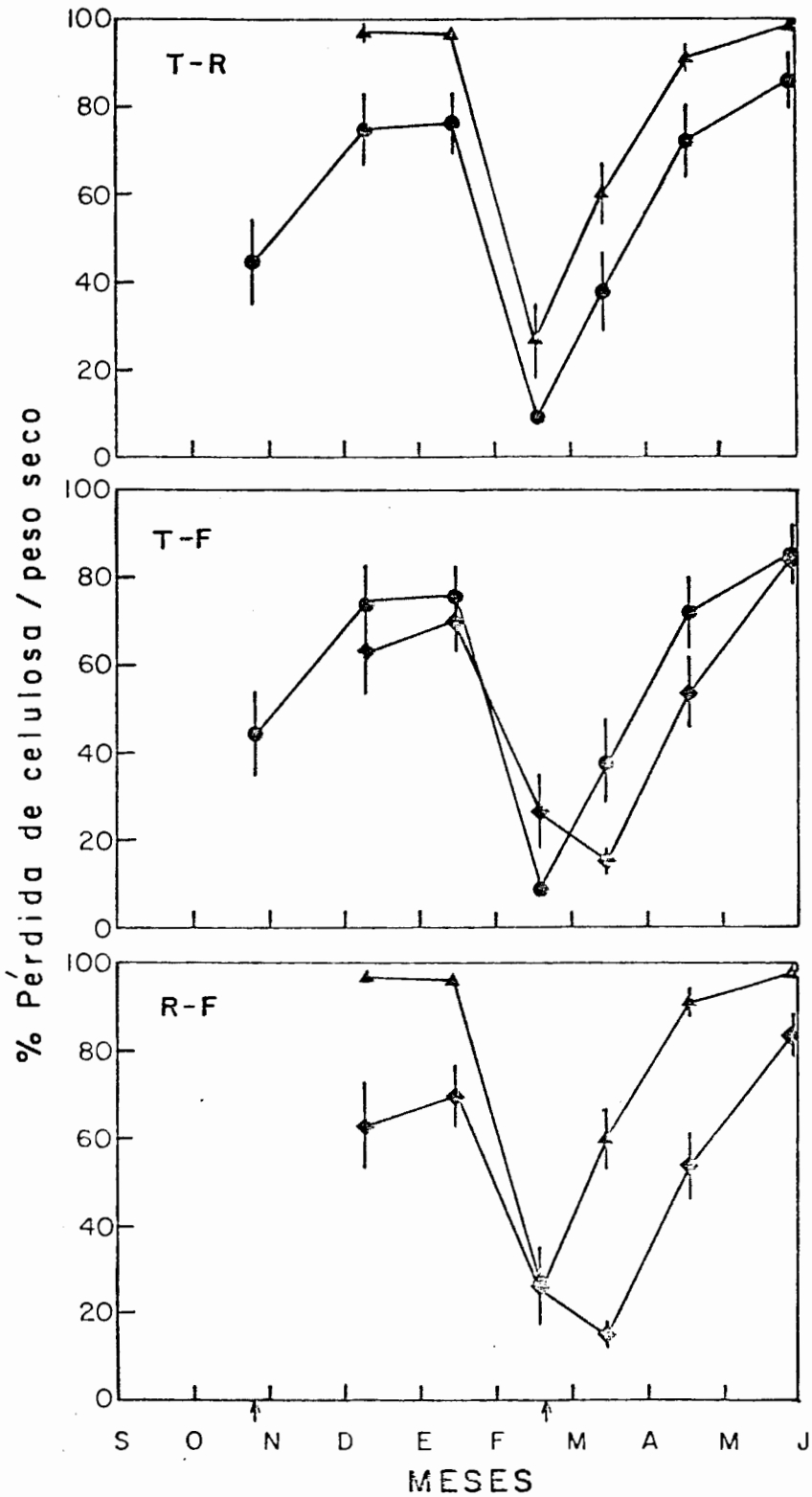


Fig. 17.- Degradación mensual de la celulosa bajo el manejo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

ataque bacteriano sobre la celulosa; estas manchas fueron numerosas en época seca.

El porcentaje de pérdida de celulosa por peso seco fue siempre mayor en los cafetos tratados con residuo de café, 27-98%, intermedio en los cafetos con manejo tradicional, 9-86% y menor en los tratados con fertilizante químico, 27-84%, este comportamiento se observó después de cada fertilización hasta finales de Mayo cuando las curvas de los tres tipos de manejo ya no presentaron mayores diferencias.

En la Tabla No. 4 se dan las pruebas de significación de la celulolisis para las diferentes formas de manejo, encontrándose un efecto diferencial significativo en el experimento ($p < 0,01$) con diferencias significativas entre los manejos tradicional y con residuo de café ($p < 0,1$) y entre los manejos con residuo de café y fertilizante químico ($p < 0,05$).

3.2. Respiración Edáfica.

El metabolismo general del suelo presentó diferencias entre el día y la noche (fig. 18) y entre los tres tipos de manejo (figs. 19 y 20). Las tendencias para la respiración diurna y nocturna en los tres tipos de manejo fueron las mismas, excepto para la diurna correspondiente a los meses de Marzo y Abril en el manejo con residuo de café, en donde hubo un aumento de la respiración. La respiración diurna fue siempre menor que la nocturna en todos los tipos de manejo

TABLA No. 4.- PRUEBAS DE SIGNIFICACION PARA LOS INDICES BIOLOGICOS USADOS EN ESTE TRABAJO.

PARAMETRO BIOLOGICO	ANALISIS	MANEJO	TEST DE FRIEDMAN χ_r^2	PRUEBA U DE MANN WHITNEY
CELULOLISIS	Muestra por cafeito N=6	T-R-F	8.58****	
		T-R		10.00**
		T-F		19.00*
		R-F		7.00***
RESPIRACION EDAFICA	Muestra por cafeito N=6	T D-N	7.00***	7.00***
		R D-N		13.00*
		F D-N		2.50****
	Muestra por cafeito N=6	T-R-F	7.00***	
		T-R		12.00**
		T-F		14.00*
		R-F		8.00***
	Muestra por cafeito N=6	T-R-F	7.00***	
		T-R		13.00*
		T-F		15.00*
		R-F		9.00***
	UREASA	Mezcla compuesta N=8	T-R-F	8.50****
T-R			8.50****	
T-F			3.50****	
R-F			16.00***	
Muestra por cafeito N=6		T-R-F	8.33****	
		T-R		8.00**
		T-F		2.00****
		R-F		6.00***
Subparcela T muestra por cafeito N=5		T-R-F	7.60***	
		T-R		1.00****
		T-F		4.00***
		R-F		10.00*
FOSFATASA	Mezcla Compuesta N=8	T-R-F	7.00***	
		T-R		4.00****
		T-F		12.00***
		R-F		19.00**
	Muestra por cafeito N=6	T-R-F	8.33****	
		T-R		1.00****
		T-F		5.00***
		R-F		9.00**
	Subparcela T Muestra por cafeito N=5	T-R-F	7.60***	
		T-R		6.00**
		T-F		7.00*
		R-F		9.00*
CARBOX-METIL CELULASA	Mezcla compuesta N=7	T-R-F	0.86*	

T: Manejo tradicional; R: manejo con residuo de café; F: manejo con fertilizante químico; D: día; N: noche; *: no significativo; **: significativo para $p < 0.1$; ***: significativo para $p < 0.05$; ****: significativo para $p < 0.01$.

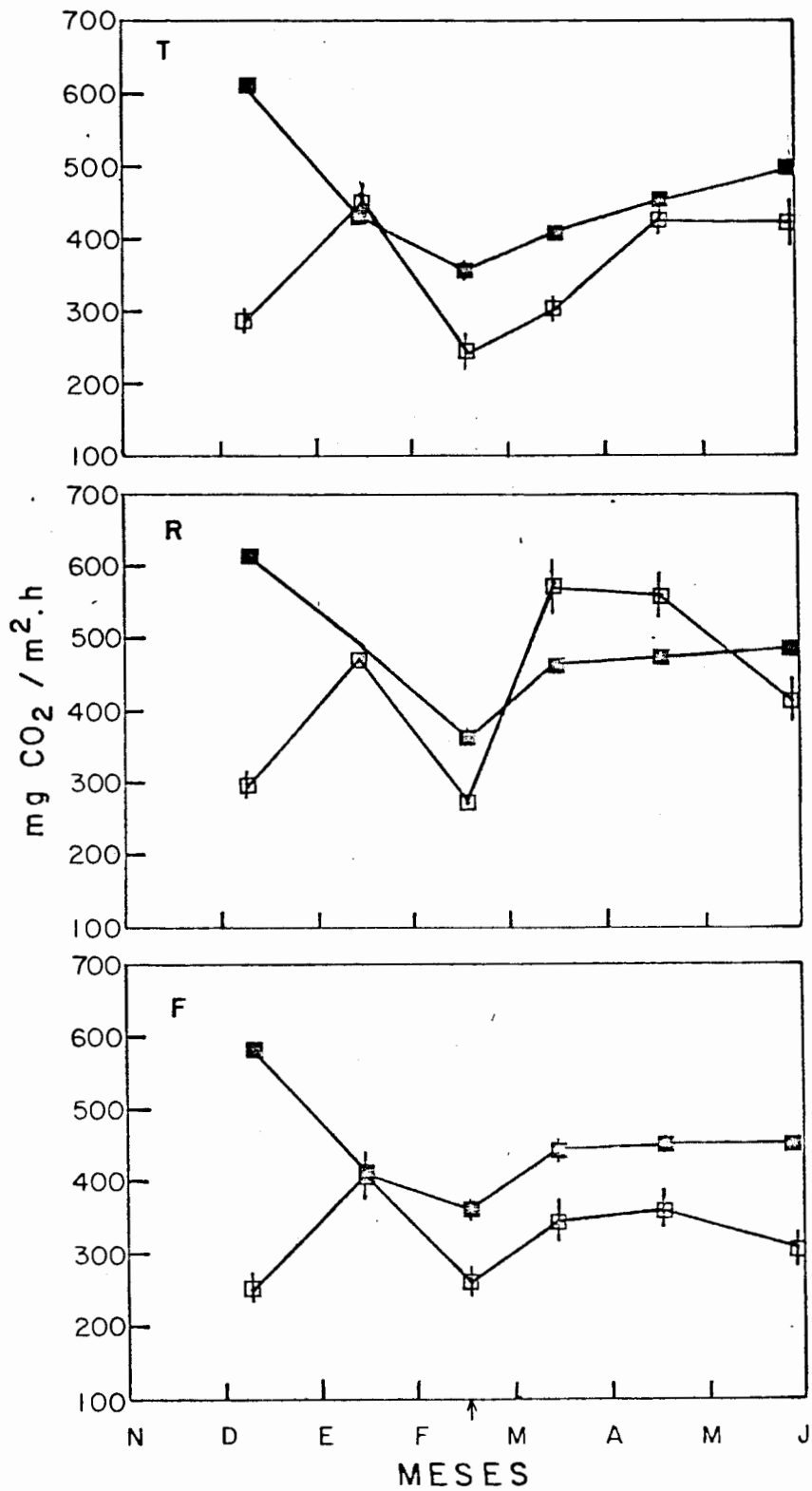


Fig. 18.- Respiración edáfica mensual diurna (\square) y nocturna (\blacksquare) de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (T), residuo de café (R) y fertilizante químico (F).

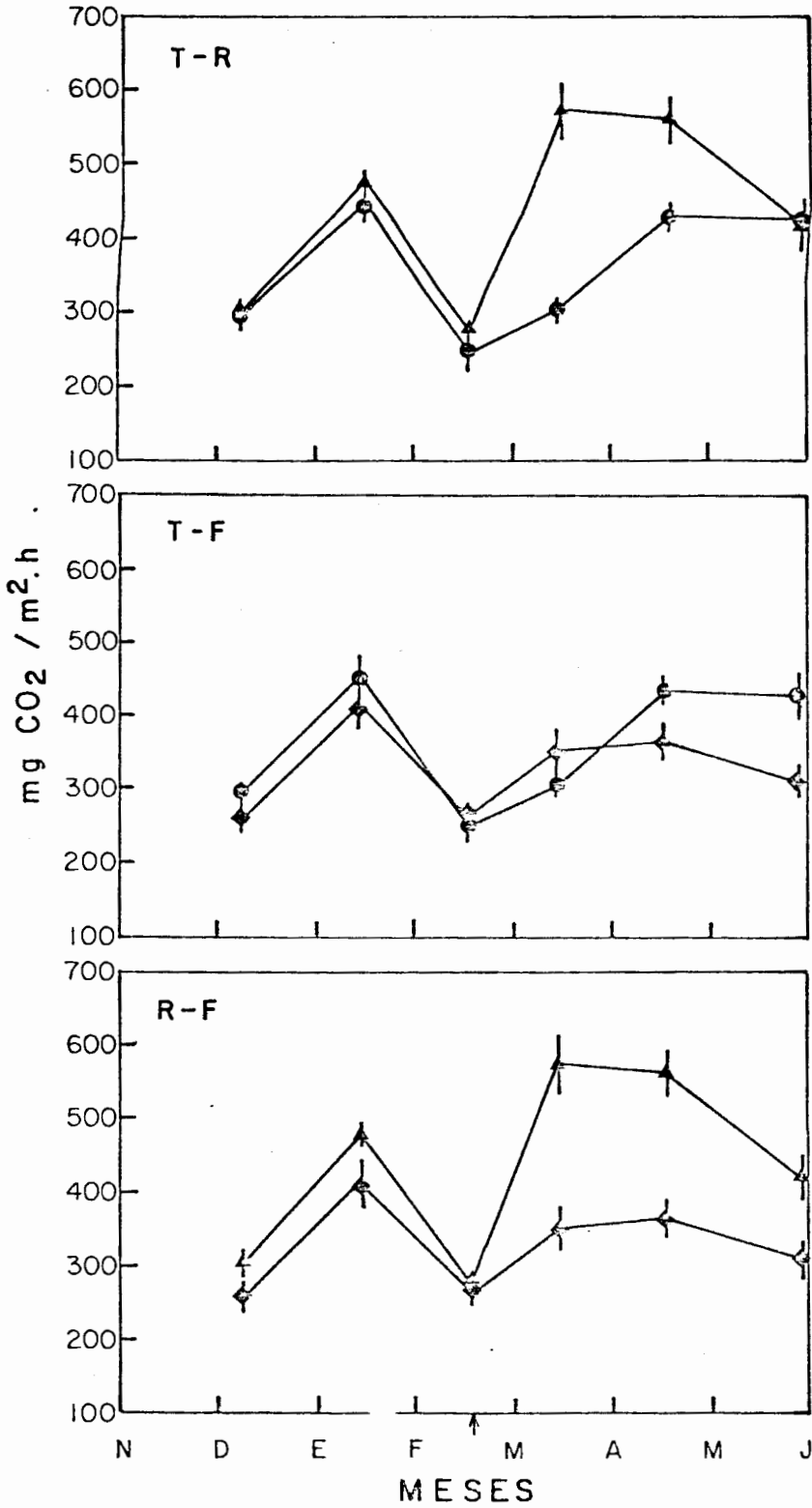


Fig. 19.- Respiración edáfica mensual diurna de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

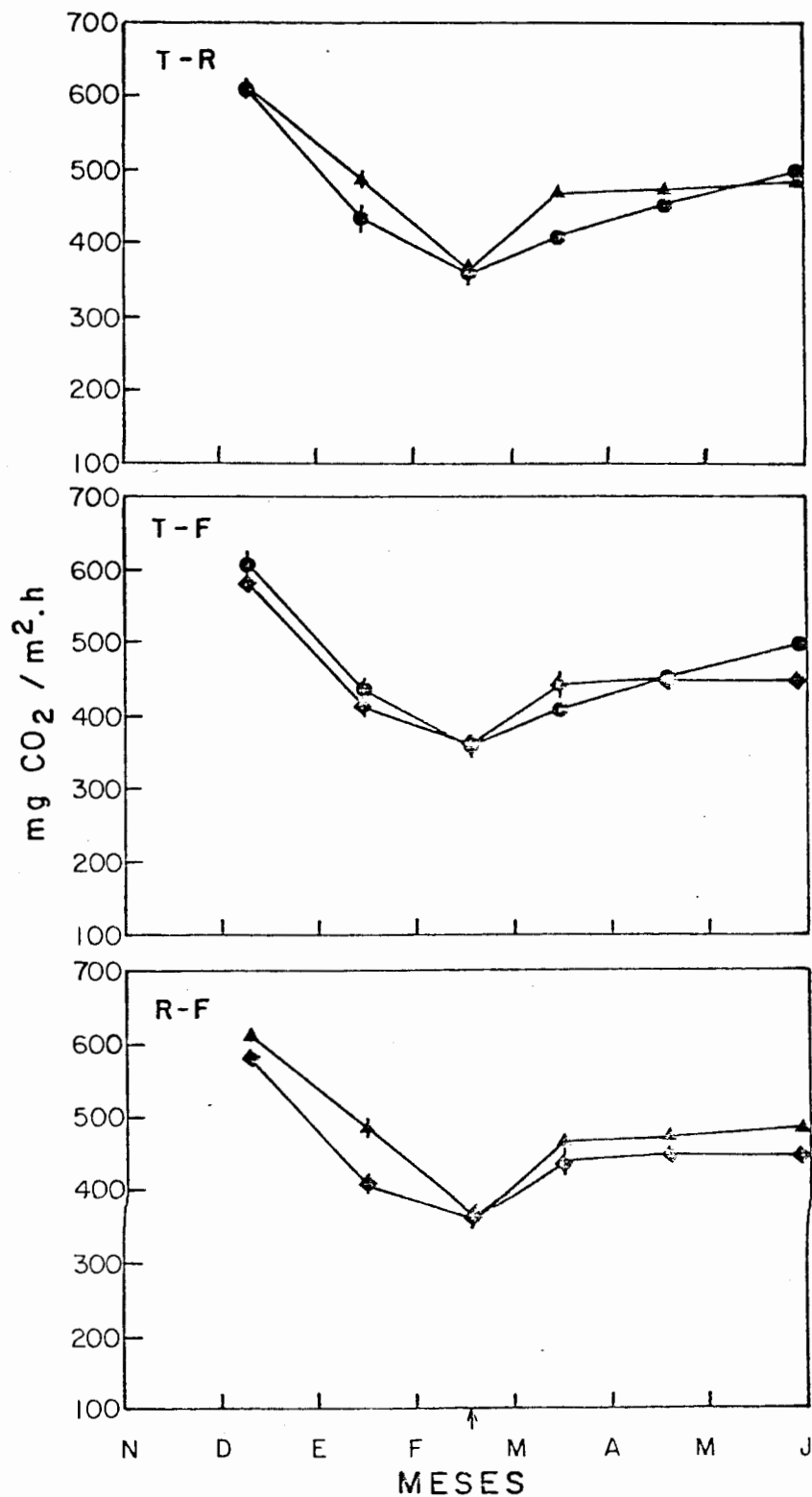


Fig. 20.- Respiración edáfica mensual nocturna de la -- parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tra--
 dicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◊).

excepto en el muestreo de principios del mes de Enero en que las tasas de respiración diurna y nocturna fueron similares, a causa de la nubosidad del día. La respiración diurna después de la segunda fertilización con residuo de café (Febrero) fue mayor que la nocturna debido a la acumulación de humedad de esta materia orgánica. Las diferencias entre la respiración diurna y nocturna fueron significativas en el manejo tradicional ($p < 0,05$) y en el manejo con NPK ($p < 0,01$), Tabla No. 4.

