

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

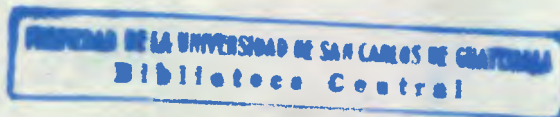
"DETERMINACION DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EXISTENTES
EN LA PULPA DE CAFE SOMETIDA A DEGRADACION ENZIMATICA
(STUBBLE DIGESTER)* PARA SU UTILIZACION COMO
ABONO ORGANICO"

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA

POR
JULIO ERNESTO LEE PAZOS
EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO
EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Junio de 1990.



D.L.
01
T(1241)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Aníbal B. Martínez Muñoz
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez Gómez
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. Efraín Medina
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Wotzbelí Méndez Estrada
VOCAL CUARTO:	Br. Julio López Madonado
VOCAL QUINTO:	P. Agr. Hernán Perla González
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Guatemala,
14 de Marzo de 1990.

Ingeniero Agrónomo
Hugo A. Tobías, Director
Instituto de Investigaciones Agronómicas,
Su Despacho.

Estimado Ingeniero Tobías:

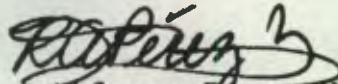
Adjunto a la presente sirvase encontrar el informe final revisado del trabajo de tesis: "Determinación de macro y micronutrientes existentes en la pulpa de café sometida a degradación enzimática (Stubble Digester) para su utilización como abono orgánico", que fuera desarrollado por el Estudiante Julio Ernesto Lee Pazos.

Afirmo que los resultados que se reportan en este informe, corresponden exactamente a los que se obtuvieron en la parte experimental del trabajo de tesis y que las sugerencias y observaciones que se sirvieron indicar los Señores Evaluadores de los Seminarios de Tesis I y II están incorporadas.

Por el hecho de haber asesorado este trabajo desde su inicio, por la dedicación y cuidado demostrados por el Señor Lee Pazos en la ejecución del mismo y considerando que además de cumplir con todas las exigencias de una tesis de grado, aporta nuevas experiencias a la utilización de uno de los subproductos del cultivo del café, lo recomiendo para su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Lic. Romeo Alfonso Pérez Morales, Q.B.

ASESOR

RAPM/oe.

cc. Archivo

Señor Lee Pazos.

Guatemala, Marzo de 1990

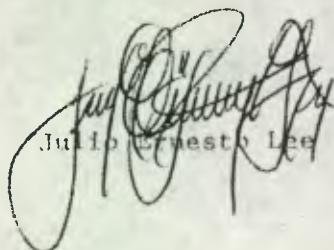
Ingeniero Agrónomo
Hugo Tobías
Director
Instituto de Investigaciones Agronómicas
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero:

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado: "Determinación de macro y micronutrientes existentes en la pulpa de café sometida a degradación enzimática (Stubble Digester) para su utilización como abono orgánico".

Esperando contar con la aprobación del mismo.

Atentamente,


Julio Ernesto Lee Pazos.

TESIS QUE DEDICO

A: Guatemala.

A: Instituto Técnico de Agricultura.

A: Facultad de Agronomía, USAC.

A: Laboratorio de la Asociación Nacional del Café.

AGRADECIMIENTOS

- A: Mi Asesor
Lic. Romeo Alfonso Pérez Morales
Por su valiosa orientación en la presente
investigación.
- A La Asociación Nacional del Café.
Especialmente al Ing. Agr. Arturo Villeda S.
Por brindarme su apoyo y recursos necesarios
para llevar a cabo esta investigación.
- A Mis Compañeros:
Rodrigo Chong
Abel García
Enrique Piox
Héctor López
Mynor Velásquez
Henry Ordoñez

Por su valiosa y desinteresada colaboración
para el presente trabajo.

CONTENIDO

	<u>PAGINA</u>
Indice de gráficas.	
Indice de cuadros.	
I. Introducción.	01
II. Hipótesis.	04
III. Objetivos.	05
IV. Revisión de literatura.	06
1. Beneficiado del grano de café.	06
2. Composición química de los subproductos del café.	17
3. Usos de la pulpa de café.	23
4. Mecanismo de degradación enzimática de la celulosa y hemicelulosa.	34
5. Digestor enzimático "Stubble Digester".	38
V. Materiales y Métodos.	39
1. Ubicación geográfica de la investigación.	39
2. Materiales.	39
3. Descripción del trabajo de investigación.	39
4. Metodología del experimento.	40
5. Registro de la información.	44
VI. Resultados.	45
VII. Discusión de resultados.	56
VIII. Conclusiones.	62
IX. Recomendaciones.	64
X. Bibliografía.	65
XI. Anexos.	67

INDICE DE GRAFICAS

<u>NUMERO</u>		<u>PAGINA</u>
01	Beneficio húmedo tradicional.	07
02	Beneficio húmedo operado con recirculaciones de agua y separación de pulpa en seco.	08
03	Beneficio húmedo operado con recirculaciones de agua y separación de pulpa en seco.	09
04	Etapas sucesivas en un beneficio típico.	13
05	Ilustración del fruto del café.	14
06	Subproductos del beneficio del café y sus proporciones aproximadas.	15
07	Posibles usos de los subproductos del café con tecnología conocida.	16
08	Recuperación de pulpa y recirculación de agua de despulpado.	24
09	Procesamiento de pulpa de café y rutas alternas de utilización.	25
10	Posibilidades para el uso de los subproductos del café.	25
11	Comportamiento del fósforo.	69
12	Comportamiento del potasio.	70
13	Comportamiento del calcio.	71
14	Comportamiento del zinc.	72

INDICE DE GRÁFICAS

<u>NUMERO</u>		<u>PAGINA</u>
15	Comportamiento del manganeso.	73
16	Comportamiento del hierro.	74
17	Comportamiento del magnesio.	75
18	Comportamiento del pH.	76
19	Comportamiento del volumen de los promontorios de pulpa de café.	77
20	Comportamiento de la temperatura de los promontorios de pulpa de café.	78

INDICE DE CUADROS

<u>NUMERO</u>		<u>PAGINA</u>
01	Usos de los subproductos del café.	12
02	Composición química del mucílago del café.	17
03	Composición química del pergamino del café.	18
04	Composición química de la pulpa de café.	19
05	Contenido de otros compuestos en la pulpa de café.	20
06	Contenido de cenizas y minerales en la pulpa de café.	20
07	Constituyentes de paredes celulares y polisacáridos estructurales en la pulpa de café.	21
08	Contenido de aminoácidos en la proteína de la pulpa de café.	22
09	Composición química porcentual de diferentes fertilizantes orgánicos	29
10	ANDEVA para el fósforo.	45
11	Prueba de Tuckey para fósforo.	46
12	ANDEVA para el potasio.	46
13	Prueba de Tuckey para el potasio.	47

INDICE DE CUADROS

<u>NUMERO</u>		<u>PAGINA</u>
14	ANDEVA para el calcio.	47
15	Prueba de Tuckey para calcio.	48
16	ANDEVA para el zinc.	48
17	ANDEVA para el manganeso.	49
18	Prueba de SNK para manganeso.	50
19	ANDEVA para el hierro.	50
20	Prueba de SNK para hierro.	51
21	ANDEVA para el magnesio.	51
22	Prueba de SNK para el magnesio.	52
23	ANDEVA para el pH.	52
24	Prueba de Tuckey para pH.	53
25	ANDEVA para el volumen.	53
26	ANDEVA para la temperatura.	54
27	Contenidos de nitrógeno.	79

DETERMINACION DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EXISTENTES EN LA PULPA DE CAFE SOMETIDA A DEGRADACION ENZIMATICA (STUBLE DIGESTER) PARA SU UTILIZACION COMO ABONO ORGANICO.

ESTABLISHMENT OF MACRO AND MICRONUTRIENTS EXISTING IN COFFE PULP SUMMITED TO ENZIMATIC BIODEGRADATION (STUBLE DIGESTER)* TO BE OF USE FOR ORGANIC FERTILIZER.

RESUMEN

El cultivo de café ocupa una posición especial en el comercio y en la economía internacional. Dado a dicha importancia, en la actualidad se invierten recursos humanos y monetarios con el fin de mejorar las técnicas de cultivo y de procesamiento del café, así como la utilización integral de sus subproductos. En Guatemala, como en México, Colombia y Centro América se practica el proceso de beneficiado húmedo, en el cual se obtienen varios subproductos del café, dentro de los cuales la pulpa ocupa el mayor volumen, la cual ha tenido una mala utilización o una subutilización. Para su utilización se ha seguido un proceso lento de descomposición, acarreando también problemas de contaminación ambiental.

En el presente trabajo se sometió la pulpa de café a tres métodos de descomposición; el primero, aplicación de un producto enzimático; el segundo, volteo semanal; y el tercero, el cual fué el testigo no se le hizo tratamiento alguno. Cada tratamiento o método tuvo ocho repeticiones, es decir, que se muestrearon 24 unidades experimentales de aproximadamente 10 quintales de pulpa de café cada una; las cuales se analizaron en un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial. Los parámetros cuantificados fueron: elementos nutricionales, pH, altura, diámetro, temperatura y obser-

vaciones visuales de los promontorios de pulpa.

Se observó que la pulpa de café posee cantidades aceptables de los elementos evaluados, ya que sobrepasaron los niveles críticos de un suelo.

En cuanto a los parámetros volumen, pH y temperatura de los promontorios de pulpa de café, se marcó un comportamiento similar, ya que con el inicio de la descomposición se mostró un cambio drástico en los niveles, que luego se estabilizaron al finalizar el proceso.

En todos los parámetros evaluados el tratamiento con enzima y el testigo mostraron similar comportamiento, demostrándose así, que la enzima únicamente actúa sobre la velocidad de descomposición y no sobre las características del sustrato. A excepción, en las observaciones visuales, donde el tratamiento con enzima mostró un mejor aspecto y olor en la trayectoria de la investigación.

- * La mención del nombre comercial del producto en este informe, no implica bajo ninguna circunstancia, aprobación o recomendación alguna por parte del autor y asesor del presente trabajo, ni de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



I. INTRODUCCION

El cultivo del café no es uno de los principales cultivos agrícolas en cuanto a extensión, pero debido a su elevado porcentaje de producción mundial, por ende en el comercio internacional, lo coloca en un lugar particular en la economía mundial.

En el período comprendido entre los años 1985 y 1986, se reportó en Guatemala una exportación por un total de 3.942,936.11 quintales de café oro, lo que significó un ingreso por concepto de divisas al país de 491.135,583.27 millones de dólares de los Estados Unidos de América.

Dada la importancia de la exportación del grano de café para la economía de Guatemala, se invierten actualmente abundantes recursos humanos y monetarios, con el objeto de mejorar las técnicas de cultivo y los sistemas de procesamiento en húmedo y la utilización integral de los subproductos.

En Guatemala se practica el proceso de beneficiado húmedo, el cual consta, por lo general, de los procesos de Clasificación del grano por densidad o tamaño, despulpado, fermentación, lavado y secado del mismo. La principal diferencia en este proceso entre Guatemala y otros países como El Salvador y Costa Rica radica en el número de instalaciones destinadas para el beneficiado. En 1982, El Salvador con una producción de 3.130,434.8 quintales de café oro, contaba con 35 centrales; Costa Rica con 2.608,695.7 quintales de café oro, contaba con 103 centrales; mientras que en Guatemala con una producción de 2.980,434.8 quintales de café oro contaba con alrededor de 3,000 beneficios. Ello demuestra la dificultad que existe en nuestro país, de poder realizar un control de calidad y sanidad sobre el proceso del beneficiado del café y sus subproductos.

En el proceso anteriormente descrito se obtienen varios subproductos del café, como lo son: la pulpa, el agua de despulpado, el agua del lavado, y la cascarilla; que a menudo son descargados en ríos u otros recursos hidrológicos, limitándose así, las fuentes de agua potable y destruyendo diferentes tipos de vida por contaminación.

Otras industrias almacenan la pulpa en pilas cercanas a los sitios de procesamiento, generando medios propicios para el crecimiento de insectos y producción de malos olores con consecuencias de peligros para la salud de poblaciones vecinas. Se puede decir que una tonelada de pulpa genera una contaminación equivalente a 270 metros cúbicos de aguas negras domésticas. Este problema de contaminación es mas leve o pasa desapercibido en zonas con abundante precipitación pluvial y en los ríos que llevan grandes afluentes; pero se agudiza en zonas donde la producción de café es abundante y la cosecha coincide con el verano como ocurre en la zona oriental del país.

El desecho principal del beneficiado húmedo del café, es la pulpa (el epicarpio y gran porcentaje del mesocarpio del fruto), el cual es el mas voluminoso y fuerte contaminante del proceso, representando más o menos el 40 por ciento en peso de la fruta. Es decir, que si la producción total en Guatemala en 1986 ascendió a 24.396,918 quintales de café cereza, 9.758,767 quintales fueron de pulpa de café; lo que nos da la idea de la gran cantidad de materia prima que no se utiliza o se subutiliza. Sin embargo, la pulpa es fácilmente recuperable del proceso, por medio de trampas separando el agua de arrastre y dejando la pulpa en seco.

Uno de los objetivos de la industrialización de los subproductos del café, es el de proporcionar valor agregado a la producción; o sea la utilización de materias primas existentes (subproductos), para obtener de ellas una diversificación de la producción, sin --

ningún costo adicional, mas que el de la inversión industrial, sin cambiar la trayectoria cultural de nuestro país.

A la fecha, se han hecho estudios para la utilización de la pulpa, experimentándose como posible medio para crecimiento de hongos (microorganismos), producción de gas biológico, alimentación de ganado, producción de melaza, materia prima de combustión y como fertilizante orgánico.

Para el posterior uso de la pulpa como abono orgánico, es una práctica muy común el hacer fosas para enterrarla, pero en estas condiciones su descomposición es lenta, pudiendo tardar muchos meses, lo que ocurre también en los promontorios a la interperie. Un mejor aprovechamiento de la pulpa de café como abono orgánico, requiere de métodos que aceleren su descomposición; con relación a ésta necesidad se ha investigado con aireación forzada, el tratamiento con microorganismos fermentadores, y la hidrólisis enzimática, que consiste en aplicar enzimas que actúen sobre la celulosa.

El constante aumento de la población requiere de una mayor productividad de alimentos, incrementándose así una mayor demanda de fertilizantes; de los cuales se dificulta su adquisición, debido, entre otros factores, a la escasez y carestía de la roca fosfórica, los efectos especulativos del mercado y el incremento en los costos de transporte.

Por el panorama planteado anteriormente, se justifica el aprovechamiento de la pulpa de café como abono orgánico, tendiente a reducir la dependencia de los fertilizantes químicos y su importación. Es por ello que el presente trabajo pretende medir el tiempo de descomposición de la pulpa de café en la zona de Barberena, Santa Rosa, así como su reducción por medio de la degradación enzimática y por volteo de los promontorios de pulpa, para su utilización a corto plazo como abono orgánico en los cafetales.

II. HIPOTESIS

1. No existe diferencia significativa en el tiempo necesario para la descomposición natural y el requerido en la utilización de un producto enzimático en la pulpa de café.
2. El contenido de potasio, fósforo, calcio, magnesio, manganeso, nitrógeno, zinc, hierro y la relación carbono/nitrógeno, en el abono orgánico proveniente de la descomposición natural y de la descomposición enzimática acelerada no presentan diferencias significativas.

III. OBJETIVOS.

1. GENERAL:

Cuantificar los macro y micronutrientes del abono orgánico proveniente de la degradación enzimática de la pulpa de café.

2. ESPECIFICOS:

- 2.1. Determinar el tiempo de descomposición de la pulpa de café, utilizando la degradación enzimática.
- 2.2. Cuantificar las cantidades presentes de nitrógeno, fósforo y potasio.
- 2.3. Cuantificar las concentraciones de zinc, calcio, hierro, magnesio y manganeso.

IV. REVISION DE LITERATURA.

1. BENEFICIADO DEL GRANO DE CAFE.

El sistema de beneficiado que se utiliza en Guatemala, es el que se realiza por vía húmeda, produciendo los tipos de café que se conoce en el mercado como "lavados o suaves"; éste es el practicado en México, Centro América y Colombia. A diferencia de Brasil, donde se utiliza el sistema de beneficio por vía seca, donde se obtienen los tipos de café denominados "naturales o fuertes"; los cuales no llevan proceso alguno, o sea, que el fruto completo pasa directamente del corte o recolección al secamiento.

En Guatemala, el control de calidad de este proceso se dificulta, ya que el beneficio por lo general se da a nivel de fincas productoras, dando como resultado el gran número de beneficios en el país. Este fenómeno puede tener su origen en costumbres, distancia (ubicación y topografía de los lugares de producción), celos, desconfianza y otros factores; pero es indudable que en el futuro deberá de hacerse lo posible por construir centrales de beneficio, donde las condiciones lo permitan, logrando así la reducción en los costos y mayor homogeneidad en la calidad del producto final. (11,14).

En la Gráfica No. 1, se puede apreciar el beneficio húmedo tradicional, mientras que en las Gráficas No. 2 y 3 se observa este mismo proceso, pero con modificaciones para la recuperación de pulpa.

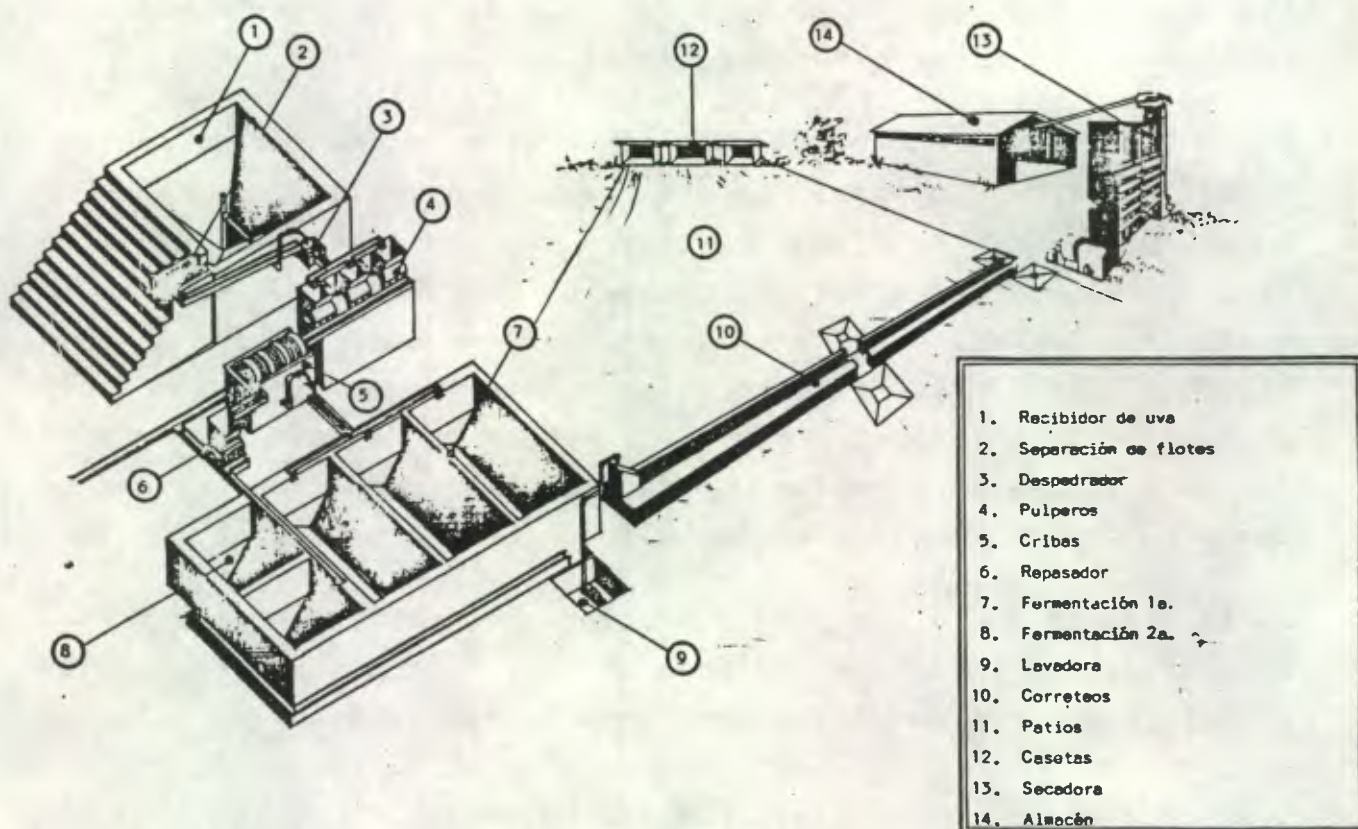
1.1. Etapas del beneficiado por vía húmeda:

1.1.1. Despulpado:

Es la separación o remoción de la pulpa (epicarpio y parte

del mesocarpio) por medio de aparatos que a base de presión separan los granos de café de la pulpa, aprovechando la cualidad lubricante del mucílago del café. La pulpa es arrastrada por la corriente de agua hasta su desalojo, y es aquí donde se pueden instalar las "trampas" para recuperar por aparte el agua y por aparte la pulpa. (11).

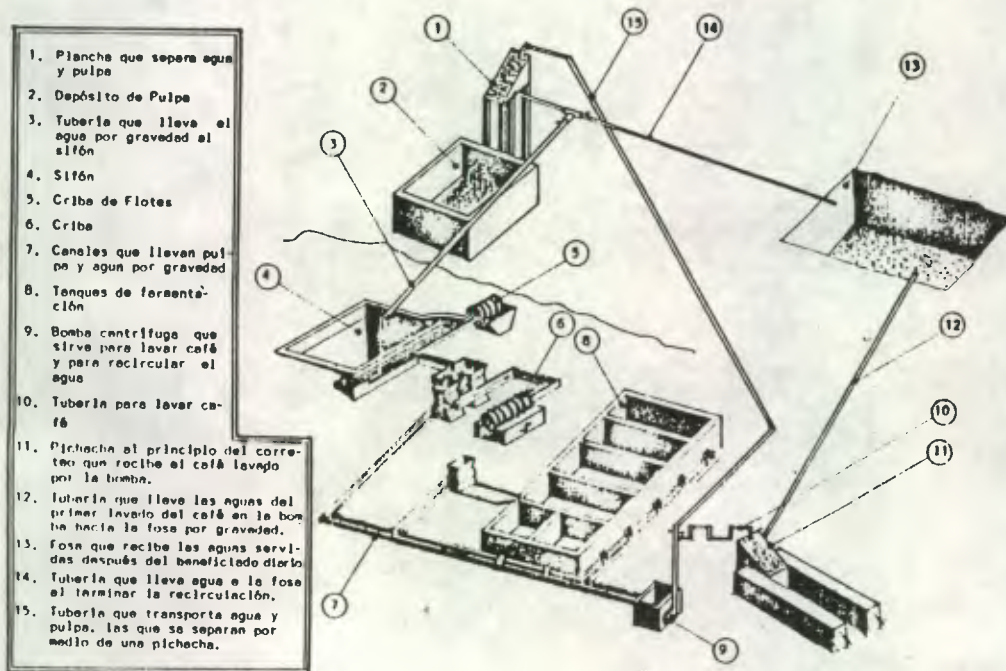
Gráfica No. 1.



Beneficio húmedo tradicional.

Fuente: RODAS, et al. (14).