Los cafetos tratados con residuo de café presentaron un mayor metabolismo tanto durante el día como durante la noche, mientras que los tratados con NPK presentaron los menores valores de respiración edáfica diurna y nocturna (figs. 19 y 20). Las tres formas de manejo presentaron un efecto diferencial significativo ($p < 0,05$) en este parámetro biológico, con diferencias significativas entre los manejos tradicional y residuo de café, durante el día ($p < 0,1$) y residuo de café y fertilizante químico, durante el día y la noche ($p < 0,05$), Tabla No. 4.

Se encontró una correlación positiva significativa entre el promedio de la respiración edáfica diaria y la celulólisis en el manejo tradicional, Tabla No. 5. La fig. 21 muestra que la fertilización con residuo de café incrementa tanto la celulólisis como la respiración edáfica, mientras que el fertilizante químico deprime ambos parámetros biológicos

TABLA No. 5. COEFICIENTE DE CORRELACION DE RANGO DE SPEARMAN (r_s)
ENTRE LOS PARAMETROS BIOLOGICOS ESTUDIADOS.

PARAMETRO BIOLOGICO	CARBOXI-METIL CELULASA	FOSFATASA	UREASA	CELULOLISIS
RESPIRACION	T= 0.0857 R= 0.9429*** F= 0.3143	T= 0.4857 R= 0.3714 F=-0.8226***	T= 0.0286 R= 0.5571 F= 0.4286	T= 0.9429*** R=-0.1429 F= 0.2571
CELULOLISIS	T= 0.0286 R= 0.0857 F= 0.9429***	T=-0.6857 R= 0.7143 F= 0.0286	T= 0.0857 R= 0.2143 F= 0.2000	
UREASA	T= 0.4816 R=-0.0554 F= 0.0138	T= 0.2301 R= 0.4146 F= 0.0532		
FOSFATASA	T= 0.4898 R=-0.5578 F= 0.1213			

T: Manejo tradicional; R: Manejo con residuo de café; F: Manejo con fertilizante químico.

*** Significativo para $p < 0.05$

**** Significativo para $p < 0.01$

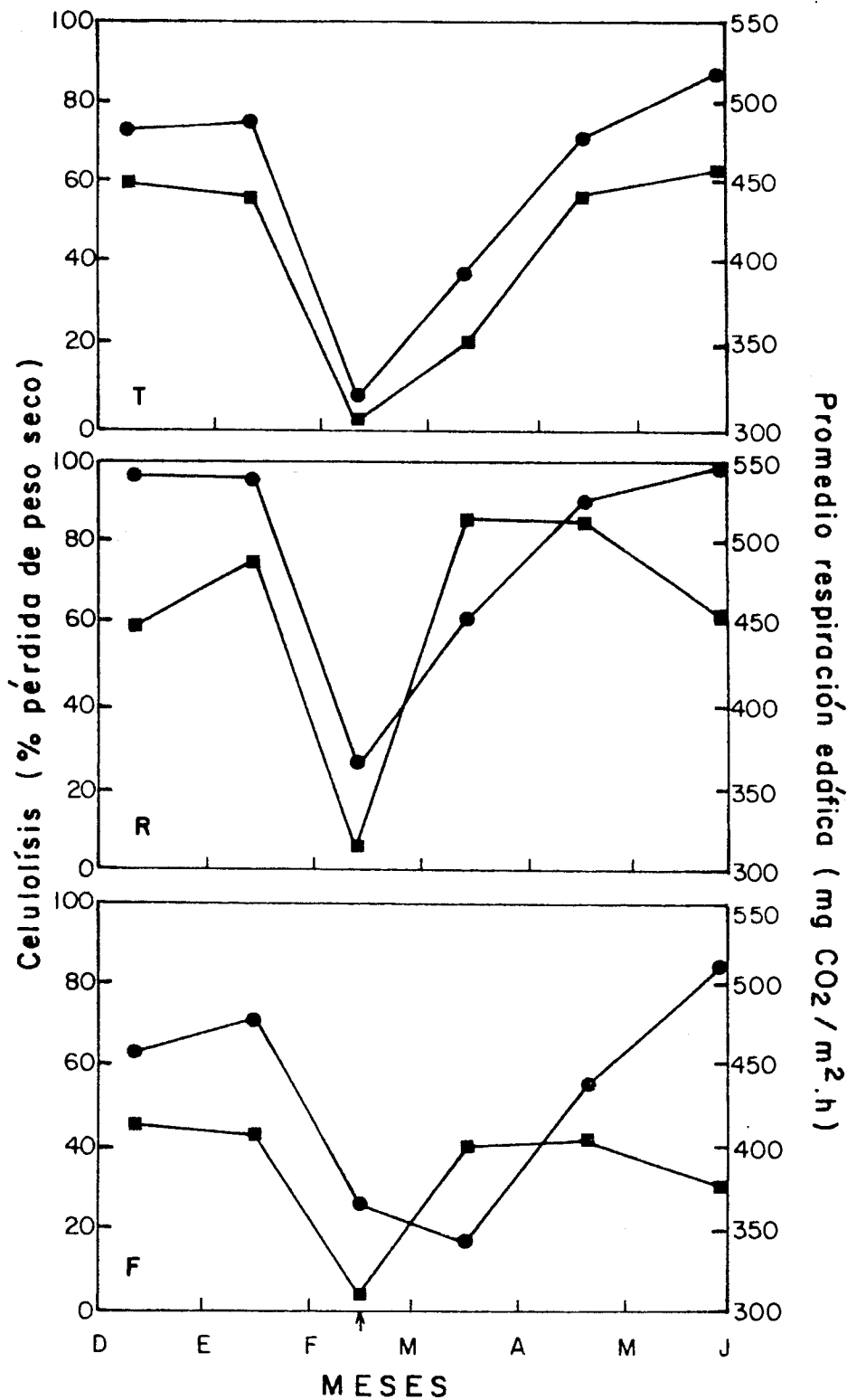


Fig. 21.- Relación entre celulolisis (●) y respiración edáfica media diaria (■) en los tres tipos de manejo: tradicional (T), residuo de café (R) y fertilizante químico (F).

respecto al manejo tradicional.

3.3. Actividad de la Carboxi-Metil Celulasa.

La actividad de la carboxi-metil celulasa se midió en mezclas compuestas de suelo tomadas de cuatro cafetos por forma de manejo. Se observó una variación de la actividad enzimática provocada tanto por el cambio de estacionalidad como por el aporte de insumos (fig. 22).

El suelo bajo manejo tradicional mostró la máxima actividad en la primera estación de lluvias y cuando se registraron las menores temperaturas del suelo (Diciembre); luego disminuyó a medida que transcurrió la época seca (Enero-Febrero) con un ligero incremento en el inicio de las lluvias de Marzo cuando también se registró una ligera disminución de la temperatura del suelo. Finalmente la actividad decayó paulatinamente durante las segundas lluvias y el inicio del "veranito" cuando se registraron las mayores temperaturas del suelo (ver figs. 5 y 6).

El suelo manejado con residuo de café presentó una actividad menor después de la primera e inmediatamente después de la segunda fertilización con respecto al manejo tradicional, sin embargo, a partir de Marzo la actividad de esta enzima se incrementó. El suelo tratado con NPK registró un comportamiento contrario en relación al suelo con residuo de café después de la segunda fertilización, pero a partir de

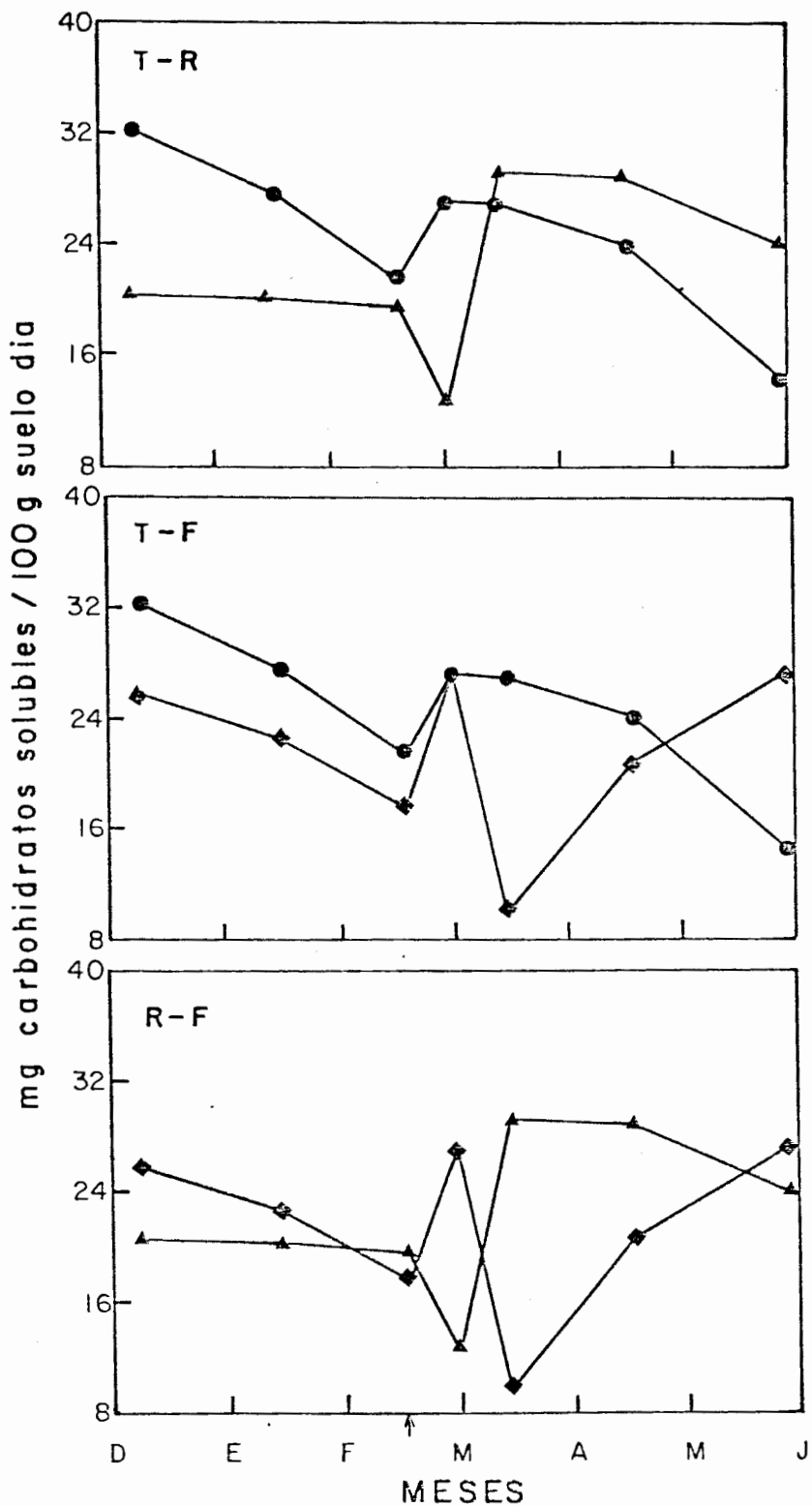


Fig. 22.- Actividad mensual de la carboxi-metil celulasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

Abril, la actividad también se incrementó. Es de notar que estas variaciones de la actividad de la carboxi-metil celulasa se lograron detectar a causa del muestreo riguroso seguido para esta fecha, sin embargo para la primera fertilización se desconocen. Durante la primera fertilización, la actividad de esta enzima fue menor para los manejos con ambos insumos respecto al tradicional. No se encontró ningún efecto diferencial significativo entre las tres formas de manejo ya que los efectos provocados por el uso de insumos sobre la actividad de la carboxi-metil celulasa no fueron constantes. Se encontraron correlaciones positivas significativas ($p < 0,01$; Tabla No. 5) entre la carboxi-metil celulasa y la degradación de la celulosa en el manejo con fertilizante químico, fig. 23 y con la respiración edáfica en el manejo con residuo de café, fig. 24.

3.4. Actividad de la Fosfatasa Acida.

Se midió primeramente el efecto de la concentración del sustrato, p-nitrofenil fosfato, sobre la actividad de la fosfatasa, encontrándose que la enzima en este suelo logró su máxima velocidad alrededor de 20 mM (Apéndice III, fig. 1). Se utilizó esta concentración para todo el muestreo.

La actividad de la fosfatasa se midió mensualmente en una mezcla compuesta de suelo proveniente de cuatro cafetos por manejo (fig. 25), pero debido a que detectamos variaciones en

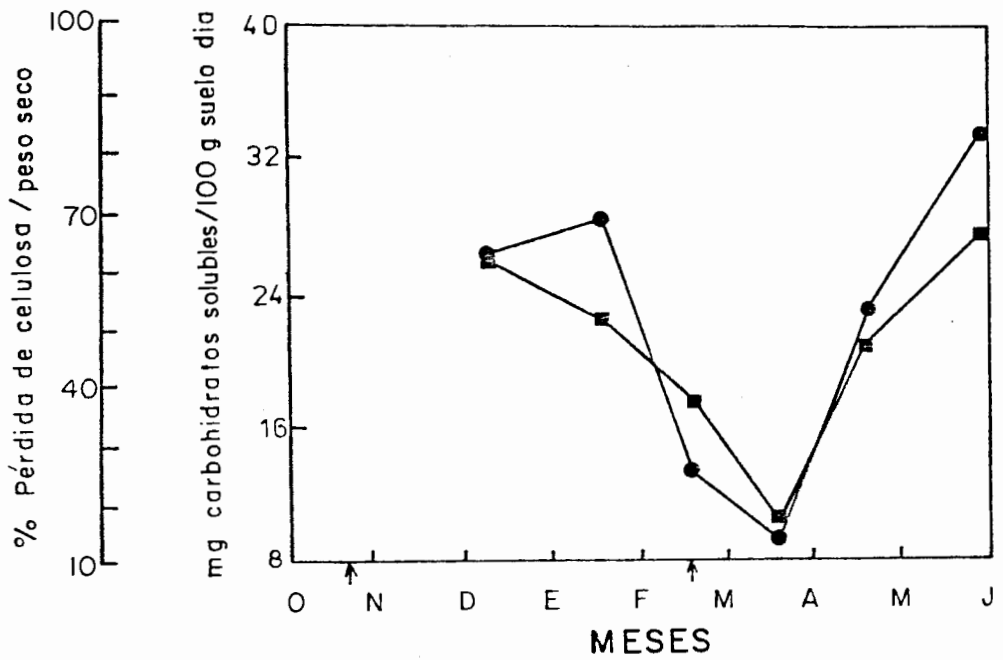


Fig. 23.- Relación entre la degradación de la celulosa - (●) y la actividad de la carboxy-metil celulasa (■) del - suelo bajo manejo con fertilizante químico.

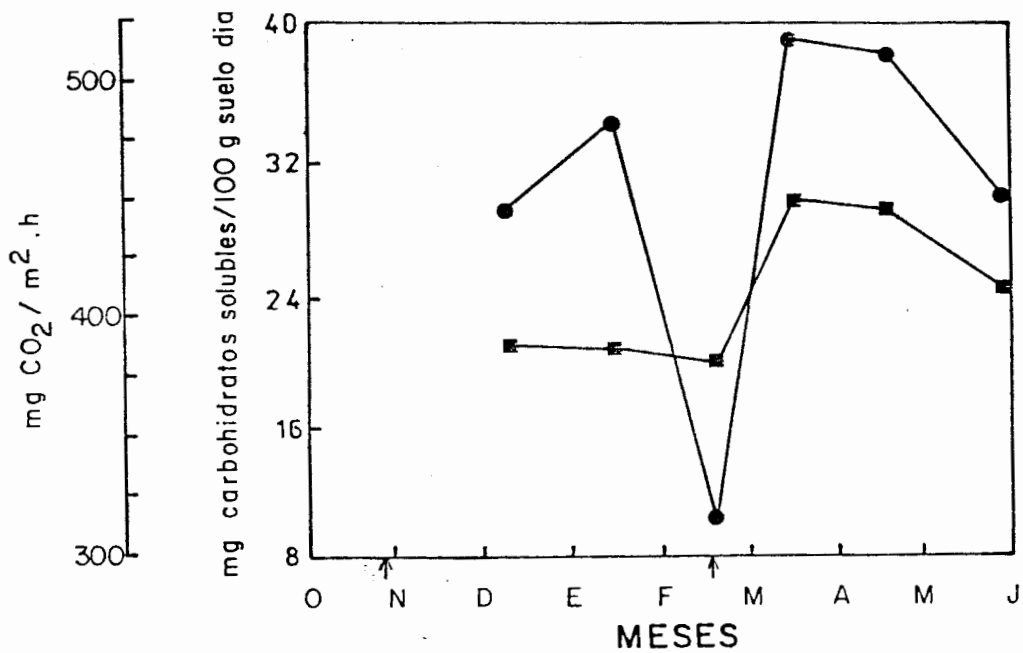


Fig. 24.- Relación entre la respiración edáfica (●) y la actividad de la carboxy-metil celulasa (■) del suelo bajo manejo con residuo de café.