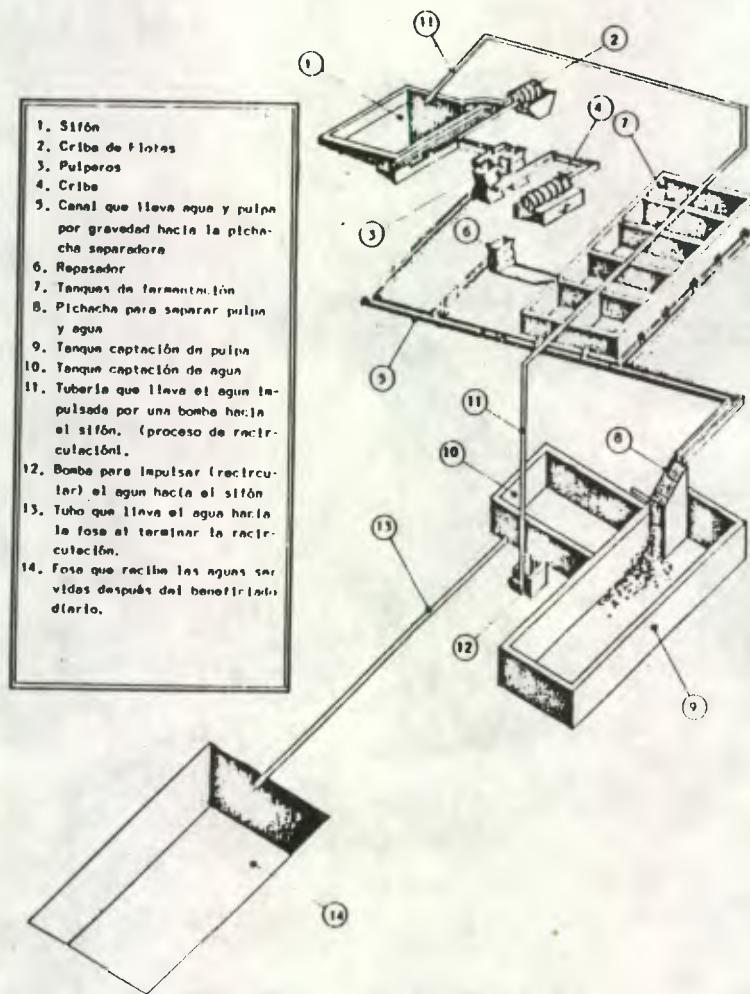
Gráfica No. 2.



Beneficio húmedo operado con recirculaciones de agua y separación de pulpa en seco.

Fuente: Rodas, et al (14).

Gráfica No. 3.



Beneficio húmedo operado con recirculación de agua y separación de pulpa en seco.

Fuente: Rodas, et al. (14)

1.1.2. Fermentación:

Es el proceso por medio del cual se elimina la miel o mucílago del grano de café recién despulpado. Esta fase es la más delicada del proceso de beneficiado húmedo, ya que es aquí donde se mantiene o deteriora la calidad del café.

En este proceso actúan enzimas propias del grano y otras producidas por microorganismos, que producen la degradación de las pectinas y otras substancias pécticas complejas a ácido galacturónico. Además, los azúcares presentes son fermentados por microorganismos, produciendo alcohol y después ácidos orgánicos. (Carbonel, Villanova, Wilboux, Rolz; citados por Rodas, 14). Por la formación de estos ácidos, el pH de la masa durante el proceso desciende de más o menos 6 hasta aproximadamente 4. La actividad enzimática es fuertemente acelerada por la temperatura, en una relación directa. Es indudable que en el proceso intervienen también otros factores, como: variedad del café, morfología del grano, calidad del agua, etc.

1.1.3. Lavado:

Es la operación por medio de la cual se eliminan los materiales sueltos y los residuos del mucílago, así como las substancias solubles formadas durante la fermentación, con el objeto de obtener un pergamino áspero, muy blanco y sin restos de "miel" en la hendidura del grano. Para ésta fase es indispensable utilizar agua limpia. (11, 12).

1.1.4. Secado:

Al terminar el lavado, el café posee aproximadamente 55 por ciento de humedad sobre la base húmeda, por lo que se necesita eli-

minar esa agua. Por lo general, en Guatemala, este secamiento se lleva a cabo en patios al sol, hasta que el grano alcance entre el 9 y el 13 por ciento de humedad; para luego poder almacenarlo, venderlo o trillarlo.

Estas fases explicativas, se pueden apreciar en una mejor forma en la Gráfica No. 4, donde se hace una descripción desde que el café se recibe en el sifón hasta su salida del secamiento.

1.2. El grano del café:

En la Gráfica No. 5, se puede observar el grano del café, con sus distintas partes, que se resumen en pulpa y semilla o pergamino.

1.3. Productos y subproductos del café:

Durante el proceso del beneficiado, ocurre una separación de las partes que componen el grano de café. De donde se obtiene como producto final el café oro en un 20 por ciento; y como subproductos, la pulpa en un 40 por ciento, el mucílago 20 por ciento, el agua de secado 15 por ciento y la cascarilla en un 5 por ciento.

En la Gráfica No. 6, se observa estos subproductos y producto, sus proporciones aproximadas y algunos de sus usos.

1.4. Posibilidades del uso de los subproductos del café:

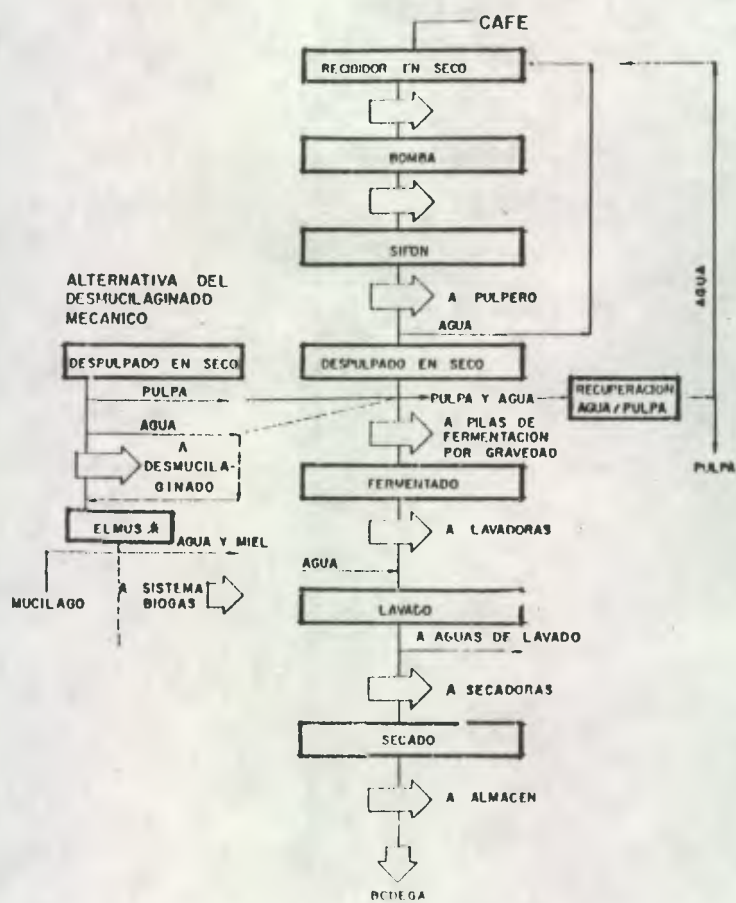
Algunos de los usos que se les han dado a estos subproductos del café, se observan en el Cuadro No. 1 y la Gráfica No. 7.

Cuadro No. 1. Usos de los subproductos del café.

Subproducto	Aprovechamiento	Producto y uso
PULPA	- agrícola	abono, compuesto de abono, etc.
	- alimentación	proteínas y forrajes.
	- industrial	cafeína, taninos, alcohol, etc.
MUCILAGO	- alimentación	levaduras y azúcares.
	- industrial	pectinas, ácido péctico, melaza, alcohol, etc.
PERGAMINO O CASCARILLA	- industrial	furfural, celulosa, plásticos, etc.
	- alimentación	raciones balanceadas para alimento de ganado y aves.

Fuente: INCAP (12).

Gráfica No. 4.



Etapas sucesivas en un beneficio típico.

Fuente: Rodas. (14).

Gráfica No. 5.

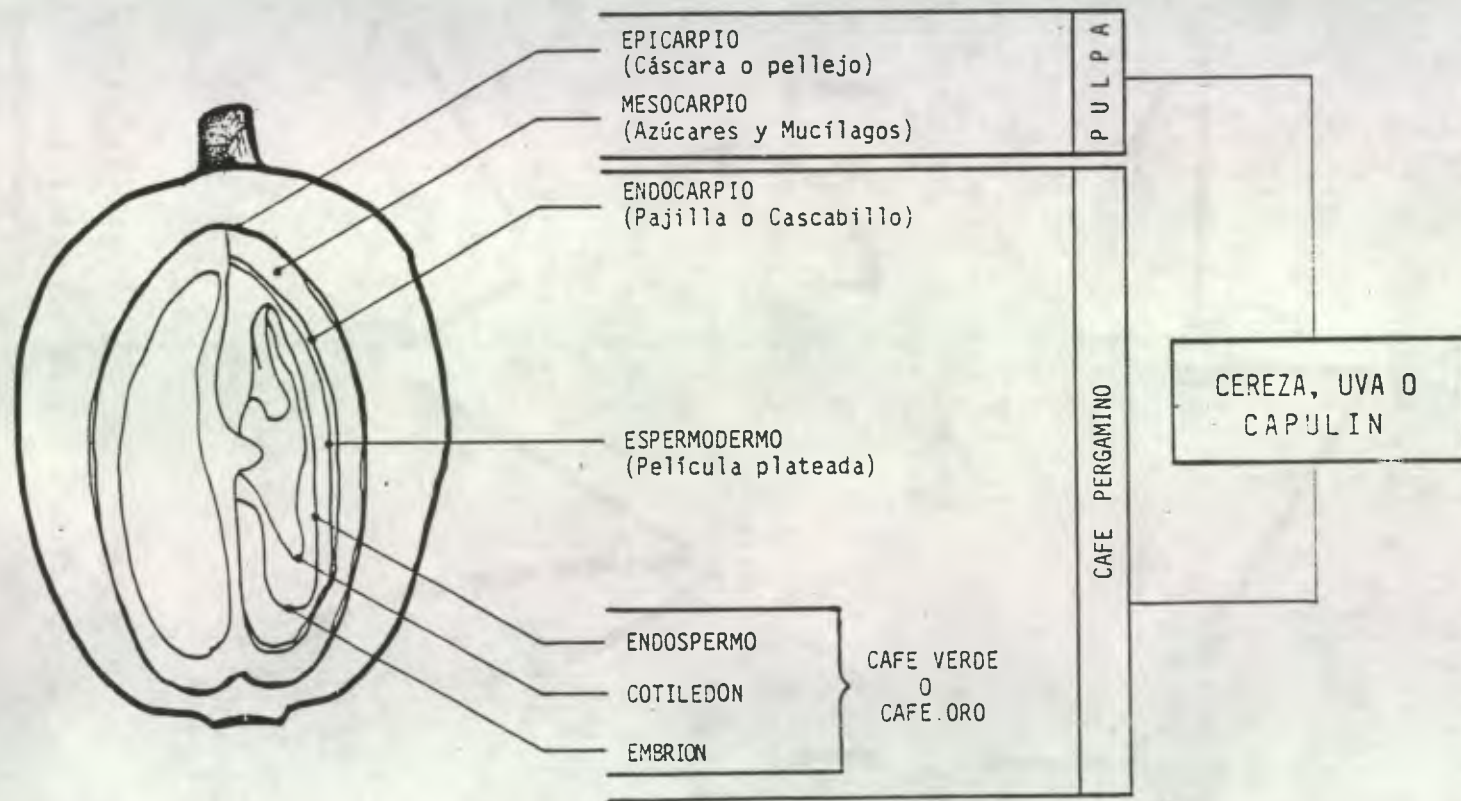
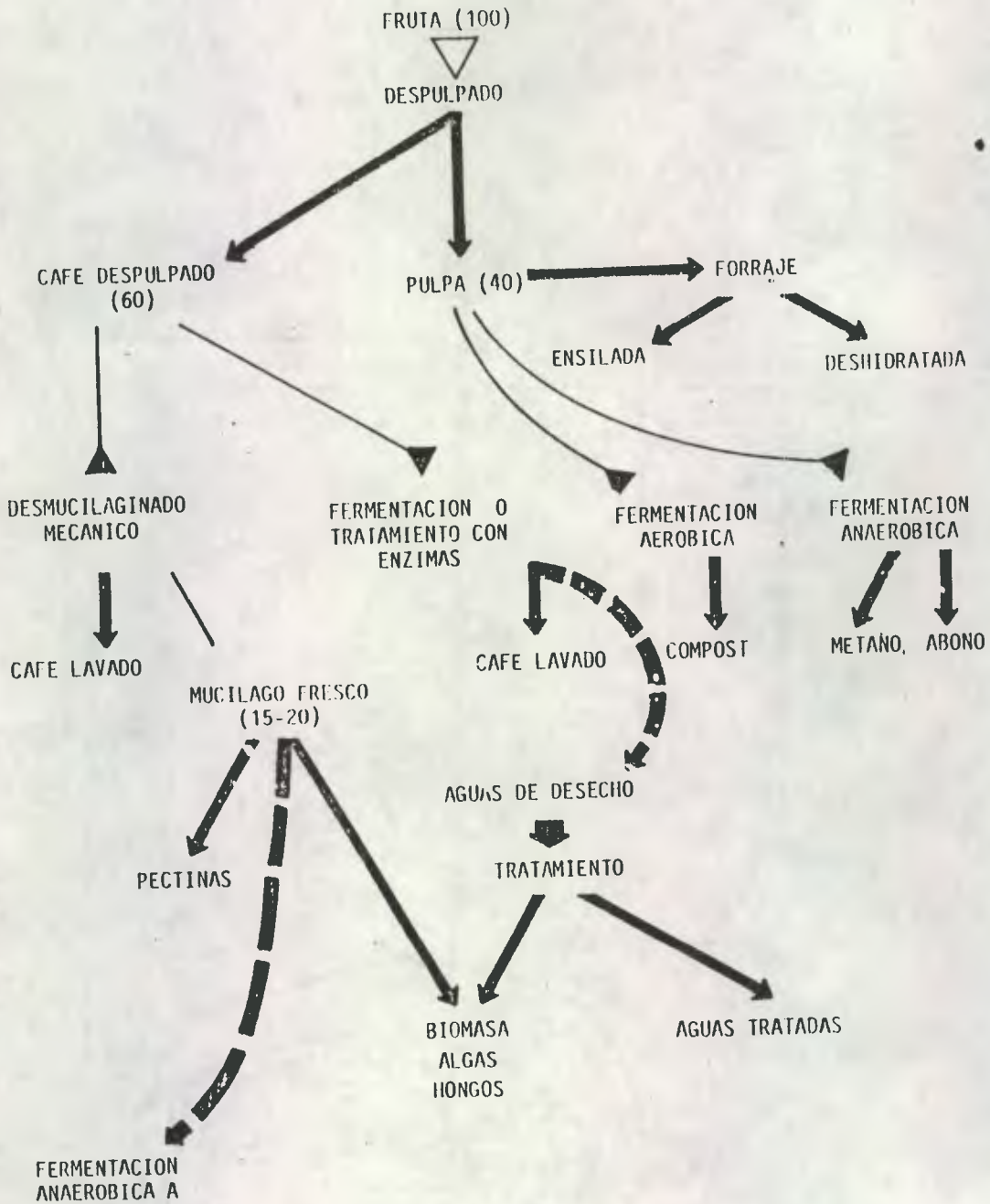


Ilustración del fruto del café.

Fuente: RODAS, et al. (14).

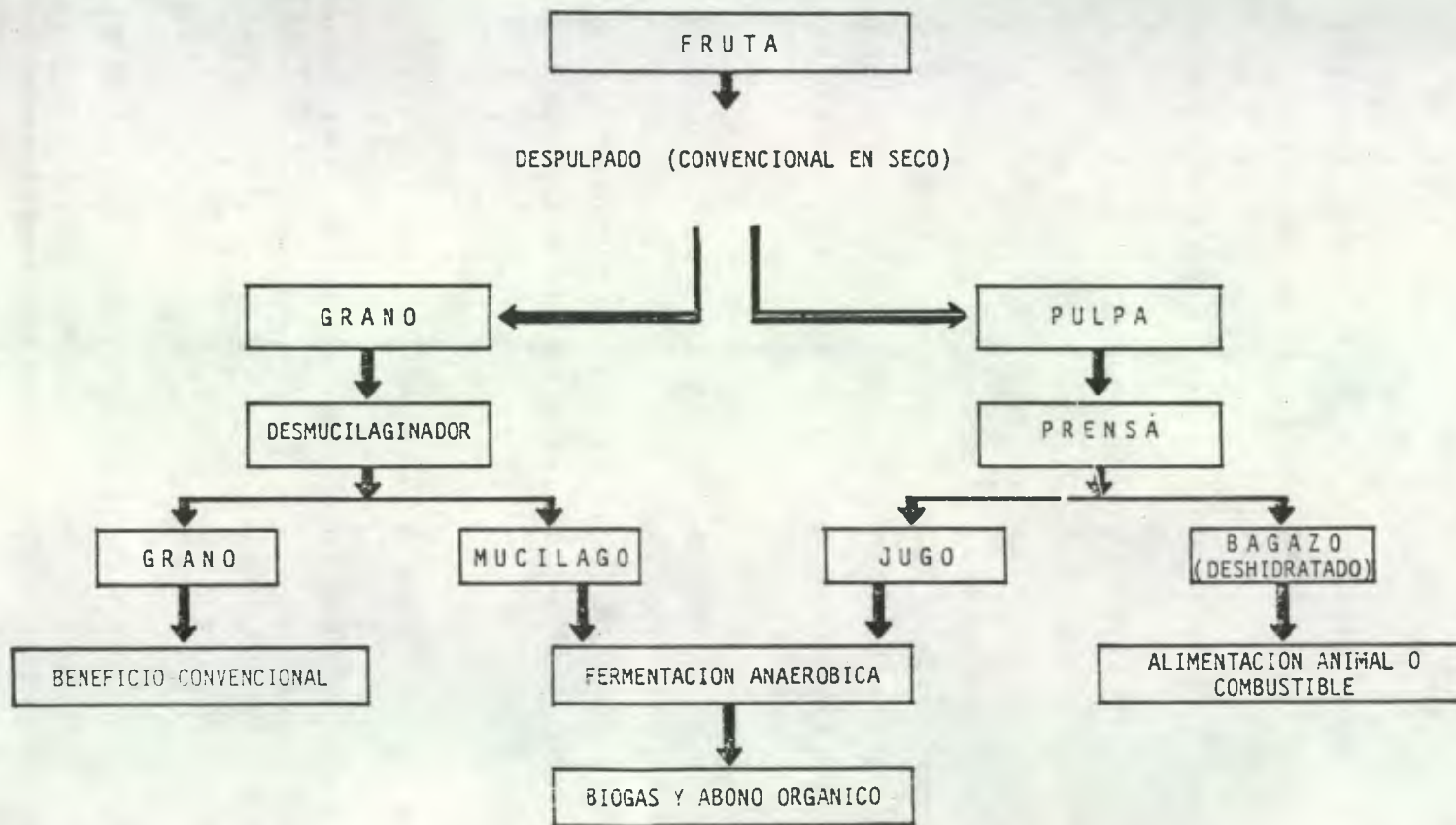
Gráfica No. 6.



Subproductos del beneficio de café y sus proporciones aproximadas.

Fuente: RODAS, et al. (14).

Gráfica No. 7.



Posible usos de los subproductos del
café con tecnología conocida.

Fuente: RODAS, et al. (14)

2. COMPOSICION QUIMICA DE LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFE.

2.1. Mucílago del café:

En su composición química, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos. Durante la maduración del grano de café, el pectato de calcio, localizado en la laminilla media y la protopectina de la pared celular, son convertidos en pectinas.

Las sustancias pécticas totales pueden alcanzar valores de hasta 39 por ciento, con un valor promedio de 35.8 por ciento. Las celulosas más las cenizas alcanzan un 17 por ciento y el total de azúcares en su forma reductora, alcanzan 90 por ciento. (07). Otros investigadores (Nadal, 1959, citado por Elías, 07), indican una composición de 84.2 por ciento de agua, 8.9 por ciento de proteína, 4.1 por ciento de azúcar, 0.91 por ciento de ácido péctico y 0.7 por ciento de ceniza.

Aparentemente, el mucílago no contiene taninos ni cafeína, pero contiene enzimas pectinolíticas, las cuales no han sido perfectamente identificadas; pero parecen ser muy importantes en la fermentación que ocurre durante el procesamiento del café. (Wilbaux, 1956, citado por Luiz Elías, 07).

Cuadro No. 2. Composición química del mucílago del café.

COMPUESTO	PORCENTAJE
Sustancias pécticas totales	35.8
Azúcares totales	45.8
Azúcares reductores	30.0
Azúcares no reductores	20.0
Celulosa + cenizas	17.0

2.2. Pergamino del café:

El pergamino representa alrededor del 12 por ciento del grano de café en base seca. Su composición química, se observa en el Cuadro No. 3, donde comparada con el olote de maíz y la de la cascarrilla de algodón, se ve su gran contenido de fibra cruda. (07).

Cuadro No. 3. Composición química del pergamino del café.
(En porcentaje).

COMPONENTE	PERGAMINO DEL CAFE	OLOTE DE MAIZ	CASCARILLA DE ALGODON	SEMILLA
Humedad	7.6	8.1	10.4	
Materia seca	92.8	91.9	89.6	
Grasa	0.6	0.9	1.1	
Nitrógeno	0.39	0.39	0.58	
Cenizas	0.5	1.6	2.5	
Extracto libre de N	18.9	48.1	56.7	
Ca, Mg	150.0	765.0	160.0	
P, Mg	28.0	274.0	80.0	

2.3. Pulpa de café:

Como se observa en el Cuadro No. 4, la pulpa posee un alto porcentaje de agua, lo que dificulta su utilización desde el punto de vista de transporte, manejo, procesamiento y su uso directo en la alimentación animal; pero ya deshidratada contiene cerca del 10 por ciento de proteína cruda, 21 por ciento de fibra cruda, 8 por ciento de cenizas y 4 por ciento de extracto libre de N. (07,15).

Cuadro No. 4. Composición química de la pulpa de café.
(En porcentaje).

COMPONENTE	FRESCA	DESHI- DRATADA	FERMENTADA NATURALMENTE y DESHIDRATADA
Humedad	76.7	12.6	7.9
Materia seca	23.3	87.4	92.1
Extracto etéreo	0.48	2.5	2.6
Fibra cruda	3.4	21.0	20.8
Proteína cruda N x 6.25	2.1	11.2	10.7
Cenizas	1.5	8.3	8.3
Extracto libre de N	15.8	44.4	49.2

La composición proximal de la pulpa de café puede variar, esto puede ser debido a las distintas variedades, a su origen, procesamiento de las muestras, métodos analíticos utilizados, altura sobre el nivel del mar de la producción y la época de la cosecha. (1).

La pulpa posee otros compuestos orgánicos de interés (Ver Cuadro No. 5), con respecto a su uso potencial como materia prima para su uso industrial y formulación de dietas para animales (07, 15), cuyos valores pueden variar. Los valores promedios se indican en el Cuadro No. 5.

Cuadro No. 5. Contenido de otros compuestos en la pulpa de café.