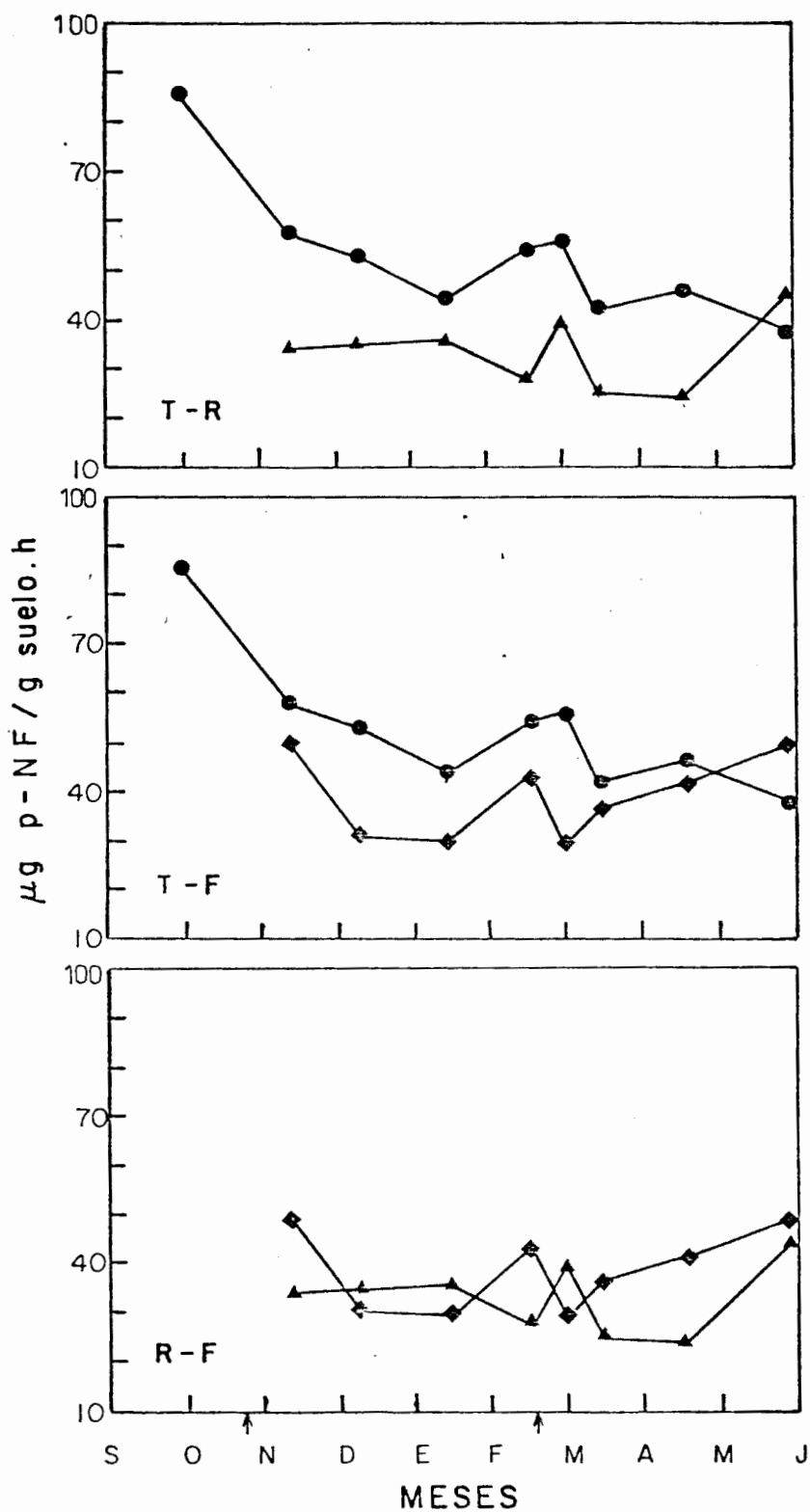


Fig. 25.- Actividad mensual de la fosfatasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

la textura de la parcela experimental realizamos el análisis de la actividad fosfatásica por caféto (fig. 26). Se observaron cambios de la actividad fosfatásica en función a las variaciones de humedad y temperatura del suelo (fig. 25). En el suelo bajo manejo tradicional se observa un descenso de la actividad de esta enzima durante el transcurso de las estaciones de lluvias (Octubre-Diciembre y Marzo-Mayo) y un ligero incremento durante la estación seca (Enero-Febrero). La actividad de la fosfatasa fue mayor durante las lluvias de fin de año, cuando se registraron las menores temperaturas del suelo.

En relación a los tipos de manejo, los suelos tratados con residuo de café y NPK mostraron una menor actividad fosfatásica que en el manejo tradicional (fig. 25). También se observa que hay una recuperación más rápida de la actividad en el caso del suelo con fertilizante químico que cuando se agrega residuo de café. Para ambos tipos de fertilización la recuperación de la actividad fosfatásica fue más pronta en la segunda fertilización.

Mediante el análisis de la actividad fosfatásica por caféto se determinó el grado de variación de la actividad de esta enzima en la parcela experimental (fig. 26). Se encuentra un efecto diferencial significativo para la actividad fosfatásica entre los tres tipos de manejo ($p < 0,05$ en la mezcla compuesta de suelo y $p < 0,01$ en el análisis por caféto),

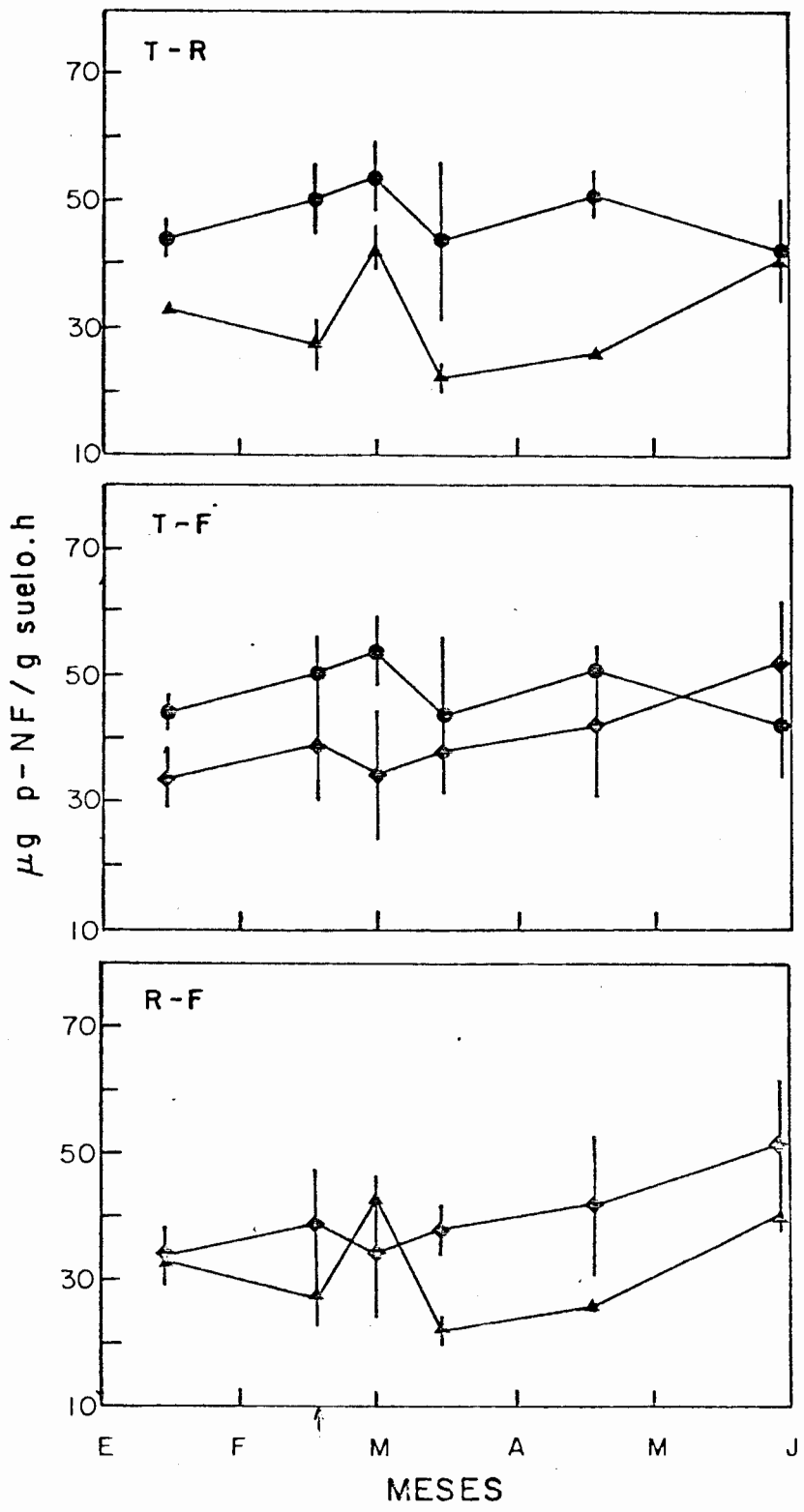


Fig. 26.- Actividad mensual de la fosfatasa para muestras de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

con diferencias significativas para los manejos tradicional-residuo de café ($p < 0,01$ para ambos tipos de análisis); tradicional-NPK ($p < 0,05$ para ambos tipos de análisis) y residuo de café-NPK ($p < 0,1$ para ambos tipos de análisis), Tabla No. 4.

Se consideró que las variaciones de la actividad fosfatásica podrían disminuir al aplicar los insumos en un suelo de textura más homogénea, para lo cual se utilizó la subparcela TA de suelo franco-limoso y se fertilizaron en Febrero con residuo de café y NPK cinco cafetos respectivamente. Los resultados se muestran en la fig. 27, en donde se observa un cambio en la tendencia de la curva del manejo tradicional y un efecto más severo del NPK sobre la actividad enzimática. Se encontró un efecto diferencial significativo ($p < 0,05$) entre las tres formas de manejo y entre los manejos tradicional-residuo de café ($p < 0,1$) Tabla No. 4. Debido a que aún el error estándar fue grande, se revisó con más detalle la textura del suelo (Tabla NO. 6) y las características intrínsecas de los cafetos muestreados (Tabla No. 7). Se encontró que en la mayoría de los casos las diferencias de textura provocaron un alto error estándar y en casos en que no se presentaron diferencias marcadas en la textura las variaciones pudieron atribuirse al grado de desarrollo del cafeto, lo que indudablemente provoca cambios a nivel del microclima.

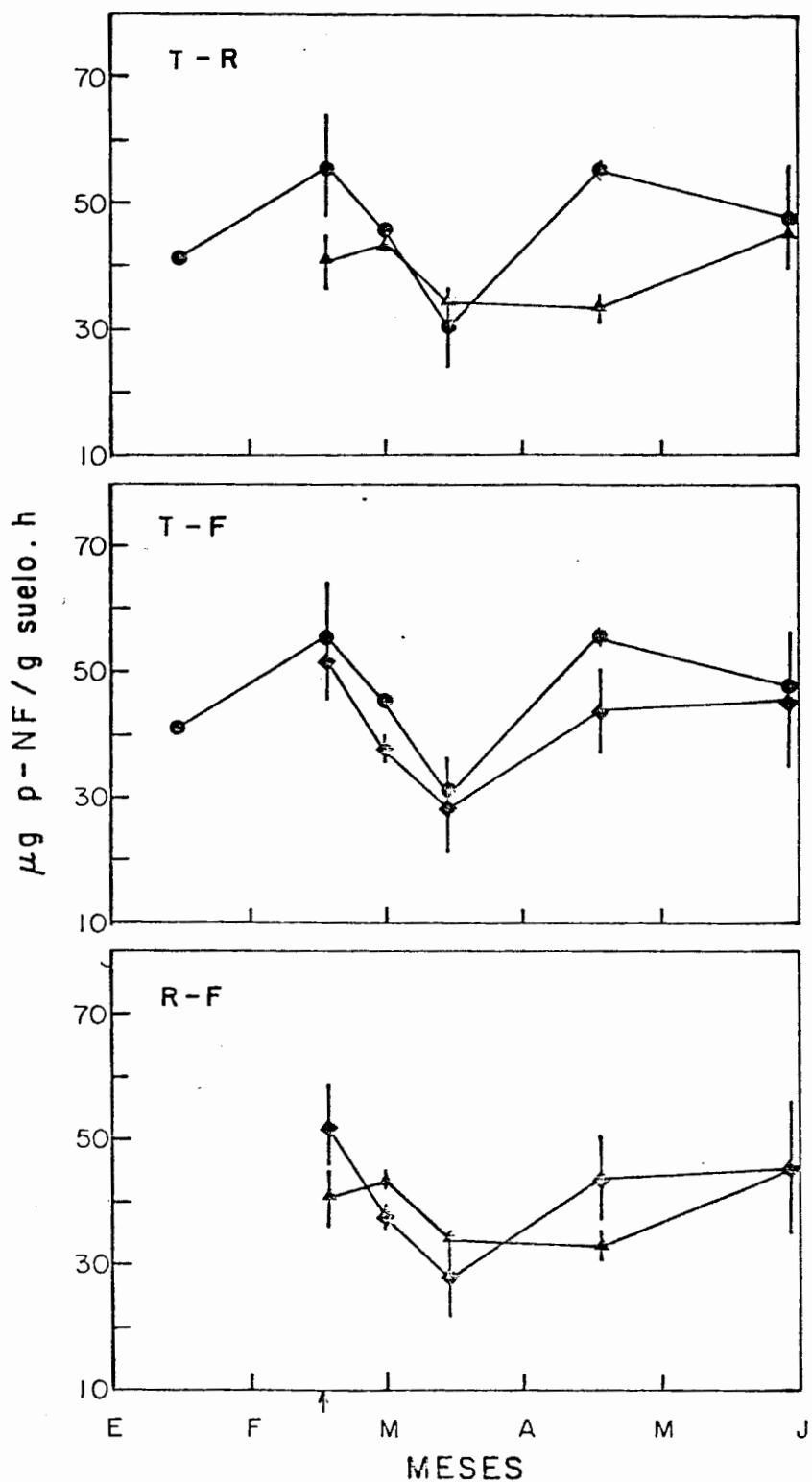


Fig. 27.- Actividad mensual de la fosfatasa para muestras de suelo de la subparcela experimental (TA), sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

TABLA No. 6. EFECTO DE LA TEXTURA DEL SUELO SOBRE LA ACTIVIDAD FOSFATASICA (AJG p-NF/G.H).

FECHA	CAFETO	SUBPARCELA	TEXTURA	ACTIVIDAD
FEBRERO	137	RB	fl	35.3
	18	RB	fl → fa	15.6
MARZO	14	TB	fl	80.0
	51	TB	fa	34.0
	97	FA	fl	44.7
	66	FA	fl	41.9
	38	FB	fl → fa	27.0
	10	FB	fl → fa	38.0
ABRIL	100	FA	fl	66.0
	64	FA	fl	49.7
	25	FB	fl → fa	37.2
	58	FB	fa	14.2
MAYO	81	TB	fl	49.3
	52	TB	fa	23.0

RB: subparcela "B" fertilizada con residuo de café; TA: subparcela "A" bajo manejo tradicional; TB: subparcela "B" bajo manejo tradicional; FA: subparcela "A" fertilizada con NPK; FB: subparcela "B" fertilizada con NPK; fl: textura franco-limosa; fa: textura franco-arenosa; fl fa: textura franco limosa limitando con franco-arenosa.

TABLA No. 7. EFECTO DE LAS CARACTERISTICAS INTRINSICAS DEL CAFETO SOBRE LA ACTIVIDAD FOSFATASICA (JG p-NF/G · H).

FECHA	CAFETO	SUBPARCELA	TEXTURA	CARACTERISTICAS INTRINSICAS DEL CAFETO.	ACTIVIDAD
FEBRERO	1	TA	fl	pequeño, pocas ramas	47.6
	33	TA	fl	grande, frondoso	64.1
ABRIL	64	FA	fl	grande, muy frondoso	66.0
	100	FA	fl	grande; pocas ramas	49.7
MAYO	1	TF	fl	pequeño, pocas ramas	24.8
	29	TF	fl	grande, frondoso	52.2
	33	TF	fl	grande, frondoso	59.7
	104	FA	fl	grande, muy frondoso	78.0
	122	FA	fl	grande, pocas ramas	43.1

TA: subparcela "A" bajo manejo tradicional; TF: subparcela "A" bajo manejo tradicional fertilizada con NPK en Febrero; FA: subparcela "A" fertilizada con NPK; fl:textura franco-limosa.

La actividad fosfatásica presentó una correlación negativa significativa ($p < 0,05$) con la respiración edáfica en el manejo con fertilizante químico (Tabla NO. 6).

3.5. Actividad de la Ureasa.

En primer lugar, medimos el efecto de la concentración del substrato sobre la actividad de la ureasa, alcanzando ésta, su máxima velocidad alrededor de 35 mM (Apéndice III, fig. 2). Esta concentración fue la utilizada durante el muestreo.

Como en el caso de la fosfatasa, la actividad ureásica se midió mensualmente en una mezcla compuesta de suelo de cuatro cafetos para cada manejo y en la subparcela TA donde la textura del suelo es más homogénea.

La actividad ureásica no presenta mayores variaciones con los cambios en la humedad y la temperatura del suelo (fig. 28), ya que se observó una actividad más o menos constante a lo largo del muestreo: un ligero descenso en la época seca (Enero-Febrero) y un pequeño pico al inicio de la segunda época de lluvias (Marzo). Sin embargo, la actividad de esta enzima experimentó grandes variaciones según los tratamientos (fig. 28). Cuando se utiliza residuo de café disminuye su actividad pero el efecto más severo se encuentra cuando se utiliza fertilizante químico, ya que en la época húmeda (Octubre) la actividad disminuye en un 60% y en la de

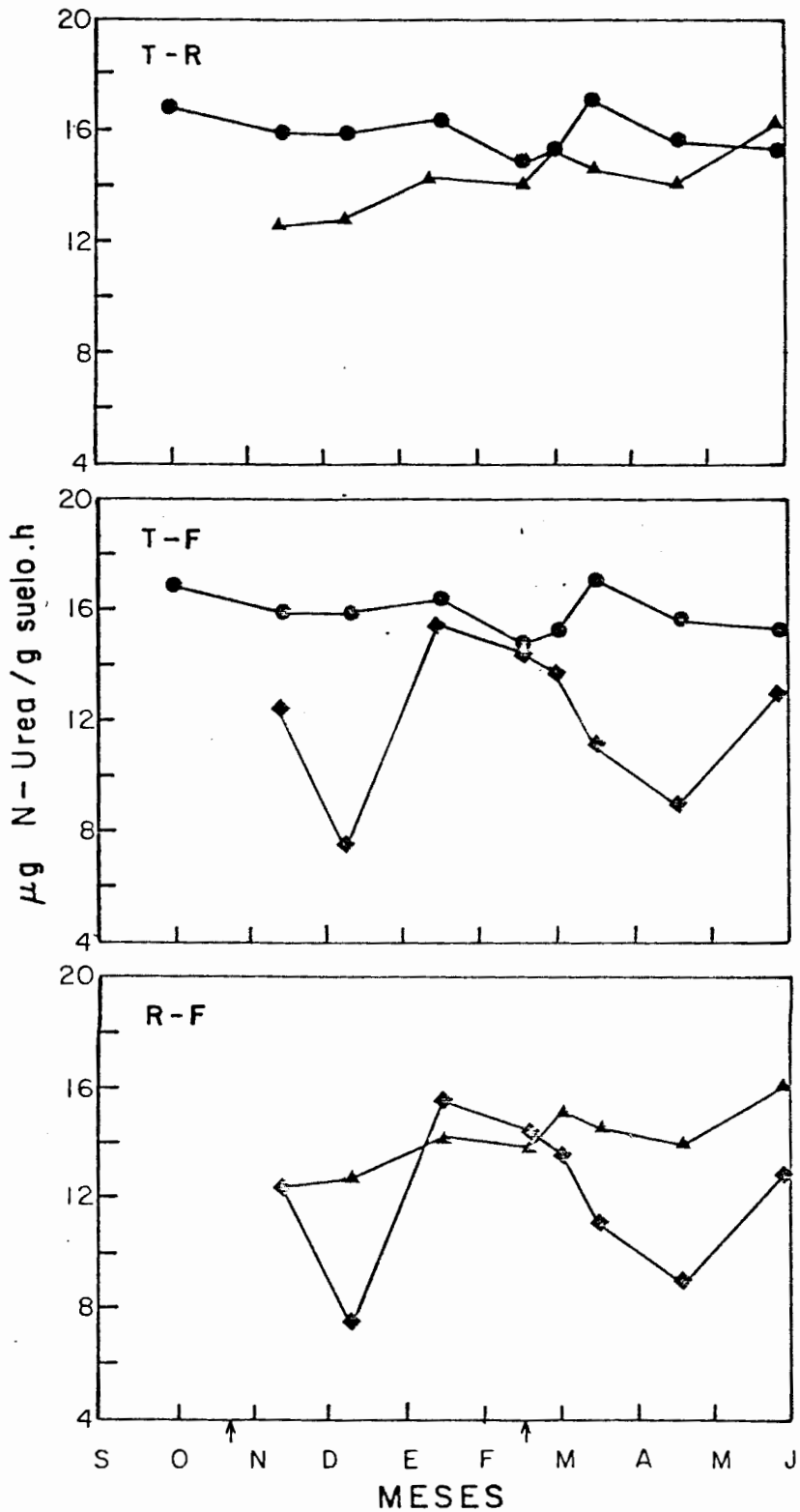


Fig. 28.- Actividad mensual de la ureasa para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

la época seca (Febrero) la disminución es de un 44%.