COMPUESTO	% BASE SECA
Taninos	1.80 - 8.56
Sustancias pécticas totales	6.5
Azúcares reductores	12.4
Azúcares no reductores	2.0
Cafeína	1.3
Acido clorogénico	2.6
Acido caféico total	1.6

Otros autores (07, 15), citan contenidos en base seca de 0.77 por ciento de cafeína, 1.85 por ciento de taninos, 0.6 por ciento de ácido clorogénico y 0.24 por ciento de ácido caféico. La fracción de cenizas en la pulpa de café, contiene los minerales presentados en el Cuadro No. 6, en el cual se dan sus promedios. Se puede observar principalmente el alto contenido de potasio, así como la relación de calcio a fósforo de 4:1. (07, 15).

Cuadro No. 6. Contenido de cenizas y minerales en la pulpa de café.

COMPUESTO	CONTENIDO
Ceniza, g%	8.3
Ca, mg%	554.0
P, mg%	116.0
Fe, mg%	15.0
Na, mg%	100.0
K, mg%	1765.0
Mg	TRAZAS
Zn, ppm	4.0
Cu, ppm	5.0
Mn, ppm	6.25
B, ppm	26.0

Se ha reportado que la celulosa (27.65 por ciento), los azúcares reductores (12.40 por ciento), los azúcares no reductores (2.02 por ciento) y sustancias pécticas totales (6.52 por ciento), son los principales compuestos de la fracción sacárida en base seca de la pulpa. (Wilboux, 1956, citado por Elfias, 07).

En el Cuadro No. 7, se muestran los resultados del fraccionamiento de la pared celular y de los polisacáridos, utilizando el método de Van Soest. El alto contenido celular indica que existen niveles relativamente altos de nutrientes (07, 15). También se reportan cantidades relativamente altas de celulosa, hemicelulosa y lignina (3).

Cuadro No. 7. Constituyentes de paredes celulares y polisacáridos estructurales en la pulpa de café.

COMPUESTO	g POR CIENTO
Contenido celular	63.2
Fibra detergente neutra	36.8
Fibra ácida detergente	34.5
Hemicelulosa	2.3
Celulosa	17.7
Lignina	17.5
Proteína lignificada	3.0
Proteína cruda	10.1
Cenizas insolubles	0.4



En el Cuadro No. 8, se puede apreciar el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales en la fracción proteínica de la pulpa de café. Para el efecto de comparación se incluyen otras fuentes de proteína; de donde se observa que la proteína de la pulpa de café contiene niveles similares o mayores que otras fuentes de proteína. (07, 15).

Cuadro No. 8. Contenido de aminoácidos en la proteína de la pulpa de café. (g/16 g N).

AMINOACIDO	PULPA DE CAFE	MAIZ	HARINA DE SOYA	HARINA DE SEMILLA DE ALGODON
Lisina	6.8	1.7	6.3	4.3
Histidina	3.9	2.8	2.4	2.6
Arginina	4.9	3.1	7.2	11.2
Treonina	4.6	3.3	3.9	3.5
Cistina	1.0	1.0	1.8	1.6
Metionina	1.3	1.6	1.3	1.4
Valina	7.4	5.0	5.2	4.9
Isoleucina	4.2	4.3	5.4	3.8
Leucina	7.7	16.7	7.7	5.9
Tirosina	3.6	5.0	3.2	2.7
Fenilalanina	4.9	5.7	4.9	5.2
Hidroxiprolina	0.5	---	---	---
Acido aspártico	8.7	---	---	---
Serina	6.3	---	---	---
Acido glutámico	10.8	---	---	---
Prolina	6.1	---	---	---
Glicina	6.7	---	---	---
Alanina	5.4	---	---	---

Fuente: INCAP, (7).

También se puede observar en la proteína de la pulpa de café que es baja en los aminoácidos azufrados (3, 7, 15). La disponibilidad de éstos aminoácidos puede estar afectada por el contenido de fenoles (3).

3. USOS DE LA PULPA DE CAFE:

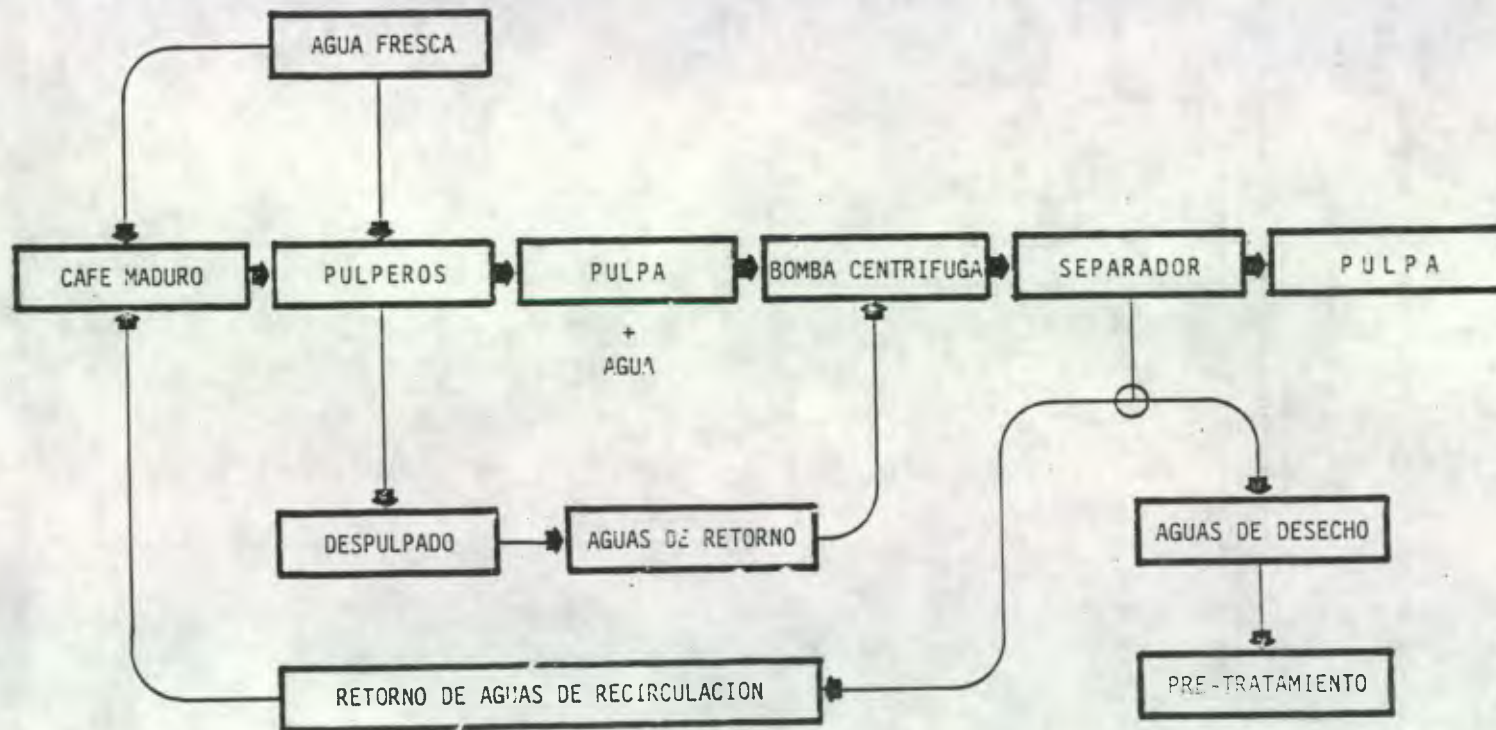
Es hasta en la actualidad que se han tomado en serio los problemas que acarrea la contaminación con la pulpa de café; y es por ello que se han realizado varios estudios en diversos campos para la utilización de la pulpa de café como materia prima. (Ver Gráficas 8, 9 y 10).

3.1. Crecimiento de microorganismos:

Siendo la pulpa de café un material rico en azúcares, se ha investigado en Colombia como medio para la producción de levaduras (7). En 1951, en Colombia (07), la pulpa de café fresca se hirvió por una hora, se filtró, el filtrado se ajustó a un pH de 4.5 y se inoculó con Torulopsis itulis. Después de 24 horas, la producción de levadura ascendió a 7.5 mg (base seca) por cc de jugo, el cual originalmente contenía alrededor de 1.2 por ciento de azúcar. En el INCAP se ha sugerido que la pulpa de café también es buen sustrato para Aspergillus oryzae, Bacillus megatherium y Saccharomyces carevisae. (07).

También se ha investigado la pulpa de café como sustrato para el crecimiento de hongos comestibles (15), como el Pleurotus ostreatus. Para ello, la pulpa primero se fermenta, luego se pasteuriza y después se inocula el hongo, el cual es una masa algodonosa desarrollada sobre semillas de trigo por ejemplo, se preparan más o menos 10

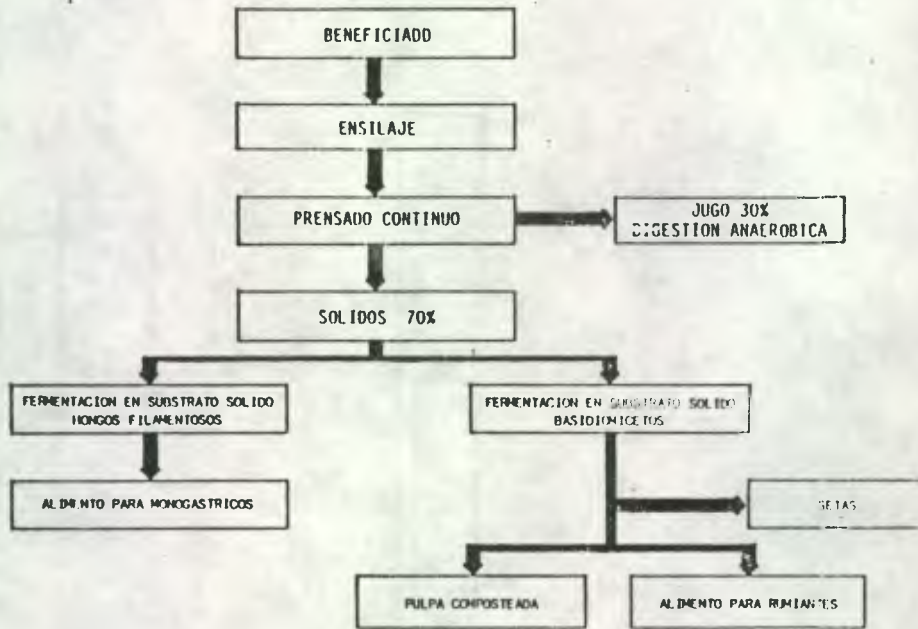
Gráfica No. 8.



Recuperación de pulpa y recirculación
de agua de despulpado.

Fuente: RODAS, et al. (14)

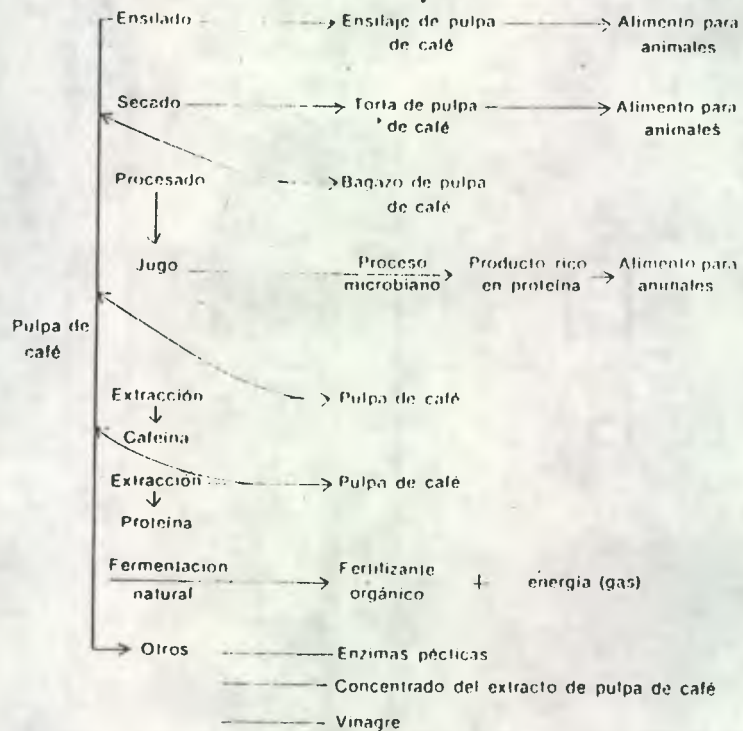
Gráfica No. 9.



Procesamiento de pulpa de café y rutas alternativas de utilización

Fuente: RODAS, et al. (14)

Gráfica No. 10.



Posibilidades para el uso de los subproductos del café.

Fuente: RODAS, et al. (14).

Kg de pulpa ya inoculada por bolsa. De los cuales se obtienen aproximadamente una producción de 1.5 - 2.0 Kg de hongos por bolsa, o sea, 113 a 175.8 Kg de hongos frescos por tonelada de pulpa de café (peso húmedo).

3.2. Producción de gas biológico:

Es de interés la utilización de la pulpa de café para la producción de gas biológico (07). Se ha informado de la producción de 670 litros de metano en 72 días, a partir de 30 Kg de pulpa de café mezclada con estiércol de vaca; y además, el desecho demostró ser rico en nitrógeno y muy adecuado como fertilizante orgánico (7).

3.3. Alimentación de ganado:

3.3.1. Bovinos:

Uno de los principales aspectos de un alimento, es la aceptación por parte de los animales a ingerirlo. Y los primeros estudios realizados demuestran la renuencia de los animales a consumir la pulpa de café cuando es suministrada como principal alimento de la ración. También se vió el aumento del consumo cuando la pulpa era suplementada con alimentos de alta palatabilidad; forrajes y concentrados protéicos (07).

También se cree que la disminución de este consumo es debido a efectos adversos sobre la digestión y el metabolismo de los animales; aunque no se conocen las causas específicas de estos efectos adversos, existen en la pulpa substancias como taninos y otros polifenoles, cafeína y potasio, que bien podrían ser los responsables.

Además, la baja digestibilidad de la proteína de la pulpa puede ser la formación de complejos con los polifenoles, los cuales se incorporan a la fracción analizada como lignina que no es digerible (Murrillo, 1977 y Daqui, 1974, citados por Cabezas, 7).

La cafeína podría ser la causante de las disminuciones en retención de nitrógeno producidas por la pulpa de café, en vista de su efecto diurético (07). Se ha visto que la cafeína, también podría ser la causante del nerviosismo de los animales, observado por varios autores.

El potasio puede afectar el equilibrio iónico en los tejidos, al incrementar la ingestión de pulpa de café.

A pesar de los inconvenientes, la pulpa de café puede jugar un importante papel en los sistemas de alimentación intensivos de ganado bovino. Actualmente se recomienda el uso de 20 a 30 por ciento de pulpa de café en las raciones para este tipo de ganado (07).

3.3.2. Cerdos:

El uso de la pulpa de café en la alimentación de los monogástricos tiene ciertas limitaciones, debido al contenido relativamente alto de fibra. Sin embargo, la fracción proteínica de la pulpa muestra un patrón de aminoácidos comparable al de la harina de torta de soya y harina de algodón.

La aceptación de la pulpa por parte del animal a ingerirla, puede ser mejorada mediante la incorporación de niveles adecuados de melaza.

Se ha estudiado que para la alimentación de cerdos, por su digestibilidad, retención de nitrógeno y su alto contenido de fibra, la pulpa de café tiene los mejores resultados al agregarse hasta un 16 por ciento de la ración; ya que a mayor concentración se afecta su digestión por el contenido de fibra, además la pulpa contiene cafeína y ácidos caféicos y clorogénico que en una u otra forma limitan su uso (07).

3.3.3. Aves:

La utilización de la pulpa de café en alimentación de aves ha sido muy poco estudiada. Los resultados demostraron en pollos de engorde que el nivel máximo de utilización de pulpa de café es de 2.5 a 5 por ciento en las raciones para inicio, desarrollo y postura de las aves (3). También en pollos de engorde, se encontró una depresión lineal en la conversión alimenticia al incrementar los niveles de pulpa de café de 0 a 30 por ciento (15). En este campo, la pulpa parece no ser muy promisorio, debido a su contenido de fibra.

3.4. Producción de melaza:

La melaza, se ha producido por medio de hidrólisis de la pulpa de café por 4-6 horas con una solución de ácido clorhídrico al 6 por ciento a 121°C y 15 libras sobre pulgada cuadrada de presión. Luego se ha incorporado hasta en un 30 por ciento en la dieta de los cerdos, y los resultados sugieren que es tan bueno como la melaza de caña de azúcar (07).

Además, se han producido otros tipos de melaza por medio de la concentración de los azúcares y producidos por hidrólisis derivados del mucílago y de los extractos de la pulpa de café.

3.5. Producción de alcohol:

Sobre la producción de alcohol a partir de la pulpa de café, se cuenta con poca información, se sabe que la fermentación alcohólica es un proceso químico de gran importancia que puede producirse a partir de cualquier azúcar fermentable por acción de las levaduras, en condiciones favorables (07).

3.6. Producción de fertilizante orgánico:

La pulpa de café, también ha sido utilizada para la producción de fertilizante orgánico, por medio de la fermentación natural, proceso en el que se libera gas biológico (7).

En el Cuadro No. 9, se presenta la composición química de varios materiales orgánicos, donde se observa que la materia orgánica de la pulpa de café contiene más nitrógeno y potasio que los otros materiales.

Cuadro No. 9. Composición química porcentual de diferentes fertilizantes orgánicos.

COMPONENTE	PULPA DE CAFE	ESTIER- COL	COMPOST RESIDUOS AGRICOLAS	ESTIERCOL DE POLLO
Materia orgánica orgánica	91.20	---	15.60	---
Nitrógeno	1.94	0.50	1.20	1.60
Fósforo	0.28	0.25	0.83	1.50
Potasio	3.61	0.50	0.98	0.80

Fuente: INCAP (07).

El contenido de nitrógeno en la pulpa de café se ha estimado que es tres veces más alto que el estiércol de bovinos, y de 2 a 7 veces en potasio (13). El contenido de minerales se ha encontrado con los siguientes valores expresados en porcentaje: ácido fosfórico 10.3, potasio 53, calcio 3.8, magnesio 7.6, cloro 0.8 y otros en 21. Pero el valor de la pulpa de café como abono orgánico reside principalmente en el alto contenido de materia orgánica (1).

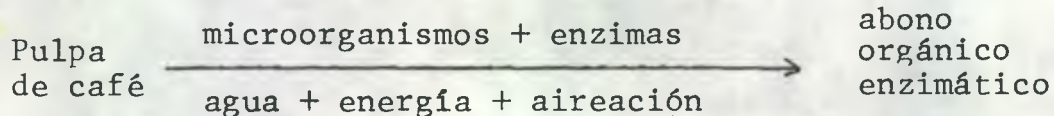
El mantenimiento de materia orgánica en los suelos es de suma importancia, ya que ciertos suelos sufren un rápido agotamiento por la actividad bacteriológica durante todo el año. La aplicación de la pulpa de café como materia orgánica, se realiza de distintas formas, una es la aplicación de la pulpa fresca directamente de los pulperos a la plantación; y otra es secar o descomponer la pulpa antes de su aplicación (7, 12).

La pulpa que se va fresca al cafetal, no sufre un verdadero o completo nivel de bioestabilización, que es necesario para asegurar un mejor aprovechamiento de la misma como acondicionador de los suelos y por lo tanto, para reducir la cantidad de abono químico que se necesita para obtener una respuesta determinada de la producción. Este problema de biodegradación y estabilización de la pulpa crece conforme aumenta la cantidad a tratar. Para los beneficios pequeños puede bastar un sistema de trincheras ventiladas para el almacenamiento de la pulpa escurrida. Para grandes volúmenes se hace necesarios sistemas mecánicos de aireación. Este procedimiento produce una pulpa estabilizada en cuatro semanas; el problema es la mano de obra utilizada para su manejo y el área a utilizar, ya que se requiere de volteo semanal (11, 14).

Actualmente se ha iniciado en Costa Rica, la elaboración de abono orgánico enzimático, a base de desechos de la agroindustria (beneficio de café por ejemplo); los cuales son transformados en un material no contaminante y además utilizado como fuente de nutrientes a las plantas.

El abono orgánico enzimático es una mezcla de materiales orgánicos biodegradados por microorganismos que bajo condiciones controladas producen un abono orgánico que mantiene estables los nutrientes.

Este fertilizante está constituido por enzimas y elementos nutritivos biodegradados en diferentes etapas de transición, formando compuestos orgánicos y sales minerales (4). Gráficamente la conversión de la materia prima se puede representar así:



Este abono no se considera un sustituto del abono mineral, ya que las condiciones de alta productividad del cultivo del café, necesita en períodos determinados de gran disponibilidad inmediata de nutrientes que se aportan por medio de fertilizantes al suelo o por abonos foliares químicos. Entonces el abono orgánico por su aporte de nutrientes y básicamente, por su efecto de mejorador de las características físicas del suelo permite reducir y racionalizar el uso del abono mineral. Así pues, este abono proporciona a las plantas para su alimentación, una amplia variedad de elementos nutritivos en pequeñas cantidades y además poco a poco va convirtiendo sustancias complejas en otras más simple, asegurando alimentación continua y regulada por largo tiempo (4, 5). Aunque algunos autores indican que la aplicación del abono orgánico a base de pulpa de café debe ser anual para asegurar su efectividad como fertilizante (6); otros indican que debe realizarse cada 3 ó 4 años como complemento de la fertilización química (3).

Se ha averiguado que 100 libras de pulpa seca equivalen en su composición química a 10 libras de un fertilizante inorgánico 14-3-37 ó a 20 libras de 7-1.5-18.5, lo que refleja la alta cantidad de potasio que contiene la pulpa (7, 12). Los autores por medio de experimentos han concluido que la cantidad a aplicar de pulpa ya descompuesta es de 5-10 kilogramos por planta de café (3, 6).

Además, en ensayos se comparó la materia orgánica de la pulpa de café contra la de gallinaza y la de cachaza de azúcar; y la de la pulpa de café resultó significativamente mejor para los parámetros altura de planta, diámetro de tallo y pares de bandolas en plantas de café de un año. También se ha observado que la pulpa de café es un valioso abono orgánico y que aumenta los rendimientos durante tres años consecutivos de 875 a 1383 libras por cuerda (3, 16).

El proceso de descomposición de la pulpa de café, para la obtención de abono orgánico en condiciones naturales no controladas conlleva un prolongado período, con problemas secundarios; afectando así la calidad final del producto por la pérdida de nitrógeno y otros nutrientes. Además, este proceso natural trae consigo malos olores y un medio propicio para el criadero de moscas (4).

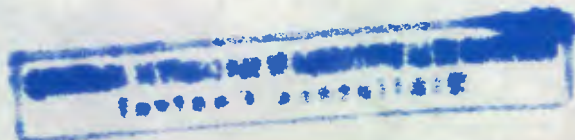
Con fin experimental la pulpa de café para su descomposición se ha mantenido al sol, en terrenos inclinados (drenajes) practicándole aproximadamente cuatro volteos, para asegurarse la descomposición sea homogénea. Al cabo de un año, el material presenta una apariencia de tierra con un color café oscuro (13).

Otra práctica común, es enterrar la pulpa; pero en estas condiciones la descomposición es lenta tardando muchos meses, lo que ocurre también en los promontorios a la interperie. Para la aceleración de este proceso se ha investigado con aireación forzada, tratamientos con productos microbiológicos y últimamente con tratamiento con enzimas que actúen sobre la celulosa. Con respecto a éste último caso, se ha investigado en El Salvador con un producto denominado "digestor enzimático" (a base de celulosas y hemicelulosas), para lo cual se formaron dos promontorios de pulpa de

café, uno tratado con el producto y el otro sin tratar. En el promontorio tratado, se obtuvo una aceleración en la tasa de descomposición y que la mayoría de elementos necesarios (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mn, Cu, Zn, Fe) se conservaran, y también que se multiplicara 1.6 veces la tasa de pérdida de los sólidos volátiles, con relación a la pulpa no tratada (10). Además, el proceso controlado acelera la descomposición en un período de 4-5 semanas, sin producir malos olores ni permitir la reproducción de moscas (4). También, se observó que la aireación favorece la acción de la enzima para la descomposición (9).