En la subparcela TA el efecto y la recuperación del tratamiento con NPK sobre la actividad ureásica fueron más rápidos (fig. 30) que en la parcela experimental (fig. 29).

Se encontró un efecto diferencial significativo entre las tres formas de manejo ($p < 0,01$, para la mezcla compuesta de suelos; $p < 0,05$ para el análisis por cafeto); con diferencias significativas entre los manejos: tradicional-residuo de café ($p < 0,01$ y $p < 0,1$ para cada tipo de análisis), tradicional-NPK ($p < 0,01$ y $p < 0,05$ para cada tipo de análisis) y residuo de café-NPK ($p < 0,05$ para ambos tipos de análisis), Tabla No. 4.

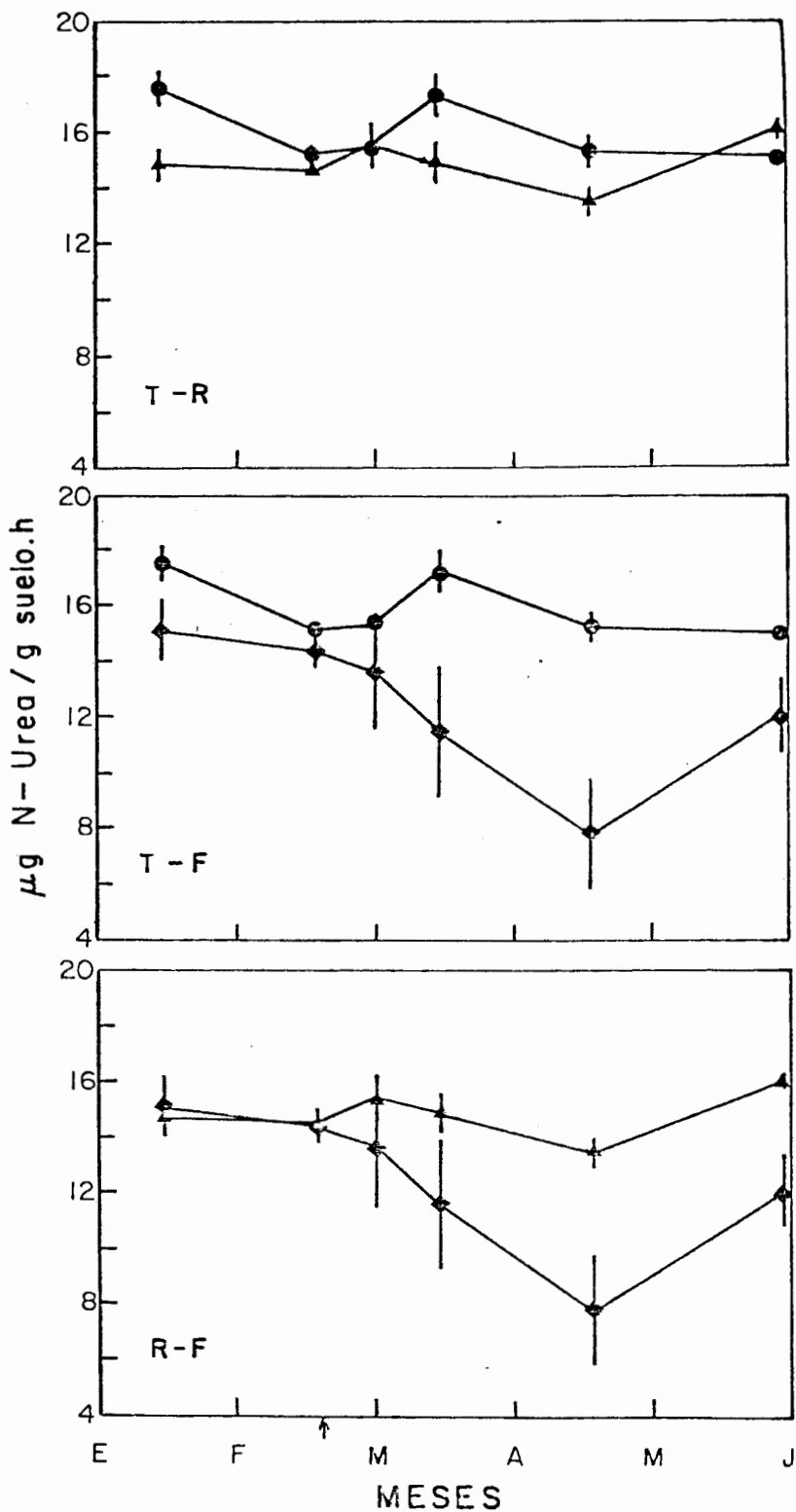


Fig. 29.- Actividad mensual de la ureasa para muestras de suelo de la parcela experimental sometida a tres tipos de manejo: tradicional (c), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◆).

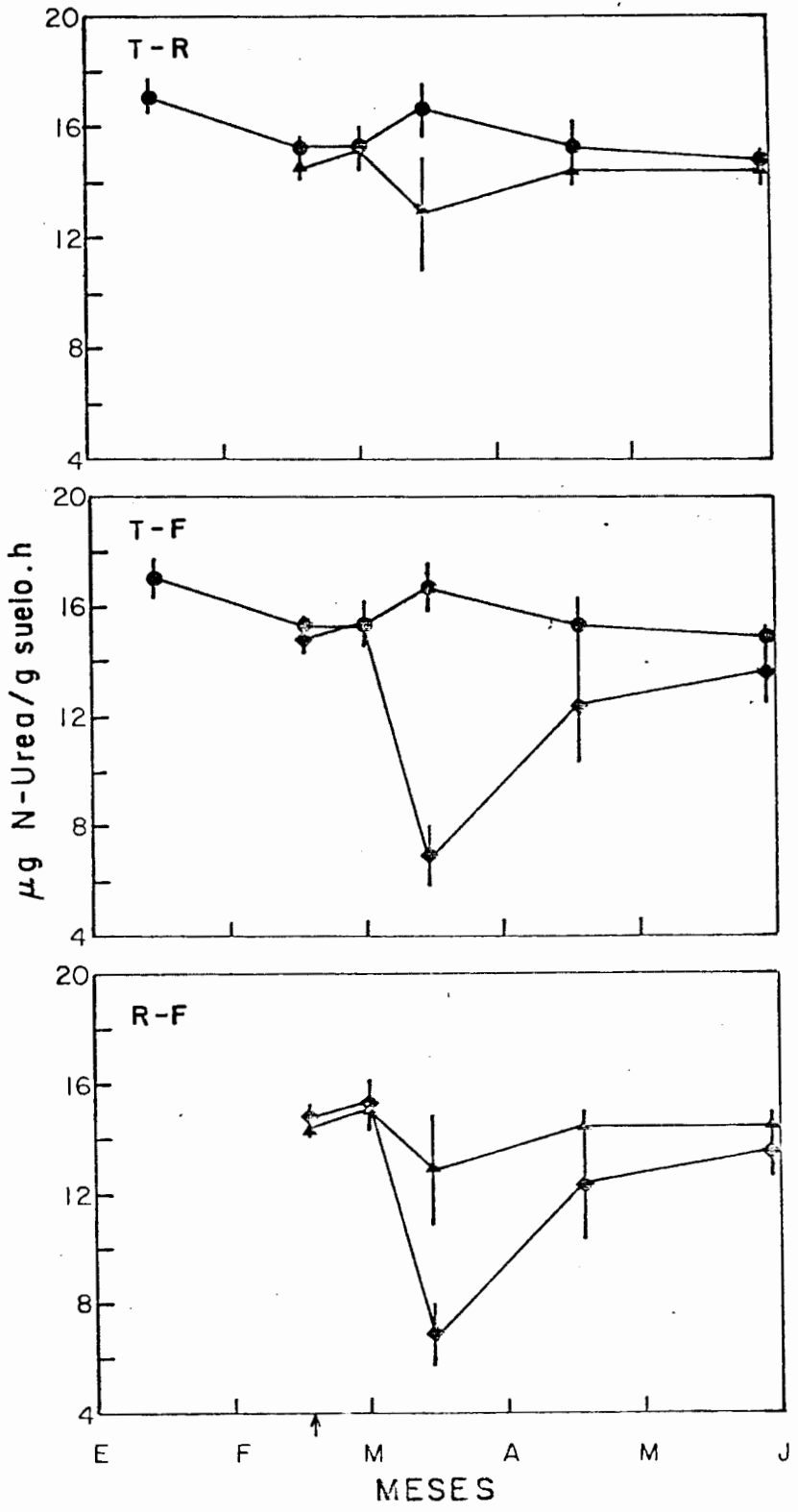


Fig. 30.- Actividad mensual de la ureasa para muestras de suelo de la subparcela experimental (TA) sometida a tres tipos de manejo: tradicional (●), residuo de café (▲) y fertilizante químico (◊).

V. DISCUSION

Los resultados señalan que el uso de diferentes formas de manejo y las variaciones estacionales en relación a la humedad y a la temperatura provocan cambios en la actividad biológica y en las propiedades físico-químicas del suelo.

1. DESCOMPOSICION DEL RESIDUO DE CAFE.

Las curvas de desaparición del residuo de café de las dos fertilizaciones realizadas y de la hojarasca de café, muestran que el residuo de café es una materia orgánica de fácil degradación por este suelo (fig. 15). Las constantes de descomposición fueron mayores en el residuo de café, 3,44 y 3,24 año⁻¹, que en la hojarasca, 2,16 año⁻¹ (Tabla No. 4); con un tiempo medio de vida de 2,4 y 2,6 meses para el residuo de café de la primera y segunda fertilización respectivamente, mientras que el de la hojarasca fue de 3,8 meses. Al cabo del primer mes, el residuo de café perdió 42,4% de su peso seco inicial y al tercer mes el 60%; Suárez y Carrillo (1976) encontraron para la pulpa de café resultados similares, 47,4% y 66,4% para el primero y tercer mes. Para la hojarasca, este mismo autor obtuvo en el primer mes una pérdida de peso seco del 20% y al tercer mes 43%; en nuestro caso, las pérdidas fueron mayores, de 45% y 55,4% respectivamente. Suárez de Castro y Rodríguez (1955), encontraron para la

hojarasca de café valores de la tasa de descomposición entre 3,55 y 0,43 años⁻¹, Aranguren (1980) cita 10,06 años⁻¹ y Cuenca (1962) 1,20 años⁻¹, encontrándose nuestro valor en el promedio señalado por Suárez de Castro y Rodríguez. Las diferentes condiciones edafo-climáticas y la metodología usada podrían justificar las diferencias entre estos resultados. El clima de una región y el régimen microclimático al cual es sometido un recurso, combinado con las propiedades físico-químicas del suelo, constituyen el ambiente para la descomposición.

La acumulación de agua en la hojarasca disminuyó de un 75% en el primer mes, presentando una pendiente similar a la de la tasa de descomposición, mientras que el residuo de café acumuló agua por mayor tiempo, a pesar de que su tasa de descomposición fue más rápida que la de la hojarasca. Esto posiblemente se deba al mayor contenido relativo de materia orgánica en el residuo de café respecto al de la hojarasca. La disminución relativa de humedad en el suelo fertilizado con residuo de café se explica por el mayor contenido de arena de estas subparcelas y al efecto "esponja" ejercido por la materia orgánica agregada.

En la Tabla No. 1 se señala el porcentaje de materia orgánica y el contenido de nutrientes del residuo de café utilizado en la primera y segunda fertilización, comparándose con otros abonos orgánicos. El contenido de nitrógeno fue

alto, 2,35%, en relación a otros abonos orgánicos. La relación C/N presentada por el residuo de café de la primera y segunda fertilización fue menor a 25, lo que señala que el nitrógeno es mineralizable (Martínez y Blasco, 1972). El porcentaje de potasio, contrariamente a lo que señala la literatura para la pulpa y el pergamino de café, fue muy bajo, 0,08%. Al analizarce el residuo de café de un día de descomposición se encontró que el porcentaje de potasio fue el mismo (0,09%).

2. NUTRIENTES DEL SUELO.

Los análisis de nutrientes del suelo reflejaron variaciones relacionadas con la estacionalidad y la entrada suplementaria de nutrientes. El aumento de las concentraciones de nitrógeno total y de calcio y las altas concentraciones de potasio se relacionan con la entrada natural de materia orgánica al sistema entre los meses de Octubre y Diciembre (Tabla No. 2), también con la entrada de nutrientes por el pluviolavado ya que es la época de lluvias. Tanto el sodio como el fósforo total se acumularon en la época seca. El fósforo es un elemento asociado a la parte protéica de la materia orgánica quedándose en el suelo en forma orgánica cuando la actividad biológica es baja (Dommergues y Mangenot, 1970). Al final de la época seca el porcentaje de materia orgánica aumentó en el suelo y el nitrógeno total

disminuyó, causado por la disminución de la actividad biológica. Esto lleva a una relación C/N del suelo bastante alta relacionada con la disminución de la descomposición durante la época seca. La relación C/N fue óptima, 10:1, con el aporte de materia orgánica, de nitrógeno y el incremento del proceso de descomposición durante las épocas de lluvias.

El continuo flujo de nutrientes del compartimiento suelo no permitió detectar muy bien las entradas de los nutrientes del residuo de café y del fertilizante químico. La fertilización química incrementó significativamente las concentraciones de potasio y en menor grado las concentraciones de sodio durante la primera fertilización. En la segunda fertilización se incrementaron significativamente el sodio y el magnesio. El incremento del sodio fue inmediato mientras que el del magnesio se inició con las lluvias. El residuo de café incrementó sólo ligeramente al potasio, al sodio, al magnesio y al nitrógeno. La fertilización química durante la época de lluvias no produjo incrementos ni de nitrógeno ni de fósforo a causa del rápido lavado de estos nutrientes, pero en la época seca estos se incrementaron ligeramente sin observar diferencias significativas a causa de la gran variación de sus concentraciones en el suelo. El incremento de los cationes K^+ y NH_4^+ en el suelo después de la fertilización es causada por la adsorción de estos cationes sobre las arcillas (Tisdale y Nelson, 1975). Respecto a la

materia orgánica, ésta se incrementó en el suelo fertilizado con NPK y aparentemente disminuyó en el suelo con residuo de café. En el caso del fertilizante químico este aumento de materia orgánica se debe a una disminución de la actividad biológica, como veremos más adelante y en el caso del suelo tratado con residuo de café la disminución tendría dos causas, el incremento de la actividad biológica al agregar un substrato al suelo y la baja retención del humus del suelo arenoso.

3. ACTIVIDAD BIOLÓGICA.

El estudio de los distintos parámetros que midieron la actividad biológica registraron incrementos durante la época de lluvias y disminución durante la época seca.

3.1. Celulólisis.

En el manejo tradicional la degradación de la celulosa observó sus mayores valores, 70% y 85%, cuando el suelo tenía la máxima humedad y la mayor entrada de materia orgánica. La degradación de la celulosa es realizada por los organismos celulolíticos, algunos de los cuales se observaron directamente en el campo como masas blancas de micelio. En general, las poblaciones de los microorganismos edáficos están sujetas a cambios dinámicos causados por una serie de factores como son humedad, temperatura, pH y disponibilidad de

nutrientes y de fuentes de energía. Durante las primeras lluvias el porcentaje de humedad en el suelo fue de 43% y 45% con un aporte de materia orgánica entre 178 y 120 gr/m² y un pH alrededor de 5,75; estos factores incrementaron el crecimiento de los microorganismos lo cual se midió por medio de los microorganismos celulolíticos en una alta descomposición de la celulosa. En la época seca al alterarse estos factores: disminución de la humedad al 35% y un bajo aporte de materia orgánica, entre 48 y 61 gr/m², disminuyó la actividad biológica descendiendo la celulólisis alrededor del 10%. En la Tabla No. 8 presentamos algunos valores de degradación de la celulosa revisados en la literatura para otros ecosistemas.

Las formas de manejo presentaron diferencias significativas en la degradación de la celulólisis. El residuo de café produjo un incremento de la actividad celulolítica respecto al manejo tradicional mientras que el manejo con NPK registró la menor actividad, los rangos de estos valores los presentamos en la Tabla No.8. Rubio y Pineda (1973) reportan un contenido de celulosa del 29% para la pulpa de café. El contenido de celulosa del residuo de café es la fuente de energía disponible para el crecimiento de la biota celulolítica en este manejo. Contrariamente, el fertilizante químico al acidificar el suelo altera indudablemente las condiciones de vida de los organismos

TABLA No. 8. VALORES COMPARATIVOS DE LA ACTIVIDAD CELULOLITICA (% PERDIDA DE CELULOSA/PESO SECO).

TIPO DE HUMUS	LOCALIZACION	TIPO DE VEGETACION O TRATAMIENTO	ACTIVIDAD	AUTOR
Moder	Bélgica	Bosque de haya	1-37	Ledel (1974)
Mor		Bosque de pinos	1-10	
	Bélgica	Bosque de haya con <u>Dechampsia cespitosa</u>	2-55*	Parmentier y Re macle (1976)
		<u>Vaccinium myrtillus</u>	0.3-26.5*	
		<u>D. flexuosa</u>	5.2-40.6*	
Mull	Venezuela	Cultivo de café		Presente
		Manejo tradicional	8.5-86	estudio.
		Manejo con residuo de café.	26.5-98	
		Manejo con fertilizante químico.	26.5-84	

*Valores transformados de cumulativos a mensuales.

edáficos asociados al manejo tradicional.

3.2. Respiración Edáfica.

Las variaciones registradas en la celulolisis se reflejaron marcadamente en la respiración edáfica en relación a la estacionalidad y a las formas de manejo. Los resultados de la respiración edáfica diurna y nocturna para el manejo tradicional están de acuerdo a los reportados por la literatura (Medina, 1965; Hernández, 1985). En el manejo con residuo de café la respiración diurna fue mayor que la nocturna después de la fertilización de Febrero debido al incremento de la mineralización de la materia orgánica. La nubosidad del día causó para las tres formas de manejo, una tasa respiratoria diurna mayor a la nocturna en el mes de Enero. Normalmente, la humedad de la noche induce un aumento de la respiración con respecto a la del día, sin embargo, para días nublados la humedad se mantiene alta y la temperatura es el factor que contribuye a aumentar la tasa respiratoria del día. Una de las hipótesis planteadas para explicar este efecto ha sido propuesta por Walter (1960, cit. por Hernández, 1985) y Medina (1966), quienes plantean que la humedad en el suelo durante el día incrementaría la actividad de los microorganismos presentes.

La respiración edáfica se incrementó durante los períodos de lluvias (Noviembre-Diciembre y Marzo- Mayo) y disminuyó

claramente en la época seca (Enero-Febrero). Resultados similares han sido encontrados por Medina (1969) y Hernández (1985) respecto a la estacionalidad de este parámetro biológico.

En la Tabla NO. 9 presentamos valores comparativos de la respiración edáfica para diversos ecosistemas y otros cultivos; en nuestro caso, los valores de las tasas respiratorias observadas para el manejo tradicional fueron entre 244 y 608 mg CO₂/m².h, los cuales están en el rango de los valores citados. La media diaria de la respiración edáfica presentó una correlación positiva significativa con la degradación de la celulosa en el manejo tradicional, mientras que en la fertilización química hay una desincronización del máximo de la respiración y del mínimo de la celulólisis y en el manejo con residuo de café sólo se presentó desincronización del máximo de la respiración (fig. 21). La respiración edáfica al ser la suma de todos los procesos que liberan CO₂, principalmente la mineralización de la materia orgánica, debe presentar un patrón muy similar al de la celulólisis en condiciones de equilibrio. Esto no sucede cuando el sistema es perturbado por el suministro de residuo de café y/o fertilizante químico, ya que los procesos se alteran en el tiempo y en el espacio además de surgir nuevos procesos a los caracterizados por las condiciones de equilibrio.

TABLA No. 9. VALORES COMPARATIVOS DE LA RESPIRACION EDAFICA (MG CO₂/M²·H)
PARA ECOSISTEMAS NATURALES Y CULTIVOS.

ECOSISTEMA/CULTIVO	LOCALIZACION	TASA	FECHA	AUTOR
Bosque Deciduo	Venezuela	89-548	Jun-Jul	Medina (1965).
Bosque LLuvioso	Venezuela	234-511	Marzo	Medina y Selwer (1972)
Bosque Siempreverde	"	50-222	"	" "
Bosque Semiárido	"	68-148	"	" "
Savana de <u>Trachypogon</u>	"	257-532	Ago	" "
Bosque Montano LLuvioso Tropical	Indonesia	118-230	Marzo	Warnner (1970)
Bosque Bajo LLuvioso Tropical	Indonesia	140-302	"	"
Cebada	Inglaterra	312-500	Jun-Ago	Monteith et al., (1964)
Repollo	"		Ago-Sep	"
Caña de Azúcar	Venezuela	98-450	Ago-Ago	Hernández (1985)
Café Manejo tradicional	Venezuela	244-608	Dic-May	Presente estudio.
Manejo con residuo de café.	"	273-613		
Manejo con fertili- zante químico.	"	252-582		

Nota: Todos los registros citados se realizaron por absorción en un álcali,
mediante el método de la campana.

Como en el caso de la celulolisis, la respiración edáfica se incrementó significativamente en el manejo con residuo de café, con valores entre 273 y 613 mg CO₂/m².h y disminuyó significativamente en la fertilización química, con valores entre 252 y 582 mg CO₂/m².h respecto al manejo tradicional (Tabla No. 9). Como ya se planteó, el residuo de café al ser una fuente de materia orgánica actúa como sustrato e incrementa el crecimiento de los organismos edáficos lo que se refleja en un aumento de la tasa respiratoria. Un efecto contrario está dado por el fertilizante químico al afectar los rangos óptimos del pH del suelo para el crecimiento microbiano. La fertilización con NPK produjo una disminución del pH del suelo después de cada fertilización, principalmente en la época seca cuando el pH varió de 5,8 en el manejo tradicional a 4,9 en los cafetos fertilizados con NPK.

3.3. Actividad Enzimática.

La materia orgánica transformada y parcialmente descompuesta en el mantillo por los organismos edáficos pasa al suelo propiamente dicho, en donde sufre un segundo nivel de descomposición por medio de las enzimas presentes en el suelo y liberadas principalmente por los microorganismos.

Las enzimas estudiadas en este trabajo, la carboxi-metil celulasa, la fosfatasa y la ureasa, presentaron para el manejo tradicional mayor actividad en Septiembre, durante la época

lluviosa-fría y valores medios durante la época seca, Enero-Febrero; al final de la época seca cuando se registró el inicio de las segundas lluvias y una ligera disminución de la temperatura del suelo, Febrero-Marzo, la actividad enzimática aumentó ligeramente, sin embargo, con el incremento de la temperatura del suelo a causa del "veranito" y la disminución de las lluvias la actividad enzimática registró los valores más bajos (fig. 31). Las temperaturas alcanzadas por el suelo durante el día al provocar una alta evaporación originan grandes diferencias diarias de humedad, lo que ya constituye condiciones de "stress" para la vida de los microorganismos del suelo.

De las tres enzimas estudiadas la ureasa es la que presenta mayor estabilidad de su actividad con el tiempo, mientras que la fosfatasa presenta las mayores variaciones absolutas de su actividad. El comportamiento de la curva de la actividad ureásica es muy similar a la reportada por Cortéz et al., (1972), quienes obtuvieron para suelos mediterráneos rojos una actividad bastante constante a lo largo del año.

Los cambios provocados por la estacionalidad sobre las actividades enzimáticas no fueron simultáneos para las tres enzimas. Tanto el incremento de la actividad causado por las condiciones favorables como su disminución por las condiciones desfavorables fue presentada en primer lugar por la fosfatasa, luego por la carboxi-metil celulasa y por último por la ureasa

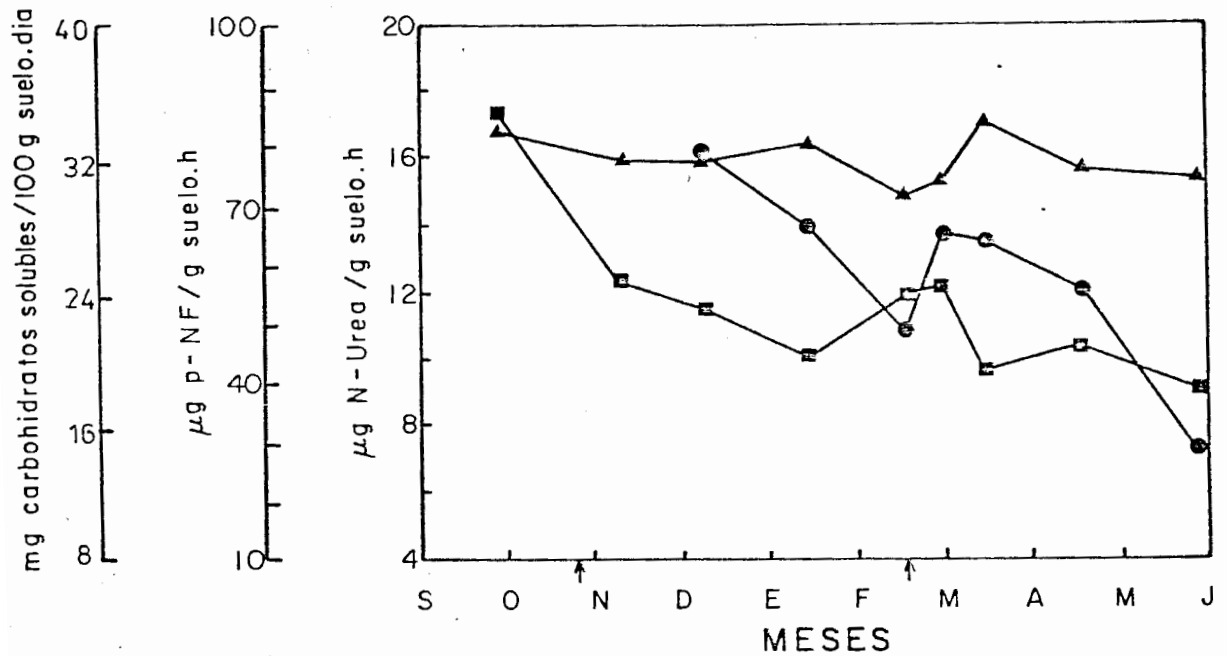


Fig. 31.- Actividad mensual de la carboxi-metil celulosa (●), fosfatasa (■) y ureasa (▲) para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental bajo manejo tradicional.

(fig. 31). Estos cambios se sucedieron con una diferencia aproximada de un mes entre una enzima y otra. Según estos resultados los cambios de humedad del suelo afectarían diferencialmente los óptimos de vida de los microorganismos implicados en la liberación de estas enzimas.

En el manejo tradicional, se comparan los valores obtenidos para la actividad de la carboxi-metil celulasa, la fosfatasa y la ureasa con aquellos revisados en la literatura en las Tablas No. 10, 11 y 12. Encontramos que los valores obtenidos para la carboxi-metil celulasa están comprendidos en el rango bajo, Pancholy y Rice (1973), ver Tabla No. 10. La fosfatasa presenta valores en el rango medio, Sánchez (1985) para suelos de Venezuela, Tabla No. 11. Este mismo autor encontró para un suelo cultivado con café una actividad fosfatásica de $34,71 \mu\text{g p-NF/gr suelo.h}$, valor muy similar al reportado en este trabajo, en ambos casos, las condiciones físico-químicas del suelo fueron semejantes. La actividad ureásica presenta valores dentro del rango intermedio, Palacios (1982) para suelos de Venezuela, Tabla No. 12.

La actividad de la carboxi-metil celulasa, de la fosfatasa y de la ureasa, disminuyó después de la aplicación del residuo de café (fig. 32) y del fertilizante NPK (fig. 33). La aplicación de menores dosis de residuo de café y de NPK en la fertilización de Febrero causó una menor disminución

TABLA No. 10. VALORES COMPARATIVOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CARBOXI-METIL
 CELULASA (MG GLUCOSA/100 GR SUELO·DIA)

SUELO	LOCALIZACION	TIPO DE VEGETACION O TRATAMIENTO	% C	pH	ACTIVIDAD	AUTOR
faA	Egipto	Control	1.4	7.6	12.8	Gomah y Gomaa (1980)
		Tallos de trébol			14.0	
		Tallos de algodón			13.1	
		Estiercol de ganado			14.5	
fa		Control	2.1	7.9	16.3	" "
		Tallos de trébol			18.0	
		Tallos de algodón			17.8	
		Estiercol de ganado			17.9	
A		Control	2.0	7.9	18.9	" "
		Tallos de trébol			19.5	
		Tallos de algodón			19.4	
		Estiercol de ganado			19.3	
	USA	Pradera de gramíneas				Pancholy y Rice (1973)
fAa		1er. edo. sucesional	0.56	6.8	418-148	
fa		2do. edo. sucesional	0.59	6.5	274-69	
fa		3er. edo. sucesional	0.88	6.8	133-33	
		Bosque de roble				"
fa		1er. edo. sucesional	0.48	6.2	106-18	
af		2do. edo. sucesional	0.64	6.6	53-18	
af		3er. edo. sucesional	0.48	5.9	66-32	
		Bosque de roble y pino				"
fa		1er. edo. sucesional	1.15	5.5	135-34	
fa		2do. edo. sucesional	0.34	6.1	72-20	
fAa		3er. edo. sucesional	1.09	5.4	42-18	
	Venezuela	Cultivo de café				Presente estudio.
fl		Manejo tradicional	1.8-2.9	5.4-5.8	32-14	
fa		Manejo con residuo de café	1.1-2.2	5.4-5.8	29-12	
fl		Manejo con fertili- zante químico	1.9-3.5	4.9-5.6	27-10	

faA: franco-areno-arcilloso; fa: franco-arenoso; A: arcilloso; fAa: franco-arcillo-arenoso; af: areno-francoso; fl: franco-limoso.

TABLA No. 11. VALORES COMPARATIVOS DE LA ACTIVIDAD DE LA FOSFATASA ACIDA ($\mu\text{g p-NF/GR SUELO-H}$).

SUELO	LOCALIZACION	TIPO DE VEGETACION O TRATAMIENTO	%C	pH	ACTIVIDAD	AUTOR
franco-arenoso	Iowa USA		0.92	6.4	59	Eivazi y Tabatabai (1977)
franco-limoso	" "		1.51	5.1	53	
franco	" "		1.77	6.4	126	
"Grey wooded"	Toronto Canada	Rotación de cultivos				
		Control			0.516*	Khan (1970)
		Materia orgánica			0.703*	
		Fertilizante NPKS			0.715*	
		Fertilizante NS			0.617*	
		Secuencia cultivo- rastrojo				
		Control			0.268*	
		Materia orgánica			0.289*	
		Fertilizante NPKS			0.275*	
		Fertilizante NS			0.276*	
Latosol (Haplustox)	Plamalto Central	"Cerradao"	1.87	3.9-4.5	8.5-9.1	Kulinska et al., (1982)
Latosol (Hacrustox)	de Brasil.	"Cerrado"	1.15	4.1-4.8	2.8-4.1	
		"a-Cerradao"	1.77	5.1-5.9	1.8-2.6	
"Orthic Black Chernozem"	Alberta, Canada	Control	6.0	5.8	12.66**	Spiers y McGill (1979)
		27 kg/ha P (5 años)			9.81**	
		54 kg/ha P (5 años)			10.00**	
"Orthic Grey Luvisol"	" "	Control	1.3	5.4	3.00**	
		27 kg/ha P (5 años)			2.91**	
		54 kg/ha P (5 años)			4.20**	
Podzol amarillo	Australia	Cultivo de avena	1.50	6.0		Dalal (1982)
		<u>Trifolium rapens</u>				
		Biomasa aérea			3.42**	
		Biomasa radicular			2.03**	
		<u>Axonopus affinis</u>				
		Biomasa aérea			4.21**	
		Biomasa radicular			3.53**	
arenoso	Trujillo (Vzla.)	Cultivo de fresa	0.80	6.1	157.75	Sánchez (1975)
franco	Anzoátegui "	Vegetación Xerófila	1.94	7.7	63.00	
franco-arenoso	Miranda "	Cultivo de cacao	1.02	7.3	44.23	
areno-francoso	Falcón "	Vegetación Xerófila	0.45	6.7	24.18	
franco	Miranda "	Cultivo de café	2.95	5.7	34.71	
franco	Bolívar "	Morichal	3.50	5.1	12.51	
franco-limoso	Mérida (Vzla.)	Cultivo de café				
franco-arenoso		Manejo tradicional	1.8-2.9	5.4-5.8	37.8-85.7	Presente
		Manejo con residuo de café	1.1-2.2	5.4-5.7	24.0-44.4	estudio.
franco-limoso		Manejo con fertili- zante químico	1.9-3.5	4.9-5.6	29.1-49.4	

*Actividad expresada en mg fenol/gr suelo.

**Datos transformados a las unidades del presente estudio.

TABLA No. 12. VALORES COMPARATIVOS DE LA ACTIVIDAD DE LA UREASA ($\mu\text{g NH}_4\text{-N/GR SUELO}\cdot\text{H}$)

SUELO	LOCALIZACION	TIPO DE VEGETACION O TRATAMIENTO	%C	pH	ACTIVIDAD	AUTOR
franco-arcilloso	Iowa USA	Control	2.93	6.9	52	Zantua y Bremner (1976)
		Urea (400 $\mu\text{g N}$)			52	
		Glucosa (2mg) + Urea (50 $\mu\text{g N}$)			52-137	
		Celulosa			52-142	
		Estiércol de ganado			52-110	
		Maíz (10mg)			52-156	
franco-arcilloso	Sri-Lanka	Control	2.80	4.70	15	Sivapalan et al., (1983)
		Residuos ricos en fenoles	3.12	4.75	45*	
		Residuos pobres en	3.26	4.62	97*	
Latosol (Haplustox)	Planalto	"Cerradão"	1.87	3.9-4.5	26-36**	Kulinska et al., (1982)
Latosol (Acrustox)	Central de	"Cerrado"	1.15	4.1-4.8	13-17**	
Latosol (Haplustox)	Brazil	"a-Cerradão"	1.77	5.1-5.9	10-20**	
franco-arenoso	Oklahoma USA	Pradera de gramíneas				Pancholy y Rice (1973)
		1er. edo. sucesional	0.56	6.82	22-37	
		2do. edo. sucesional	0.59	6.49	30-45	
		3er. edo. sucesional	0.88	6.81	57-124	
		Bosque de roble				
		1er. edo. sucesional	0.48	6.23	4-23	
		2do. edo. sucesional	0.64	6.58	12-34	
		3er. edo. sucesional	0.48	5.91	18-34	
		Bosque de roble y pino				
		1er. edo. sucesional	1.15	5.52	17-82	
2do. edo. sucesional	0.34	6.06	13-38			
3er. edo. sucesional	1.10	5.42	29-55			
franco	Guárico (Vzla.)	Cultivo de sorgo	2.02	7.90	28.44	Palacios (1982)
arenoso-francoso	Amazonas "	Bosque Húmedo Tropical	4.30	3.90	3.43	
franco-arenoso	Guárico "	Savana	0.65	5.20	2.60	
franco-arcillo-limoso	Guárico "	Estero	3.27	4.80	14.24	
franco-limoso	Miranda "	Cultivo de cacao	1.30	7.40	7.45	
franco-limoso	Mérida (Vzla.)	Cultivo de café				Presente estudio.
		Manejo tradicional	1.8-2.9	5.4-5.8	14.7-17.1	
franco-arenoso		Manejo con residuo de café	1.1-2.2	5.4-5.7	12.7-16.2	
franco-limoso		Manejo con fertilizante químico	1.9-3.5	4.9-5.6	7.5-15.5	

*Media de varios tratamientos.