Esta misma enzima se probó en iguales condiciones en otro sustrato, en este caso con basura orgánica de ciudad. En el promontorio tratado con la enzima se eliminó la presencia de moscas y malos olores en relación al testigo no tratado. Y en un término de 60-90 días el promontorio de basura tratada se transformó en un material prehúmico (textura de tierra terrenoso y granular, color café oscuro, inodoro) (8).

La enzima utilizada por la Compañía Azucarera de El Salvador en la cachaza de azúcar, para un corto tiempo obtener un producto estable y de buenas características de abono orgánico. Se escogió la cachaza de azúcar por ser otro desecho de la agroindustria, al igual que la pulpa de café, que no se aprovecha. Y en un período de 60 días el material tratado se estabilizó en su temperatura, además que mantuvo sus valores nutricionales. También se observó en el material tratado una reducción del volumen en un 50 por ciento, se vió libre de malos olores, moscas y otros insectos en relación al promontorio sin tratar (12).



4. MECANISMOS DE DEGRADACION ENZIMATICA DE LA CELULOSA Y HEMICELULASA.

4.1. La celulosa:

La celulosa es un carbohidrato que probablemente es el compuesto más abundante en la naturaleza. Está compuesto de unidades de glucosa unidas en una larga cadena lineal por enlaces beta en los átomos de carbono 1 y 4 de la molécula azúcar. La celulosa forma parte importante de la pared celular de plantas superiores, hongos, algas y algunos protozoarios; se ha encontrado también en la materia orgánica del suelo. Este carbohidrato abunda mayormente en tejidos leñosos, siendo escaso en materiales suculentos. El almidón y la celulosa son polímeros de la misma unidad constitutiva, la glucosa, pero sus características hacen a la celulosa más resistente a la descomposición microbiana y enzimática. Los factores que determinan la descomposición de la celulosa son: nivel de nitrógeno disponible, la temperatura, aireación, humedad, pH y presencia de otros carbohidratos. La aplicación de nitrógeno inorgánico aumenta la descomposición de la celulosa en el suelo (2).

La utilización biológica de la celulosa puede llevarse a cabo desde temperaturas cercanas al punto de congelación hasta alrededor de los 65°C. Aunado a los cambios en la composición de la flora inducidos por la temperatura, el calor eleva la velocidad de transformación del sustrato a causa del efecto directo de la temperatura sobre la acción enzimática. La aireación también rige la composición de la flora activa, con los aerobios dominando los medios oxigenados y siendo favorecidas las bacterias anaeróbicas por decremento en las presiones parciales de oxígeno. En medios con pH entre neutro y alcalino, muchos microorganismos son capaces de crecer y liberar enzimas apropiadas para la hidrólisis del polisacárido; bajo condi-

ciones ácidas la desaparición de la celulosa se debe principalmente a los hongos filamentosos. La lignina se encuentra en la pared celular en íntima relación con la celulosa y aparentemente, éste constituyente vegetal determina que sea más lenta la velocidad de destrucción de la celulosa (2).

Las bacterias aeróbicas descomponen la celulosa en dos productos principales: CO_2 y sustancia celular. El primer paso de esta degradación es la hidrólisis del polímero; al sistema enzimático que trabaja en este proceso se le denomina CELULASA. La celulasa cataliza la conversión de celulosa insoluble a mono o disacáridos sencillos solubles en agua; luego los azúcares simples son metabolizados a CO_2 por los organismos aeróbicos y los ácidos orgánicos por los anaeróbicos.

El sistema catalítico que requiere un microorganismo para convertir la celulosa a azúcares simples que penetren la célula incluye tres tipos de enzimas:

- a) Una enzima poco conocida llamada C_1 ;
- b) B (1-4) glucanasa o llamada a veces C_x ; y
- c) B-glucosidasa.

El rompimiento total del polímero requiere de la acción conjunta de estos catalizadores. La C_1 actúa sobre celulosa no degradada, ésta enzima se encuentra en las especies verdaderamente celulolíticas; algunas especies pueden utilizar la molécula parcialmente descompuesta porque tienen C_x . O sea, que las C_x no hidrolizan a la celulosa pero si rompen polímeros parcialmente degradados. La velocidad de hidrólisis es más lenta en los oligómeros que en las moléculas de pesos moleculares más altos. Esta adición de agua al sustrato insoluble, rompe los enlaces entre los complejos de azúcar de

la cadena. Se conocen dos formas de rompimiento entre las glucosidas: una en la que los enlaces entre las unidades de glucosa son rotos mas o menos al azar, y una segunda en la cual la enzima actúa sólo en las uniones cercanas al extremo de la cadena. El primer tipo de rompimiento produce celobiosa, éste tipo de catalizador es conocido como ENDOENZIMA; el último tipo libera sólo el fragmento que es separado a partir del extremo del largo sustrato y que usualmente es celobiosa, tal catalizador se denomina EXOENZIMA. Esta celobiosa debe ser descompuesta antes de que la célula pueda usar el carbono para propósitos energéticos o de síntesis. Esta última fase es catalizada por la B-glucosidasa, enzima que hidroliza la celobiosa, celotriosa y otros oligómeros de bajo peso molecular a glucosa.

4.2. La hemicelulosa:

La hemicelulosa es un polisacárido que le sigue a la celulosa en importancia por cantidad. La mayoría de hemicelulosas se encuentran asociadas físicamente a la celulosa en las paredes celulares.

En las hemicelulosas, los azúcares simples o los ácidos urónicos, derivados de los azúcares simples, están unidos en una larga molécula. Estos polímeros se dividen en:

- a) Homoglicanos, contienen un sólo tipo de monosacárido; y
- b) Heteroglicanos, contienen más de una clase de monosacáridos o ácido urónico.

Las hemicelulosas a diferencia de las celulosas, generalmente poseen forma ramificada.

Cuando un residuo vegetal se agrega al suelo, su fracción de hemicelulosa desaparece inicialmente a una tasa rápida, pero luego la

degradación se vuelve más lenta. Dicho cambio de velocidad puede ser el resultado de la heterogeneidad química de la fracción de hemicelulosa. El efecto puede deberse también a la presencia en los microorganismos de polisacáridos que se forman en el suelo durante el período de descomposición.

Cuando las hemicelulosas son descompuestas, el carbono se convierte a CO_2 y células microbianas. El metabolismo de estas está determinado por las características físicas y química (aireación, contenido disponible de nitrógeno) del habitat, el pH y la temperatura.

El primer paso para la degradación del polímero es la hidrólisis del mismo por medio de enzimas extracelulares para romper las cadenas a fragmentos de carbohidrato asimilables por la célula. Dentro de este grupo de enzimas, están:

- a) Endoenzimas, que rompen al azar los enlaces;
- b) Exoenzimas, que extraen un sólo dímero o monómero del extremo de la cadena; y
- c) Glicosidasas, que hidrolizan los oligómeros o los disacáridos, produciendo el azúcar simple o ácido urónico, éste último metabolizado dentro de las células para producir energía.

Para la degradación total del polímero, se hace pues, necesaria la acción de éstos tres grupos de enzimas (2).

El polisacárido original es una molécula grande, de manera que una cierta cantidad de hemicelulosa tiene pocas terminaciones accesibles para el ataque. En consecuencia, las endoenzimas son las principales responsables del fraccionamiento inicial. Sin embargo, una vez que las terminaciones se hace numerosas por la acción de las endoenzimas, aumenta la importancia de las exoenzimas (2).

5. DIGESTOR ENZIMATICO "Stubble Digester +".

El digester enzimático "Stubble Digester +, es un producto producido por Cytozyme Laboratories, Inc. Este producto enzimático posee las siguientes características:

Propiedades físicas:

Estado físico:	Líquido
Calor:	Café oscuro
Solubilidad:	Soluble en agua
pH:	2.2
Densidad:	1.3

Ingredientes:

Complejos vitamínicos:	1.2 por ciento por peso
Proteína:	2.5 por ciento por peso
Enzimas hidrolíticas:	1.0 por ciento por peso

El digester enzimático contiene básicamente enzimas del tipo de las celulasas y hemicelulasas, actuando entonces sobre la celulosa y hemicelulosa en la forma que se indicó en el capítulo anterior.

V. MATERIALES Y METODOS.

1. UBICACION GEOGRAFICA DE LA INVESTIGACION.

El experimento se llevó a cabo en la finca "Las Flores", propiedad de la Asociación Nacional del Café, ubicada en el municipio de Barberena en el Departamento de Santa Rosa.

El municipio se encuentra a una altitud de 1,076 metros sobre el nivel del mar, en una latitud de 14°22'50" y una longitud de 90°17'10".

En el área se cuenta con una precipitación pluvial media anual de 1,000 mm, una temperatura media anual de 24°C y una humedad relativa de 80 por ciento.

2. Materiales:

El sustrato utilizado para la descomposición fue la pulpa de café. La pulpa usada para el estudio se caracterizó por no haber sufrido previamente ningún proceso de degradación.

Se aplicó a la pulpa un digestor de subproductos agroindustriales, a base de celulasa y hemicelulasa, de uso comercial (Stubble Digester).

3. Descripción del trabajo de investigación:

3.1. Período de conducción de la investigación:

El experimento se inició en el mes de febrero de 1988, con

el montaje del experimento en el campo; luego se tomaron los datos de los distintos parámetros a lo largo de 90 días, finalizando la toma de datos en el mes de mayo de ese mismo año; y efectuándose posteriormente la fase de gabinete.

3.2. Manejo experimental:

El material utilizado en el experimento (pulpa de café) fue colocado a la interperie en promontorios de 10 quintales cada uno; de los cuales la tercera parte se trató con el producto enzimático, a razón de 100 cc/tonelada de pulpa de café, constituyéndose en el único manejo realizado en el material. Otra tercera parte de los promontorios, se voltearon en forma manual. La última de las partes fue el testigo, que no se le aplicó tratamiento ni manejo alguno.

4. Metodología del experimento:

4.1. Diseño experimental:

La distribución de los tratamientos se realizó en un diseño de bloques al azar. El modelo estadístico para dicho diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij ...ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media.

T_i = Efecto del i ...ésimo tratamiento.

β_j = Efecto de la j ...ésima repetición o bloque.

E_{ij} = Efecto del error experimental.

Se evaluaron 3 tratamientos, siendo estos: pulpa no tratada, pulpa con volteo y pulpa tratada con enzima; en cada tratamiento se practicaron 8 repeticiones, trabajándose 8 bloques; en consecuencia el diseño incluyó 24 unidades experimentales de 10 quintales cada una.

Para el análisis de los datos, el diseño se trabajó con un arreglo factorial; siendo los factores, el tiempo y los tratamientos.

4.2. Variables evaluadas:

Los parámetros cuantificados fueron:

- Análisis de elementos nutricionales. Fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, zinc y hierro por medio de adsorción atómica, y nitrógeno por medio de micrkjeldhal.
- pH. Cuantificado por medio de potenciómetro.
- Altura y diámetro de los promontorios.
- Temperatura de los promontorios.
- Observaciones visuales del aparecimiento de hongos, insectos, larvas, etc. Además, del olor de los bultos.