**Datos transformados a las unidades del presente estudio.

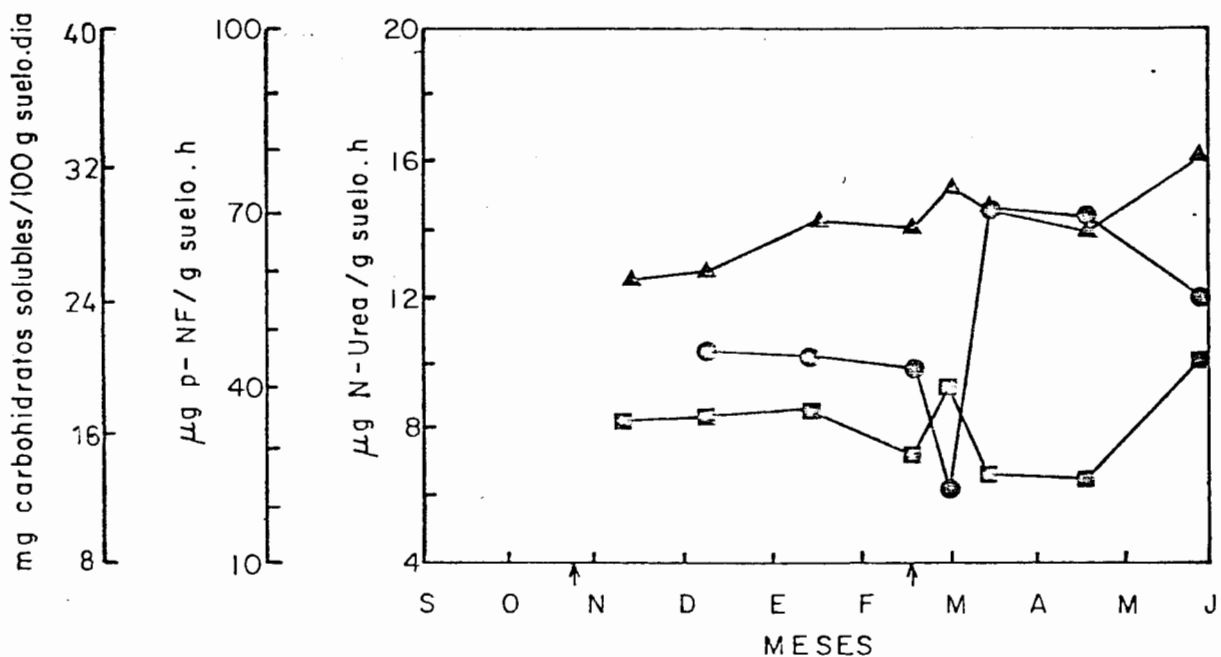


Fig. 32.- Actividad mensual de la carboxi-metil celulasa (●), fosfatasa (◻) y ureasa (▲) para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental bajo manejo con residuo de café.

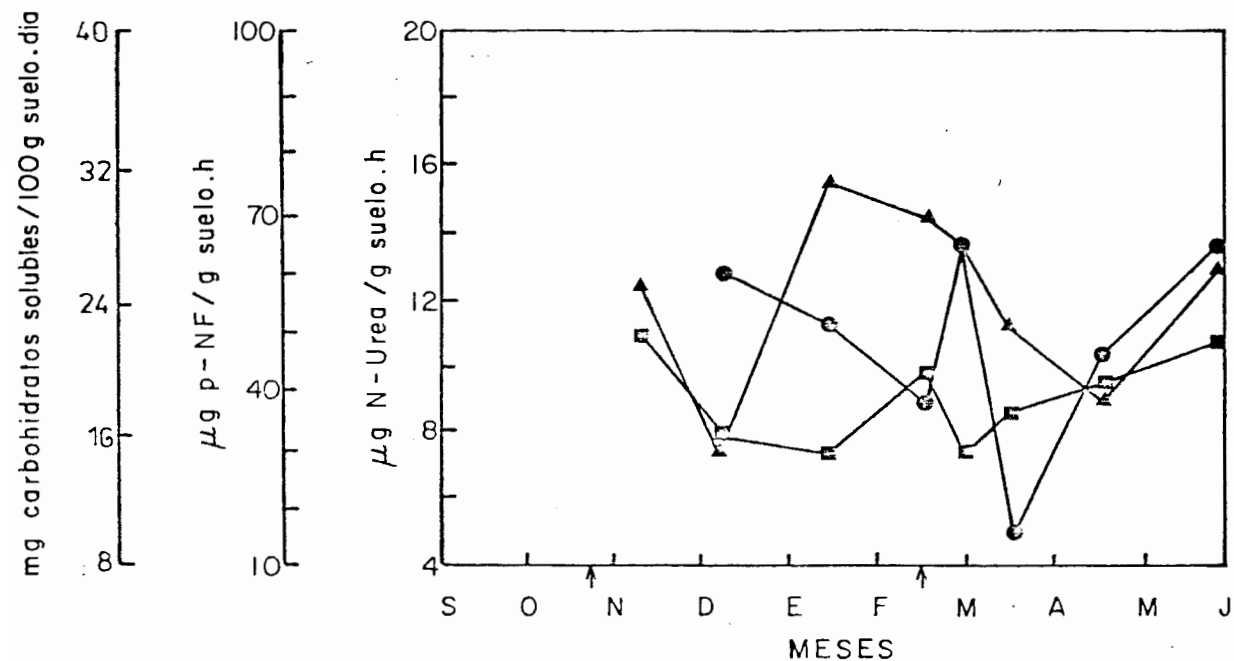


Fig. 33.- Actividad mensual de la carboxi-metil celulasa (●), fosfatasa (■) y ureasa (▲) para una mezcla compuesta de suelo de la parcela experimental bajo manejo con fertilizante químico.

de la actividad enzimática. La actividad de la ureasa disminuyó más marcadamente con la fertilización química que con el residuo de café. Sólo en el caso de la carboxi-metil celulasa el residuo de café aplicado en la segunda fertilización ejerció un efecto positivo sobre la actividad de esta enzima, lo cual se observó 15 días después de aplicado. Este efecto podría deberse a la calidad del residuo de café utilizado, el cual poseía un mayor contenido de nitrógeno (2,35%) y de materia orgánica (96%) lo que incrementa la producción de celulasas al promover el crecimiento de microorganismos celulolíticos (Alexander, 1977). Según resultados encontrados por Kong y Dommergues (1972), la actividad celulolítica bajo condiciones naturales está limitada por diferentes factores. Estos autores encontraron para tres tipos de suelos orgánicos que en un suelo de turba ácida la actividad de la carboxi-metil celulasa depende tanto del nitrógeno como del fósforo y la actividad de la celulasa del nitrógeno solamente; en un suelo de turba cálcica el incremento de ambas enzimas fue estrictamente dependiente del fósforo mientras que en un mor de un suelo podzólico la carboxi-metil celulasa requirió de ambos elementos pero la celulasa fue independiente de éstos dos.

La actividad de la carboxi-metil celulasa presenta valores similares en los manejos tradicional y con residuo de café, encontrándose los valores más bajos en el suelo manejado

con fertilizante químico (Tabla No. 10).

La actividad de la fosfatasa se afectó de manera similar por los dos tipos de insumos mientras que en el manejo tradicional los valores de la actividad fosfatásica fueron los más altos (Tabla NO.11).

En el caso de la ureasa, la actividad fue similar en los manejos tradicional y con residuo de café mientras que el manejo con fertilizante químico presentó el rango inferior más bajo (Tabla No. 12).

Al comparar los diferentes parámetros biológicos se encuentran correlaciones significativas entre la carboxi-metil celulasa y la celulólisis (fig. 24) y entre la fosfatasa y la respiración edáfica en el manejo NPK y entre la carboxi-metil celulasa y la respiración edáfica en el manejo con residuo de café (fig. 23). El nitrógeno aplicado en el fertilizante químico favorece algunos tipos de hongos que tienen una baja actividad celulolítica, mientras que los que poseen una alta actividad no necesitan nitrógeno suplementario (Bharat y Srivastava, 1982). El residuo de café favorece entonces las poblaciones celulolíticas con alta actividad celulolítica al ser un sustrato con un alto porcentaje en celulosa, Rubio y Fineda (1973) reportan 29% de celulosa en la pulpa de café. Una alta actividad de estos microorganismos podría estar manifestada principalmente en una mayor liberación de carboxi-metil celulasa; cuya actividad estaría sincronizada

con el metabolismo del suelo en el manejo con residuo de café. Contrariamente el fertilizante químico favorecería el crecimiento de poblaciones de hongos con baja actividad celulolítica y que liberan carboxi-metil celulasa. Sin embargo, es importante puntualizar que la degradación de la celulosa por vía enzimática se realiza mediante la intervención de tres enzimas como ya se dijo anteriormente, siendo la carboxi-metil celulasa la enzima que cataliza la reacción de la segunda etapa; lo que sugiere que su actividad no está sólo sujeta al efecto directo de las condiciones físico-químicas del suelo, sino que también la actividad de esta enzima será modificada según estas mismas condiciones del suelo afecten la enzima de la primera etapa de este proceso, la celulasa (C1).

El análisis integral de todos los parámetros medidos en cada forma de manejo muestra que la actividad biológica es afectada por los dos tipos de insumos. Los parámetros globales usados, celulolisis y respiración edáfica señalan que la actividad biológica se incrementa con el uso de residuo de café y disminuye en el manejo con fertilizante químico, comparándola con los resultados del manejo tradicional. Resultados paralelos obtenidos en la densidad de fauna del suelo de la misma parcela experimental bajo las tres formas de manejo registraron la misma tendencia (Alvarez, datos no

publicados; Tabla No. 13). La fauna estudiada, ácaros, colémbolos, artrópodos y otros insectos revelan una mayor densidad en el manejo con residuo de café, 29.177 individuos/m² y la menor densidad en el manejo con fertilizante químico, 9.550 individuos/m², en relación al manejo tradicional, 13.029 individuos/m².

Las enzimas del suelo como proteínas de origen celular se desnaturalizan con los cambios de pH (Frankenberger y Johanson, 1982) y se inmovilizan con la presencia de ciertas sustancias fenólicas (Gupya y Haslam, 1979). El fertilizante químico utilizado (NPK) se aplicó, para el nitrógeno en forma de urea y de sulfato de amonio y para el fósforo en forma de fosfato diamónico. El incremento de la acidéz del suelo provocado por la fertilización química se debe principalmente a la nitrificación de las sales de amonio (urea, sulfato de amonio y fosfato diamónico) por las bacterias del suelo. Se conoce que esta reacción es inicialmente alcalina pero el descenso del pH se observa cierto tiempo después de la aplicación del fertilizante químico (Tisdale y Nelson, 1975). Bharat y Srivastava (1982) en tratamientos con urea y NPK en el laboratorio encontraron que las poblaciones de hongos se favorecieron inicialmente a causa del descenso del pH, pero al cabo del segundo y tercer mes estas comenzaron a descender debido a la estabilización del pH, iniciándose un incremento de las poblaciones bacterianas. En nuestro caso observamos en

TABLA No. 13. DENSIDAD (INDIV/M2) DE LA FAUNA DEL SUELO EN LOS TRES TIPOS DE MANEJO**.

FAUNA DEL SUELO	HOJARASCA	RESIDUO DE CAFE	FERTILIZANTE QUIMICO
ACARI	6810	16860	4711
COLLEMBOLA	2596	6889	1613
OTROS ARTRÓPODOS	715	1112	345
OTROS INSECTOS	2908	4316	2872
TOTAL	13029	29177	9550

*Datos no publicados de Alvarez.

el campo (15 días después de realizada la fertilización química de la época seca) un resurgimiento temporal de masas blancas de hongos, lo que podría relacionarse con la entrada de nitrógeno y el inicio del descenso del pH, sin embargo a partir del primer mes, cuando se iniciaron las lluvias, los manejos tradicional y con residuo de café desarrollaron este tipo de hongos sobre el mantillo, no así el suelo de los cafetos tratados con NPK. Posiblemente el descenso del pH por debajo del óptimo de estas poblaciones, además de otras condiciones tóxicas existentes ha podido inhibir su crecimiento. De acuerdo a estos efectos de la fertilización química, las enzimas pueden ser alteradas de dos formas, ya sea directamente mediante la desnaturalización causada por los descensos del pH o indirectamente al inhibir el crecimiento de los microorganismos que las producen.

El efecto de la fertilización química sobre las enzimas ha sido estudiado por diversos autores no encontrándose un patrón definido por cuanto en algunos casos hay incremento y en otros disminución de la actividad enzimática. Kiss et al., (1978) en una revisión encuentran que la actividad de la celulasa generalmente se incrementa en suelos cultivados en relación a los no cultivados y en aquellos fertilizados con insumos minerales y/u orgánicos en relación a los cultivados sin aplicación de insumos. Lopatin y Kuz'mina (1974, cit. por Kiss et al., 1978) encontraron para un suelo podzólico

cultivado y fertilizado con NPK durante 18 años consecutivos y encalado cada 5 años, que la actividad de la celulasa fue considerablemente mayor que en el suelo del mismo territorio con vegetación natural. Andreyuk y Dul'gerov (1975, cit. por Kiss et al., 1978) al tratar un suelo "chestnut" obscuro con sulfato diamónico en dosis desde 0,025 a 2,0 gr/100 gr suelo encontraron un incremento de la actividad celulasa asociada al incremento de la dosis del fertilizante pero al agregar mayores dosis la actividad disminuyó.

En las Tablas No. 11 y 12 presentamos valores obtenidos por algunos autores para la fosfatasa y la ureasa, respectivamente, en donde se observa que los resultados difieren de acuerdo a diferentes parámetros, por ejemplo, para la fosfatasa, Khan (1970) encontró un incremento de la actividad en suelos con rotación de cultivos a los que se les aplicó NPKS y NS, mientras que en secuencias cultivo-rastrojo el incremento no fue muy notorio. Spiers y McGill (1979) encontraron que después de usar fertilizantes fosfatados por 5 años la actividad fosfatásica fue menor en suelos con alto contenido de materia orgánica y mayor en suelos con bajo contenido de materia orgánica. Una disminución de la fosfatasa y de la ureasa fue hallada por Kulinska et al., (1982) en el área del "a-Cerradão", la cual había sido talada, fertilizada con superfosfato y encalada algunos años antes, en relación al "Cerradão" con vegetación natural, estos

resultados fueron atribuidos a la calidad de la materia orgánica. En relación a la actividad de la ureasa, Zantua y Bremner (1976) no encontraron ningún cambio en la actividad de esta enzima al aplicar urea a varios tipos de suelos, mientras que Mahmoud et al., (1980) al aplicar urea a varios tipos de suelos la actividad ureásica se incrementa y luego disminuye gradualmente. Cervelli et al., (1978) afirman que la ureasa es una enzima no inducible específicamente ni por compuestos nitrogenados ni por urea, en contraste, la actividad de la celulasa si es inducible, ésta aumenta después de la incubación con celulosa y disminuye después de la adición de glucosa. En relación al efecto de la fertilización química sobre el pH, Durand, (1965) afirma que al variar el pH alrededor de las partículas del suelo el efecto se realiza directamente sobre la enzima, mas bien que por medio de las características físico-químicas del suelo. Frankenberger y Johanson (1982) estudiaron las variaciones del pH sobre la estabilidad enzimática de la ureasa, fosfatasa, amilasa e invertasa entre otras, encontrando que la estabilidad de estas enzimas respecto a las variaciones del pH depende de cada tipo de suelo, lo que explicaría porqué en algunos suelos el uso de fertilizantes químicos incrementa la actividad enzimática y en otros la disminuye.

En todos los casos revisados se reportan incrementos de la actividad enzimática con el uso de diferentes tipos de materia orgánica, sin embargo, nosotros no encontramos incremento de la actividad al utilizar residuo de café como fertilizante orgánico. En el caso de la carboxi-metil celulasa (Tabla No. 10), Gomah y Gomas (1980) encontraron que la adición de diversos tipos de material orgánico: tallos de trébol, tallos de algodón y estiércol de ganado, incrementaron la actividad enzimática en forma diferencial, obteniendo una mayor actividad de esta enzima para un suelo arcilloso que en suelos franco-areno-arcilloso y franco arenoso, lo que denota cierta dependencia tanto en el tipo de materia orgánica como en el porcentaje de carbono orgánico del suelo. Esta misma relación se presenta en el trabajo de Pancholy y Rice (1973), quienes encontraron una mayor actividad de la carboxi-metil celulasa en los primeros estados sucesionales de una pradera de gramíneas, de un bosque de roble y de un bosque de roble y pino; estos resultados se atribuyeron a una mayor actividad de los organismos descomponedores de celulosa, causada por una menor relación lignina/celulosa de la materia orgánica de los primeros estados sucesionales; mientras que para la ureasa los mismos autores encontraron una mayor actividad en los últimos estados sucesionales, lo que parece estar más bien relacionado con el tipo de vegetación (Tablas No. 10 y 12).

Autores como Khan (1970) y Zantua y Bremner (1976) han

encontrado incrementos de la actividad fosfatásica (Tabla No. 11) y de la actividad ureásica (Tabla No. 12) respectivamente con adiciones de la materia orgánica. Sin embargo, el grado de disponibilidad del carbono orgánico parece tener una íntima relación con el incremento de las actividades enzimáticas; Dalal (1982) encontró para la actividad fosfatásica de un suelo cultivado con Avena sativa que ésta fue mayor al agregar la biomasa aérea que cuando se agregó la biomasa radicular. Igualmente, Kulinska et al., (1982) al estudiar las actividades de la fosfatasa y de la ureasa en el Planalto Central de Brasil, encontraron que tales actividades fueron mayores en el "Cerradão" respecto al "Cerrado" (Tablas No. 11 y 12).

Además del efecto que puede tener sobre la actividad enzimática la disminución de humedad del suelo con residuo de café se ha encontrado que la pulpa de café contiene un alto porcentaje de lignina y polifenoles (Claude, 1979). Para el contenido de taninos se señalan valores que oscilan entre 4,5% (Aguirre, 1966) y 2,4% (Molina et al., 1974); para los ácidos clorogénico y caféico se reportan valores de 2,71% y 0,31% (Molina et al., 1974) y 2,6% y 1,6% (Bressani y Elias, 1976) respectivamente. El contenido de cafeína ha sido reportado entre 0,51% (Jeffe y Ortiz, 1952) y 1,3% (Bressani et al., 1974). Recientemente, González de C. (1985) encontró para la pulpa de café de la variedad Catuai amarillo, fenoles simples

1,31%, flavonoides 0,22% y taninos hidrolizables 0,20%, pero no se encontraron taninos condensados. Estos compuestos secundarios parecen jugar un rol antidepredador para muchos organismos; los taninos, especialmente, son polímeros fenólicos solubles en agua y capaces de precipitar alcaloides, gelatina y proteínas estructurales y catalíticas (Gupta y Haslam, 1979) y formar complejos tanino-proteína, conduciendo a la inactivación de las enzimas. El efecto de los fenoles sobre la actividad ureásica ha sido reportado por Sivapalan et al., (1983), quienes examinaron los efectos de la descomposición de residuos vegetales pobres y ricos en fenoles sobre la actividad ureásica, encontrando que los suelos tratados con residuos ricos en fenoles presentaron una actividad ureásica menor del 50% respecto a los residuos pobres en fenoles (Tabla NO. 12). Por lo cual se plantea que el contenido de fenoles y de lignina del residuo de café disminuyó la calidad de esta materia orgánica. El efecto negativo de la fertilización con residuo de café se reflejó sólo en las actividades enzimáticas y no en los demás parámetros medidos, lo que se interpreta como un efecto de inhibición sobre las enzimas del suelo más que sobre los microorganismos propiamente.

Según estos resultados, las enzimas por ser parámetros más específicos, podrían ser utilizados más como indicadores para evaluar la calidad de un material orgánico utilizado como

insumo que como índices de fertilidad biológica de un suelo. Algunos autores como Durand (1965) y Cervelli et al., (1978) afirman que una apreciación correcta de la fertilidad biológica de un suelo basada en los valores medidos de actividades enzimáticas seleccionadas es discutible.

Estos resultados y los reportados en la literatura indican que la actividad enzimática está muy relacionada con la calidad de la materia orgánica que se descompone en el suelo, proceso a su vez resultante de la interacción simultánea de las propiedades físico-químicas del suelo. La utilización de la materia orgánica y la subsecuente proliferación de microorganismos no está restringida a las interrelaciones entre los microorganismos sino que incluye los efectos de la fauna del suelo y los residuos de las plantas sobre los microorganismos además de la utilización de este material orgánico por otros organismos vivos, como las lombrices de tierra. Ingualmente, las modificaciones inducidas por los insumos inorgánicos y orgánicos sobre la composición de los exudados radicales y la excreta de la fauna del suelo son de gran importancia en la evolución de las enzimas del suelo (Cervelli et al., 1978). Las enzimas del suelo al ser producidas principalmente por los microorganismos edáficos pueden ser afectadas indirectamente por cualquier factor que altere las funciones vitales de estos. El gran número de variables a las que están sometidas las actividades

enzimáticas no permite generalizar acerca de su comportamiento, por lo cual se hace necesario estudiar en detalle otros efectos. Por ejemplo, en la literatura no se reportan correlaciones entre la textura del suelo y las actividades enzimáticas, sin embargo, en este trabajo los cambios de textura de la parcela experimental provocaron grandes variaciones en las actividades de la fosfatasa y de la ureasa. Cuando se comparan las actividades de la parcela experimental (figs. 29 y 30) con las de la subparcela TA (figs. 27 y 30), en donde la textura es más homogénea (suelo franco-limoso), el error estándar de la actividad de la fosfatasa y de la ureasa disminuye marcando con mayor precisión el efecto de la forma de manejo sobre la actividad enzimática. Tenemos entonces, que la actividad ureásica y fosfatásica en el suelo de los cafetos fertilizados con residuo de café y NPK de la subparcela TA presentan un efecto negativo más rápido y marcado que en la parcela experimental donde encontramos cambios de la textura del suelo. En la Tabla No. 6 se presentan los cafetos muestreados que presentaron grandes diferencias, para una misma fecha, en la actividad de la fosfatasa en relación a los cambios de textura. Se encontró, en forma general, que todos los cafetos ubicados, según el triángulo textural, en la división franco-limosa presentaron una actividad mayor a los ubicados en la división franco-arenosa. Esta relación se cumplió para

los tres tipos de manejo, lo cual podría deberse al hecho de que en los suelos arenosos los complejos organo-minerales y el humus coloidal son menos abundantes, disminuyendo de esta forma los sitios de protección de las enzimas. Mahmoud et al., (1980) al aplicar urea a distintos tipos de suelos, encuentran una disminución de la actividad ureásica en los suelos arenosos y calcáreos tratados respecto al control.

Igualmente se estudió el efecto de las características intrínsecas de los cafetos sobre la actividad fosfatásica con el fin de observar las variaciones del microclima sobre esta enzima (Tabla No. 7). Se encontró que cafetos grandes y frondosos presentaron una mayor actividad fosfatásica, entre 25% y 55%, que los cafetos pequeños y de poco follaje. Estas últimas observaciones reflejan que las actividades enzimáticas pueden estar sujetas a las variaciones de la textura y a los cambios del microclima en un mismo suelo y para un mismo tipo de vegetación.

La actividad biológica registrada a través de los parámetros medidos volvió a su estado inicial (como en el manejo tradicional), cierto tiempo después de realizadas las fertilizaciones químicas y orgánicas. Es decir, que este sistema al ser perturbado tuvo la capacidad de volver a su estado de equilibrio. Respecto a las enzimas, hay evidencias que cada suelo tiene una determinada capacidad enzimática. La

actividad ureásica de un suelo fertilizado con materia orgánica eventualmente se igualó al del suelo no fertilizado, esto indica que cada suelo tiene la capacidad para proteger la enzima y que aquella que está en exceso se descompone o inactiva (Bremner y Mulvaney, 1978). Nannipieri et al., (1983) proponen una hipótesis que relaciona los espacios "activos" o "biológicos" con la biomasa microbiana y la actividad enzimática total de un suelo, la cual sostiene que al agregar materia orgánica que incentive la actividad enzimática, ésta persiste hasta cierto tiempo después de haberla agregado, pero posteriormente regresa a su valor inicial. En nuestro caso, el material orgánico utilizado deprimió la actividad enzimática por cierto tiempo, pero ésta volvió a su estado inicial una vez pasado el efecto negativo. Sin embargo, no sabemos si este comportamiento se repite cuando el sistema es alterado consecutivamente como en el caso de cultivos fertilizados durante muchos años.

Para futuros estudios se recomienda cuantificar la entrada de nutrientes y la producción del café lo cual determinará qué tipo de insumo es más aconsejable. Sin embargo, en relación a los parámetros medidos en este trabajo y al análisis global de éstos, señalamos que a pesar del efecto negativo del residuo de café sobre la actividad enzimática, este insumo sería más recomendable que el fertilizante químico NPK.

VI. CONCLUSIONES

1. El residuo de café es un material que se descompone fácilmente en el suelo estudiado.
2. Los parámetros físicos (humedad y temperatura) y químicos (pH, Na, Ca, K y materia orgánica) del suelo presentaron cambios en los períodos de lluvia y de sequía y según las formas de manejo.
3. Los parámetros utilizados para medir la actividad biológica del suelo (celulolisis, respiración edáfica, actividad enzimática de la carboxi-metil celulasa, de la fosfatasa y de la ureasa) presentaron variaciones causadas por la estacionalidad y las formas de manejo en el cultivo de café estudiado.
4. La celulolisis y la respiración edáfica presentaron mayor actividad en los períodos de lluvia en relación a la época seca.
5. La actividad de todas las enzimas registraron variación en su actividad causada por los cambios de temperatura del suelo, presentando mayor actividad en el primer período de lluvias cuando la temperatura media diaria fue menor en relación al segundo periodo lluvioso.
6. Los parámetros globales, celulolisis y respiración edáfica, presentaron un incremento de la actividad en el manejo con residuo de café y una disminución en el manejo con NPK.

respecto al manejo tradicional.

7. Las actividades enzimáticas de la carboxi-metil celulasa y de la ureasa fueron similares en los manejos tradicional y con residuo de café pero disminuyó con el uso del fertilizante químico (NPK). La actividad de la fosfatasa fue mayor en el manejo tradicional y disminuyó en forma similar en los manejos con residuo de café y NPK.

8. Un análisis general señala que el uso del fertilizante químico reduce la actividad de todos los parámetros biológicos medidos, mientras que el residuo de café incrementa globalmente el metabolismo del suelo, aunque ejerce un efecto negativo sobre la actividad de las enzimas del suelo.

9. La calidad de la materia orgánica es un factor a considerar al intentar usar fertilizantes orgánicos.

10. El uso de diferentes parámetros biológicos permite una mejor comprensión e interpretación de los procesos biológicos del suelo.

11. Recomendamos mayores estudios a largo plazo sobre los procesos biológicos en suelos fertilizados con agentes químicos a fin de comprender mejor su efecto sobre los organismos y los procesos bioquímicos del suelo. Igualmente, recomendamos mayor investigación sobre las posibles causas de la toxicidad del residuo de café sobre las enzimas del suelo y de precisar el efecto de este insumo sobre los microorganismos edáficos y los procesos químicos y bioquímicos del suelo.

12. La caracterización bioquímica de estas enzimas para suelos venezolanos, aislándolas y realizando estudios de laboratorio que permitan determinar cómo y por qué variables son inhibidas o activadas, permitiría una mayor precisión en cuanto a las predicciones del comportamiento de éstas en el campo.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, B. F. 1966. La utilización industrial del grano de café y de sus productos. Investigaciones Tecnológicas del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICATI), No. 1, 43 pp.
- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons. New York. 467 pp.
- Anderson, J. M. y M. J. Swift. 1983. Tropical decomposition processes. En: Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Aranguren, C. J. 1979. Contribución a la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos bajo árboles de sombra (café y cacao). Tesis M. Sc. IVIC, Caracas, Venezuela, 285 pp.
- Avdonin, N. S., L. A. Lebedeva, V.B. Zagumennikov y E. V. Lyushina. 1976. The effect of mineral fertilizers on the activity of urease added to Chernozem soil. En Resúmenes de Soils and Fertilizers, 44(4) Abstract 1790.
- Awolumate, E. O. 1983. Chemical composition and potential uses of processing wastes from some Nigerian cash crops. Turrialba, 33(4):381-386.
- Bachelier, G. y R. Gavinelli 1966. Dosage global des glucides du sol par les méthodes colorimétriques à l'antrone et à l'orcinol. Cah. ORSTOM. Ser. Pedol., 4(3):97-103.
- Bharat, R. y A. K. Skivastava 1982. Microbial decomposition of leaf litter as influenced by fertilizers. Plant and Soil, 66:195-204.
- Bartlett, E. M. y D. H. Lewis 1973. Surface phosphatase activity of micorrhizal roots of beech. Soil Biol. Biochem., 5:249-257.
- Bastardo, H. 1983. Los microorganismos y su importancia en el proceso de descomposición. Trabajo de ascenso. U.C.V., 76 pp.
- Batistic, L. y J. Mayaudon 1977. Influence des fumures minérales et organiques liquides (lisier bovin) sur la fertilité biologique du sol. Rev. Ecol. Boil. Sol, 14(4):499-507.
- Bremner, J. M. y R. L. Mulvaney 1978. Urease activity in soils. En Soil Enzymes. Edit. R. G. Burns. Academic Press, pp. 149-196.

- Bressani, R., E. Estrada y R. Jarquin 1972. Pulpa y pergamino de café. I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Turrialba, 22:299-304.
- Bressani, R. y L. G. Elias 1976. Utilización de desechos de café en alimentación de animales y materia prima industrial. Exposición Pecuaria del Istmo Centroamericano (EXPICA) INCAF, 25 pp.
- Burns, R. G., M. H. El-Sayed y A. D. McLaren. 1972. Extraction of an urease active organo-complex from soil. Soil. Biol. Biochem., 4:107-108.
- Cervelli, S., P. Nannipieri y P. Sequi 1978. Interactions between agrochemicals and soil enzymes. En Soil Enzymes. Edit. R. C. Burns. Academic Press, pp. 251-293.
- Chirinos, A. V., J. De Brito, e I. de Rojas. 1971. Características de fertilidad de algunos suelos venezolanos a través de los resúmenes de análisis rutinarios. Agronomía Tropical, 21(5):379-409.
- Claude, B. 1979. Utilisation des sous-produits du café. Etude bibliographique. Café, Cacao, Thé, 23(2):146-152.
- Coleman, D. C. 1973. Compartmental analysis of "total soil respiration" an exploratory study. Oikos, 24:361-366.
- Cortéz, J., P. Lossaint y G. Billes 1972. L'activité biologique des sols dans les écosystèmes méditerranéens. III. Activités enzymatiques. Rev. Ecol. Biol. Sol, 9(1):1-19.
- Cuenca, G. 1981. Papel de las raíces micorrizicas del café (*Coffea arabica*) en la descomposición de la hojarasca. Tesis M. Sc. IVIC, Caracas, Venezuela, 150 pp.
- Dalal, R. C. 1982. Effect of plant growth and addition of plant residues on the phosphatase activity in soil. Plant and Soil, 66:265-269.
- Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. En: Methods of soil analysis. I. Agronomy Monograph No. 9. C. A. Black. Madison, Wisc., American Society of Agronomy, pp. 545-567.
- Dick, W. A. y M. A. Tabatabai 1984. Kinetic parameters of phosphatases in soils and organic waste materials. Soil Sci., 137:7-15.

- Dommergues, I. y F. Mangenot 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Masson et Cia. Paris, 796 pp.
- Durand, G. 1965. Les enzymes dans le sol. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 2:141-205.
- Eivazi, F. y M. A. Tabatabai 1976. Phosphatases in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 9:167-172.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 1979. *Manual del Cafetero Colombiano*. 4ta. edición. Sección de Divulgación Científica de CENICAFE. Colombia, 209 pp.
- Frankenberger, W. T. y W. A. Dick 1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:945-951.
- Frankenberger, W. T. y J. B. Johanson 1982. Effect of pH on enzyme stability in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 14:433-437.
- Gales, M. E. y H. Booth 1974. Simultaneous and automated determination of phosphorus and total Kjeldahl nitrogen. Environmental Protection Agency. EPA-6701 4-74-002.
- Gomah, A. M. y M. A. Goma 1980. CM-Cellulase activity in soil as affected by addition of organic materials, temperature, storage and drying and wetting cycles. *Z. Pflanzenernähr Bodenkd.*, 143:349-356.
- González de C., N. 1985. Determinación de taninos condensados (compuestos fenólicos) en frutos de interés comercial. I Parte: Estudios en pulpa de café. Universidad Nacional Experimental del Táchira, 84 pp.
- Gupta, R. K. y E. Haslam 1979. Vegetable tannins. -Structure and Biosynthesis. En *Polyphenols in Cereals and Legumes*. International Development Research Center. IDRC-145e, pp. 15-24.
- Hernández, I. 1985. Contribución al estudio del balance de carbono en el suelo en un cultivo de caña de azúcar: desaparición de raíces, desaparición de hojarasca y respiración edáfica. Tesis Lic. UCV. Caracas, Venezuela, 91 pp.
- Hersman, L. E. y K. L. Temple 1979. Comparison of ATP, phosphatase, pectinolyse, and respiration as indicators of microbial activity in reclaimed coal strip mine spoils. *Soil Sci.*, 127(2):70-73.

- Jackson, M. L. 1976. Análisis Químico del suelo. 3ra. edición. Omega S. A. Barcelona, España, 682 pp.
- Jaffe, W. y D. S. Ortíz 1952. Notas sobre el valor alimenticio de la pulpa de café. Agro. (Venezuela), 23:31-37.
- Juma, N. G. y M. A. Tabatabai 1977. Effects of trace elements on phosphatase activity in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:343-346.
- Khan, S. U. 1970. Enzymatic activity in a gray wooded soil as influenced by cropping systems and fertilizers. Soil Biol. Biochem., 2:137-139.
- Khazier, F. Kh. y M. N. Burangulova 1965. Activity of enzymes which dephosphorylate organic phosphorus compounds of soil. Prikl. Biokhim. Mikrobiol., 1:373-379.
- Kiss, S., M. Dragan-Bularda y D. Radulescu 1975. Biological significance of enzymes accumulated in soil. Ad. Agron., 27:25-87.
- Kiss, S., M. Dragan-Bularda y D. Radulescu 1978. Soil polysaccharidases: activity and agricultural importancy. En: Soil Enzymes. Edit. R. G. Burns. Academic Press, pp. 117-147.
- Kong, K.T. e Y. Dommergues 1972. Limitation de la cellulolyse dans les sols organiques. II Etude des enzymes du sol. Rev. Ecol. Biol. Sol, 9(4):629-640.
- Kulinska, D., V.L.L. Camargo y A. Drozdowicz 1982. Enzyme activities in "Cerrado" soils in Brasil. Pedobiologia, 24:101-107.
- Ladd, J. N. y E. A. Paul 1973. Changes in enzymatic activity and distribution of acid-soluble amino acid nitrogen in soil during N immobilization and mineralization. Soil Biol. Biochem., 5:825-840.
- Ledel, P. 1974. Première approche a l'étude de la decomposition de la matière organique de deux Fagetum, d'un Piceetum et d'un Quercetum, a Mirwart (Ardenne Luxembourgeoise). Bull. Soc. Roy. Bot. Belge, 107:127-135.
- López Arana, M. 1966. Cambios químicos en el suelo ocasionados por adición de materia orgánica; su valor residual y su efecto sobre plántulas de café hasta un año de edad. Cenicafé (Colombia), 17(4):121-131.
- Lundergardth, A. 1927. Carbon dioxide evolution from soil and

crop growth. Soil Sci., 23:417-453.

Machado G., B. 1978. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. Ciencia & Cultura, 30(1):82-88.

Maguregui A., J. M. 1982. Actividad de las fosfatasa en la rizosfera de *Arachis hypogaea* L. (maní), en las tierras ácidas y la influencia de los suministros de materia orgánica sobre la actividad enzimática. Tesis Lic. UDO, Sucre, Venezuela, 90 pp.

Mahmoud, S. A. Z., Y. Z. Ishac, S. H. Salem y M. Z. El-Fouly 1980. Effect of urea application at different rates on the microbial activity and mineralization of urea in Egyptian soils. Zbl. Bakt. II Abt. Bd., 135:501-509.

Malagón C., D. 1982. Caracterización de suelos (interpretación integral en función de su evolución). Serie: Suelos y Clima. Mérida-CIDIAT.

Martínez B., H. H. y M. Blasco L. 1972. Influencia de los residuos vegetales en el nitrógeno de algunos suelos de cacao en Costa Rica. Turrialba, 22(3): 311-316.

Medina, E. 1969. Respiración edáfica de algunas comunidades tropicales. Bol. Soc. Venez. Cienc. Nat., 28(115/116):211-230.

Medina, E. y M. Selwer 1972. Soil respiration in tropical plant communities. En: Papers from a symposium on tropical ecology with emphasis on organic productivity. Golley, P. M. y F. B. Golley (eds). University of Georgia. Athens, pp. 245-269.

Mestre- Mestre, A. 1977. Evaluación de la pulpa de café como abono para almácigos. Cenicafé, 28(1):18-26.

Molina, M. R., G. de la Fuente, H. Gudiel y R. Bressani 1974. Pulpa y pergamino de café. VIII. Estudios básicos sobre la deshidratación de la pulpa de café. Turrialba, 24(3):280-284.

Monteith, J. L., G. Sceicz y K. Yabuky 1964. Crop photosynthesis and the flux of carbon dioxide below the canopy. J. Appl. Ecol., 1:321-327.

Nannipieri, P., R. L. Jhonson y E. A. Paul 1978. Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. Soil Biol. Biochem., 10:223-229.

- Nannipieri, P., L. Muccini y C. Ciardi 1983. Microbial biomass and enzyme activities: production and persistence. *Soil Bio. Biochem.*, 15:679-685.
- Norkrans, B. 1967. Cellulase and Cellulolysis. En: *Advances in Applied Microbiology*, 9:91-129.
- Palacios, I. 1982. Actividad ureasica en algunos suelos venezolanos. Tesis Lic. UCV. Caracas, Venezuela., 67 pp.
- Pancholy, S. K. y E. R. Rice 1973. Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase, and urease. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37:47-50.
- Parmentier, G. y J. Remacle 1976. "L'effect litière": comparaison des activités cellulolytique et protéolytique dans trois facies d'une hêtraie de haute ardenne belge. *Lejeunia. Rev. de Bot.*, 83:1-19.
- Parra H., J. 1959. El valor fertilizante de la pulpa de café. *Cenicafé*, 10(10):441-460.
- Pati, D. P., N. Behera y M. C. Dash 1983. Microbial and root contribution to total soil metabolism in a tropical grassland soil from Orissa, India. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 20(2):183-190.
- Paulson, K. N. y L. T. Kurtz 1969. Locus of urease activity in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33:897-901.
- Paulson, K. N. y L. T. Kurtz 1970. Michaelis constant of soil urease. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:70-72.
- Pettit, N. M., A. R. Smith, R. B. Freedman y R. G. Burns. 1976. Soil urease: activity, stability, and kinetic properties. *Soil Biol. Biochem.*, 8:479-484.
- Primavesi, A. 1965. Recuperación de solos improductivos por métodos biológicos. En: *Monografías I. Progresos en Biología del Suelo*. Universidad Nacional del Sur, Argentina, pp. 83-96.
- Rankov, V. y G. Dimitrov 1971. Soil phosphatase activity resulting from manuring of tomato and cabbage. *Pochvozn. Agrokhimiya*, 6:93-98.
- Ross, D. J. 1965. Effect of air-dry, refrigerated and frozen storage on activities of enzymes hydrolyzing sucrose and starch in soils. *J. Soil Sci.*, 16:86-94.

- Rubio U., J. y J. Pineda M. 1973. Composición química y digestibilidad in vitro de la pulpa de café. *Cenicafé*, 24(3):61-76.
- Sánchez, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons. New York, 617 pp.
- Sánchez, M. 1985. Actividad fosfatásica (fosfomonoesterasa) en diversos suelos de Venezuela. Tesis Lic. UCV, Caracas, Venezuela, 81 pp.
- Selwer S., M. 1969. Contribución al problema de la respiración edáfica. Tesis de Lic. ULA. Mérida, Venezuela, 45 pp.
- Siegel, S. 1970. Diseño experimental no paramétrico aplicado a las ciencias de la conducta. Edit. F. Trillas, S. A. México, 345 pp.
- Simonart, P. 1965. Role des microorganismes dans l'humification. En: Monografías I. Progresos en Biología del Suelo. Universidad Nacional del Sur, Argentina, pp. 1-10.
- Sivapalan, K., V. Fernando y M. W. Thenabadu 1983. Humified phenol-rich plant residues and soil urease activity. *Plant and Soil*, 70:143-146.
- Skujins, J. J. 1976. Extracelular enzymes in soils. *C. R. C. Crit. Microbial.*, 4:383-421.
- Speir, T. W. 1977. Studies on a climosequence of soils in tussock grasslands 10. Distribution of urease, phosphatase activities in soil fractions. *N. Z. Jl. Sci.*, 20:151-157.
- Speir, T. W. y D. J. Ross 1978. Soil phosphatase and sulphatase. En *Soil Enzymes*. Edit. R. G. Burns. Academic Press, pp. 197-250.
- Spiers, G. A. y W. P. McGill 1979. Effects of phosphorus addition and energy supply on acid phosphatase production and activity in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 11:3-8.
- Suárez de Castro, F. y A. Rodríguez G. 1955. Equilibrio de materia orgánica en plantaciones de café. *Boletín de la Federación de Cafeteros de Colombia*, 5:5-28.
- Suárez de Castro, F. 1960. Valor de la pulpa de café como abono. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. *Bol. Inf., Suplemento No. 5*, 12 pp.

- Suárez V., S. e I. F. Carrillo P. 1976. Descomposición biológica de Leguminosas y otros materiales de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 27(2):67-77.
- Swift, M. J. 1984. Soil biological processes and tropical soil fertility: a proposal for a collaborative programme of reseach. Special issue-3. The International Union of Biological Sciences. *News Magazine*, 38 pp.
- Szabo, I., Marton, M. 1965. The general dynamics and periodicity of decomposition and transformation of organic materials in the soil. En: *Monografias I. Progresos en Biologia del Suelo*. Universidad Nacional del Sur, Argentina, pp. 629-636.
- Tabatabai, M. A. y J. M. Bremner 1969. Use of p-Nitrofenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.*, 1:301-307.
- Tabatabai, M. A. y J. M. Bremner 1972. Assay of urease activity in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 4:479-487.
- Tisdale, S. y W. Nelson 1975. *Soil Fertility and Fertilizers*. Collier Macmillan. New York, 694 pp.
- Uribe H., A. 1977. Fosas para pulpa de café. *Avances Técnicos Cenicafé No. 68*.
- Voets, J. P., G. Agrianto y W. Verstraete 1975. Etude écologique des activités microbiologiques et enzymatiques des sols dans une foret de feuillus. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 12(3):543-555.
- Wanner, H. 1970. Soil respiration, litter fall and productivity of tropical rain forest. *J. Ecol.*, 58:543-547.
- Wiegert, R. G. y F. C. Evans 1964. Annual production and disappearance of dead vegetation on an old field in southeastern Michigan. *Ecology*, 45:49-63.
- Zantua, I. y J. M. Bremner 1976. Production and persistence of urease activity in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 8:369-374.

AFENDICE I

TABLA No. 1

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO BAJO MANEJO TRADICIONAL

FECHA	Na		K		Mg		Ca		Nt		P		% M.O.		C/N
	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	
11-11-84	0.0200		0.7810		0.7730		1.3400		3.15		6.95		4.02		7.43
07-12-84	0.0180		0.8140		0.5060		1.2300		2.10		16.89		3.85		10.74
12-01-85	0.0178	0.0019	0.7520	0.0876	0.6818	0.0513	0.9408	0.2646	2.46	2.322	15.31	4.86	3.70		8.76
14-02-85	0.0634	0.0068	0.0713	0.0115	0.5458	0.0736	0.4807	0.0676	1.87	0.268	65.34	6.13	3.10	0.295	9.65
28-02-85	0.0495	0.0016	0.0709	0.0048	0.5921	0.1155	0.5934	0.0705	1.82	0.332	59.33	7.24	4.47	0.445	14.29
13-03-85	0.0129	0.0015	0.0673	0.0128	0.5013	0.0850	0.3160	0.0171	1.63	0.120	22.81	1.63	4.95	0.310	17.67
15-04-85	0.0214	0.0013	0.0673	0.0077	0.6000	0.0437	0.2166	0.0087	1.77	0.170	57.76	21.23	3.42	0.438	11.24
29-05-85	0.0376	0.0009	0.3622	0.0436	0.8865	0.1174	0.6975	0.0488	2.26	0.023	68.63	15.04	3.92	0.521	10.08

TABLA No. 2

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO BAJO MANEJO CON RESIDUO DE CAFE

FECHA	Na		K		Mg		Ca		Nt		P		% M.O.		C/N
	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	
11-11-84	0.0180		1.5500		0.6290		0.8175		3.20		6.98		3.28		5.96
07-12-84	0.0166		1.5000		0.5740		0.6675		1.40		16.89		2.54		10.50
12-01-85	0.0135	0.0012	1.4500	0.3152	0.6110	0.0471	0.7492	0.1315	1.68	0.28	5.78	1.13	2.14		7.38
14-02-85	0.0623	0.0056	0.0614	0.0206	0.4845	0.1619	0.5225	0.1054	1.76	0.34	46.05	11.33	2.61	0.4610	9.28
28-02-85	0.0809	0.0055	0.0795	0.0139	0.4817	0.0952	0.5003	0.1345	2.19	0.19	48.15	13.94	3.12	0.4766	8.28
13-03-85	0.0110	0.0017	0.1004	0.0060	0.4132	0.0588	0.3155	0.0938	1.38	0.36	15.75	3.95	2.73	0.4541	15.69
15-04-85	0.0188	0.0039	0.0773	0.0096	0.4163	0.0520	0.1166	0.0321	1.29	0.20	43.36	25.00	1.83	0.3943	8.25
29-05-85	0.0404	0.0026	0.4237	0.0685	1.1180	0.1140	0.6994	0.0820	2.22	0.37	54.71	9.75	3.08	0.2901	8.06

TABLA No. 3

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO BAJO MANEJO CON FERTILIZANTE QUIMICO

FECHA	Na		K		Mg		Ca		Nt		P		% M.O.		C/N
	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	
11-11-84	0.0593		2.8800		0.7000		1.2500		2.83		13.20		4.02		8.27
07-12-84	0.0488		2.6400		0.4370		1.0000		1.96		4.47		3.48		10.32
12-01-85	0.0331	0.0162	2.2500	0.5000	0.6017	0.0731	0.7192	0.1500	2.69	0.47	11.21	3.05	4.10		8.87
14-02-85	0.0583	0.0105	0.1648	0.0849	0.5145	0.1600	0.5003	0.1233	2.02	0.20	63.16	19.89	3.35	0.41	9.65
28-02-85			0.3236	0.1134	0.4184	0.1283	0.5325	0.1408	2.51	0.51	94.14	21.10	4.19	0.85	9.70
13-03-85	0.0569	0.0126	0.3162	0.0006	0.4976	0.0841	0.6269	0.1884	2.33	0.48	22.02	9.10	5.95	0.15	14.87
15-04-85	0.0304	0.0059	0.1040	0.0317	0.3077	0.0778	0.0742	0.0248	1.78	0.29	32.35	17.17	3.33	0.33	10.86
29-05-85	0.0395	0.0040	0.5735	0.1032	1.6376	0.3468	0.6625	0.1830	2.14	0.23	73.08	10.38	3.41	0.60	9.75

AFENDICE II

TABLA No. 1

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO BAJO MANEJO TRADICIONAL

FECHA	Na		K		Mg		Ca		Mn		Pb		% M.O.		C/N
	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	
11-11-84	0.0200		0.7810		0.7730		1.3400		3.15		6.98		4.02		7.43
07-12-84	0.0180		0.8140		0.5060		1.2300		2.10		16.89		3.88		10.74
12-01-85	0.0178	0.0019	0.7520	0.0876	0.6818	0.0513	0.9408	0.2646	2.46	2.322	15.31	4.86	3.70		8.76
14-02-85	0.0634	0.0068	0.0713	0.0115	0.5458	0.0736	0.4807	0.0676	1.87	0.1481	65.34	6.13	3.10	0.227	9.65
28-02-85	0.0495	0.0016	0.0709	0.0048	0.5921	0.1155	0.5934	0.0705	1.82	0.337	59.33	7.24	4.47	0.445	14.29
13-03-85	0.0129	0.0015	0.0673	0.0128	0.5013	0.0850	0.3160	0.0171	1.63	0.120	22.81	1.61	4.95	0.310	17.07
15-04-85	0.0214	0.0013	0.0673	0.0077	0.6000	0.0437	0.2166	0.0087	1.77	0.170	57.76	21.23	3.42	0.438	11.24
29-05-85	0.0376	0.0009	0.3622	0.0436	0.8865	0.1174	0.6975	0.0488	2.26	0.023	68.63	15.04	3.92	0.521	10.08

TABLA No. 2

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO BAJO MANEJO CON RESIDUO DE CAFE

FECHA	Na		K		Mg		Ca		Mn		Pb		% M.O.		C/N
	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	
11-11-84	0.0180		1.5500		0.6290		0.8175		3.20		6.98		3.28		5.96
07-12-84	0.0166		1.5000		0.5740		0.6675		1.40		16.89		2.24		10.10
12-01-85	0.0135	0.0012	1.4500	0.3152	0.6110	0.0471	0.7492	0.1315	1.68	0.281	5.78	1.13	2.14		7.48
14-02-85	0.0623	0.0056	0.0614	0.0206	0.4845	0.1619	0.5225	0.1054	1.76	0.34	46.07	11.33	2.61	0.4610	9.28
28-02-85	0.0009	0.0035	0.0795	0.0139	0.4817	0.0852	0.5003	0.1345	2.19	0.14	48.15	13.94	3.12	0.4766	8.25
14-03-85	0.0110	0.0017	0.1004	0.0060	0.4132	0.0588	0.3135	0.0938	1.83	0.36	15.75	3.95	3.73	0.4541	15.64
15-04-85	0.0188	0.0039	0.0773	0.0096	0.4163	0.0520	0.1166	0.0321	1.29	0.20	43.36	25.00	1.83	0.343	8.37
29-05-85	0.0404	0.0026	0.4237	0.0685	1.1180	0.1140	0.6894	0.0820	2.22	0.37	54.71	9.75	3.08	0.2901	8.36

TABLA No. 3

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL SUELO BAJO MANEJO CON FERTILIZANTE QUIMICO

FECHA	Na		K		Mg		Ca		Mn		Pb		% M.O.		C/N
	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	X	E.S.	
11-11-84	0.0593		2.8900		0.7000		1.2500		2.83		17.20		4.02		8.27
07-12-84	0.0488		2.6400		0.4370		1.0000		1.96		4.47		3.48		10.12
12-01-85	0.0311	0.0162	2.2500	0.5000	0.6017	0.0731	0.7192	0.1500	2.69	0.47	13.21	3.05	4.10		8.82
14-02-85	0.0583	0.0105	0.1648	0.0849	0.5145	0.1600	0.5003	0.1233	2.02	0.20	63.16	19.89	3.35	0.41	9.91
28-02-85	0.3236	0.1134	0.3236	0.1134	0.4184	0.1263	0.5325	0.1408	2.51	0.51	94.14	21.10	4.19	0.81	9.73
13-03-85	0.0549	0.0126	0.3162	0.0006	0.4976	0.0841	0.6269	0.1884	2.33	0.48	22.02	9.10	5.95	0.15	14.87
15-04-85	0.0304	0.0059	0.1040	0.0317	0.3077	0.0778	0.0742	0.0248	1.78	0.29	37.35	17.17	3.33	0.33	10.86
29-05-85	0.0335	0.0040	0.5735	0.1032	1.6376	0.3468	0.6625	0.1830	2.14	0.23	71.08	10.88	3.41	0.60	9.15

AFENDICE III

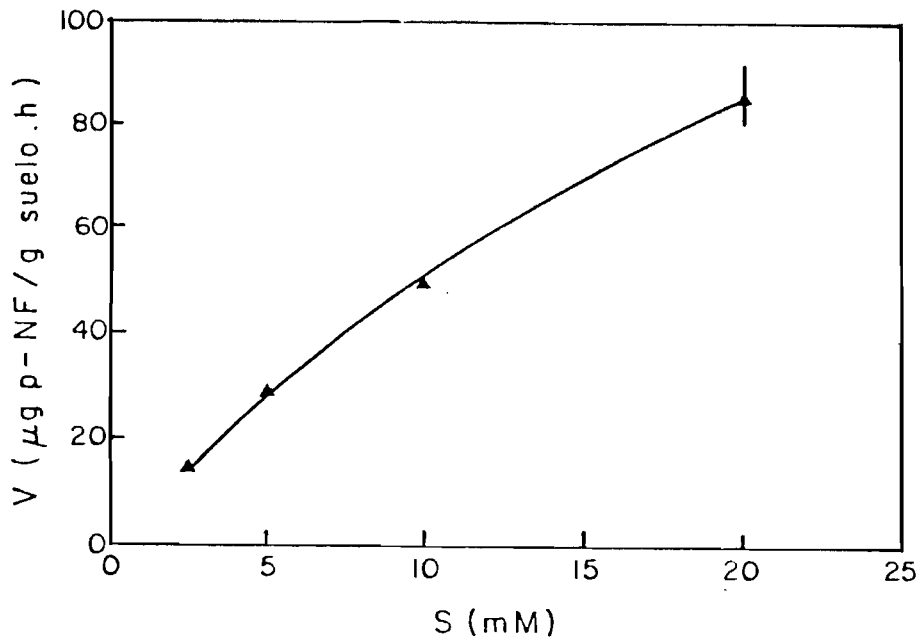


Fig 1.- Efecto de la concentración del sustrato (S) sobre la actividad fotostática (V) a 37°C y 1 h de incubación.

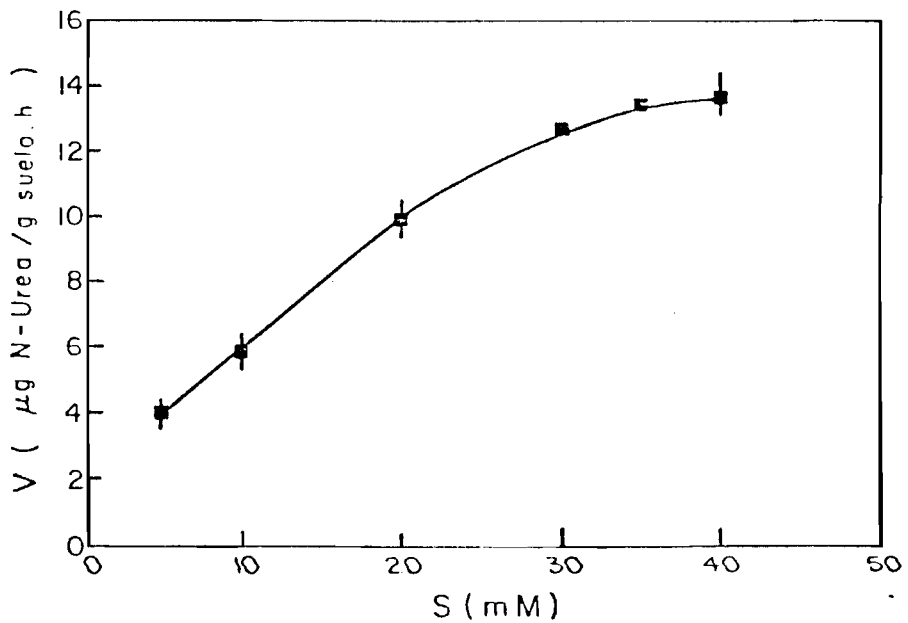


Fig. 2.- Efecto de la concentración del sustrato (S) sobre la actividad ureásica (V) a 37°C y 24 h de incubación.