Previo a cuantificar los macro y micronutrientes en el abono obtenido fue necesario realizar:

a. Montaje del experimento:

El material utilizado fue tomado de la salida de pulpa del beneficio húmedo, después de separarse del agua de despulpado. - luego fue transportada y colocada en el área experimental, en promontorios de aproximadamente 10 quintales cada uno, separados dos metros entre cada uno para evitar en lo posible contacto entre - ellos, formándose ocho bloques con tres tratamientos cada uno.

b. Manejo de los tratamientos:

b.1. Tratamiento con enzima:

Se diluyeron 100 centímetros cúbicos del producto enzimático comercial en un galón de agua, asperjándose con este galón de mezcla dos promontorios, siguiendo así la dosis comercial del producto que es de 100 centímetros cúbicos/tonelada de pulpa de café. Así se trataron en total ocho de los veinticuatro promontorios, lo que se realizó al momento de colocar la pulpa en su lugar correspondiente.

b.2. Tratamiento con volteo manual:

Los promontorios fueron colocados en el mismo momento de los promontorios del tratamiento anterior, pero sin enzima y semanalmente durante 90 días del experimento se les realizó volteo manual, utilizando para ello una pala.

b.3. Tratamiento testigo:

Estos promontorios fueron colocados también en el mismo momento, pero no se les dió tratamiento ni manejo alguno a lo largo de los 90 días.

c. Toma de datos:

c.1. Macro y micronutrientes:

Para el análisis de estos, se realizaron tomas de muestras de cada promontorio cada 15 días, enviándose para su análisis al laboratorio de suelos de ANACAFE. Cada muestra se constituyó de tres

submuestras de cada promontorio y luego se mezclaron para tomar la muestra representativa que sería enviada al laboratorio.

c.2. Altura y diámetro de los promontorios:

Estos datos se tomaron de cada promontorio semanalmente, para observar la disminución de volumen a causa de la descomposición. Para la toma de altura se introdujo una vara en el centro del promontorio, y el diámetro se midió exteriormente.

c.3. Temperatura de los promontorios:

Estas medidas se realizaron cada semana, utilizando para ello un termómetro de suelos. En cada promontorio, se tomaron lecturas en los cuatro puntos cardinales y se tomó el promedio.

c.4. Observaciones visuales:

Estas se realizaron cada 15 días; limitándose a observar apareamiento de larvas, insectos, hongos y olores emitidos durante la descomposición, para comparaciones entre los tratamientos.

d. Metodología utilizada para el análisis químico:

Para realizar la lectura de los elementos, se utilizó el método de INCINERACION SECA, cuyo procedimiento consistió en:

- La muestra se secó en horno con aire forzado a temperatura de 70°C, luego fue triturada y tamizada a 20 mesh.
- Se tomó 0.5 g de la muestra y se incineró en una mufla a 500°C durante 5 a 10 horas.

- Se disolvieron las cenizas con ácido clorhídrico 1 normal.
- Se filtró.
- Y se determinó los elementos contenidos en el filtrado a través de espectrofotometría de adsorción atómica.

4.3. Análisis de la información:

Todos los datos obtenidos de los parámetros evaluados fueron sometidos a análisis de varianza para observar si existía diferencia significativa entre los tratamientos. En donde se encontró - significancia se realizó la prueba de comparación de medias Tuckey y en algunos SNK para determinar el tratamiento sobresaliente.

5. Registro de la información:

Los formatos utilizados para el archivo de los datos se adjuntan en los anexos.

VI. RESULTADOS.

1. Elementos nutricionales:

1.1. Fósforo:

En el Cuadro No. 10 se observa el análisis de varianza para el contenido de fósforo.

Cuadro No. 10. Andeva para fósforo.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SINGNI- FICANCIA
BLOQUE	7	3034432.000000	433490.300	2.023	0.0572
TRATAM	17	30546240.000000	1796838.000	8.384	0.0000
A	2	21820990.000000	10910500.000	50.908	0.0000
B	5	6227072.000000	1245414.000	5.811	0.0002
AB	10	2498176.000000	249817.600	1.166	0.3203
ERROR	119	25503810.000000	214317.700	-----	-----
TOTAL	143	59084480.000000	-----	-----	-----
Coeficiente de variación:		22.3031%			
A = TRATAMIENTO.		B = TIEMPO.			

En dicho Cuadro se observa que existió alta significancia entre los tratamientos, tanto para los tratamientos como para el tiempo. Por lo que se efectuó la prueba de comparación de medias (Tuckey) para los tratamientos, cuyo resultado se observa en el Cuadro No. 11. En la Gráfica No. 11, podemos ver el comportamiento del contenido de fósforo a lo largo de la investigación.

Cuadro No. 11. Prueba de Tuckey para fósforo.

TRATAMIENTO	PPM FOSFORO
TESTIGO	2406.250
CON ENZIMA	2291.667
CON VOLTEO	1529.167

NOTACION: Valores con la misma línea vertical son significativamente iguales.

1.2. Potasio:

En el Cuadro No. 12, se aprecia el análisis de varianza para el contenido de potasio.

Cuadro No. 12. Andeva para potasio.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	7	7.931641	1.133	2.041	0.0549
TRATAM	17	137.193900	8.070	14.538	0.0000
A	2	114.291300	57.146	102.947	0.0000
B	5	17.508060	3.502	6.308	0.0001
AB	10	5.394532	0.539	0.972	0.5278
ERROR	119	66.056760	0.555	-----	-----
TOTAL	143	211.182300	-----	-----	-----
Coeficiente de variación: 21.0400%					
A = TRATAMIENTO. B = TIEMPO.					

Se observa en el Cuadro anterior la alta significancia que existió entre los tratamientos; por lo que se procedió a efectuar la prueba de comparación de medias, cuyos resultados se observan en el Cuadro No. 13. En la Gráfica No. 12 se ve el comportamiento del contenido de potasio durante los 90 días del experimento.

Cuadro No. 13. Prueba de Tuckey para potasio.

TRATAMIENTO	% POTASIO
TESTIGO	4.320
CON ENZIMA	4.001
CON VOLTEO	2.294

1.3. Calcio:

En el Cuadro No. 14 observamos el análisis de varianza para el contenido de calcio.

Cuadro No. 14. Andeva para calcio.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	7	3.172791	0.453	3.280	0.0035
TRATAM	17	41.324040	2.431	17.588	0.0000
A	2	11.674740	5.837	42.236	0.0000
B	5	26.213810	5.243	37.934	0.0000
AB	10	3.435486	0.344	2.486	0.0097
ERROR	119	16.446660	0.138	-----	-----
TOTAL	143	60.943480	-----	-----	-----
Coeficiente de variación: 19.0804%					
A = TRATAMIENTO. B = TIEMPO.					

En dicho Cuadro, se puede observar que existió alta significancia únicamente en el factor tiempo, no así en el factor tratamiento. Esta fluctuación del comportamiento del zinc a lo largo de la duración de la investigación se puede apreciar con mejor claridad en la Gráfica No. 14.

1.5. Manganeso:

En el Cuadro No. 17 podemos observar el análisis de varianza para el contenido de manganeso.

Cuadro No. 17. Andeva para manganeso.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFI- CANCIA
BLOQUE	7	69036.000000	9862.286	1.103	0.3655
TRATAM	17	1116212.000000	65659.530	7.344	0.0000
A	2	245452.000000	122726.000	13.728	0.0000
B	5	758281.000000	151656.200	16.964	0.0000
AB	10	112479.000000	11247.900	1.258	0.2614
ERROR	119	1063861.000000	8940.009	-----	-----
TOTAL	143	2249109.000000	-----	-----	-----
Coeficiente de variación:		37.4885%			
A = TRATAMIENTO.		B = TIEMPO.			

En el Cuadro anterior se aprecia la alta diferencia significativa que existió entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de medias Tuckey pero resultó no significativa, por lo que se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de SNK,

cuyos resultados se ven en el Cuadro No. 18. En la gráfica No. 15 se observa el comportamiento del manganeso a lo largo de la investigación.

Cuadro No. 18. Prueba de SNK para manganeso.

TRATAMIENTOS	ppm MANGANESO
CON VOLTEO	310.531
CON ENZIMA	225.552
TESTIGO	220.563

1.6. Hierro:

En el Cuadro No. 19 observamos el análisis de varianza para el contenido de hierro.

Cuadro No. 19. Andeva para hierro.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	7	3254.625000	464.946	1.434	0.1972
TRATAM	17	35965.500000	2115.618	6.526	0.0000
A	2	3949.281000	1974.641	6.091	0.0034
B	5	30468.850000	6093.769	18.798	0.0000
AB	10	1547,375000	154.738	0.477	0.9020
ERROR	119	38576.850000	324.175	-----	-----
TOTAL	143	77796.970000	-----	-----	-----
Coeficiente de variación: 41.9827%					
A - TRATAMIENTO. B = TIEMPO.					

En dicho Cuadro se ve la diferencia altamente significativa entre los tratamientos, realizando así una comparación de medias con la prueba de Tuckey, la que resultó negativa; por lo que se realizó la prueba SNK cuyos resultados se resumen en el Cuadro No. 20. El comportamiento de éste elemento a lo largo de la investigación lo vemos en la Gráfica No. 16.

Cuadro No. 20. Prueba de SNK para hierro.

TRATAMIENTOS	ppm HIERRO
CON VOLTEO	50.239
TESTIGO	39.980
CON ENZIMA	38.440

1.7. Magnesio:

En el Cuadro No. 21, observamos el análisis de varianza para el contenido de magnesio.

Cuadro No. 21. Andeva para magnesio.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	7	0.375450	0.054	6.867	0.0000
TRATAM	17	0.906561	0.053	6.828	0.0000
A	2	0.273560	0.137	17.512	0.0000
B	5	0.520819	0.104	13.337	0.0000
AB	10	0.112183	0.011	1.436	0.1722
ERROR	119	0.929440	0.008	-----	-----
TOTAL	143	2.211451	-----	-----	-----
Coeficiente de variación:			23.1765%		
A = TRATAMIENTO.		B = TIEMPO.			

En el Cuadro anterior se observa la diferencia altamente significativa entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de medias por medio de Tuckey, la cual resultó negativa, realizándose entonces la prueba de SNK cuyos resultados se pueden ver en el Cuadro No. 22. En la Gráfica No. 17, se aprecia el comportamiento del magnesio durante el período de duración de la investigación.

Cuadro No. 22. Prueba de SNK para magnesio.

TRATAMIENTOS	% MAGNESIO
TESTIGO	0.420
CON ENZIMA	0.404
CON VOLTEO	0.320

2. pH:

En el Cuadro No. 23, se observa el análisis de varianza para el pH de la pulpa de café.

Cuadro No. 23. Andeva para pH.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	7	7.708008	1.101	4.039	0.0008
TRATAM	17	21.801760	1.282	4.704	0.0000
A	2	7.330078	3.665	13.442	0.0000
B	5	7.258789	1.452	5.325	0.0004
AB	10	7.212891	0.721	2.645	0.0062
ERROR	119	32.445310	0.273	-----	-----
TOTAL	143	61.955080	-----	-----	-----
Coeficiente de variación:			5.5516%		
A = TRATAMIENTO.		B = TIEMPO.			

En el Cuadro anterior se realiza la alta significancia existente entre los tratamientos; por lo que se efectuó la prueba de comparación de medias (Tuckey), cuyo resultado se indica en el Cuadro No. 24.

Cuadro No. 24. Prueba de Tuckey para pH.

TRATAMIENTOS	pH
TESTIGO	9.645
CON ENZIMA	9.469
CON VOLTEO	9.103

El comportamiento del pH en los tres tratamientos durante los 90 días del experimento se aprecia en la Gráfica No. 18.

3. Volumen de los promontorios de pulpa de café.

En el Cuadro No. 25 se observa el análisis de varianza para el volumen de los promontorios de pulpa de café.

Cuadro No. 25. Andeva para volumen.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	7	0.076435	0.011	3.182	0.0034
TRATAM	35	18.744300	0.536	156.063	0.0000
A	2	0.235966	0.118	34.381	0.0000
B	11	18.187890	1.653	481.824	0.0000
AB	22	0.320442	0.015	4.244	0.0000
ERROR	245	0.840752	0.003	-----	-----
TOTAL	287	19.661480	-----	-----	-----
Coeficiente de variación:		16.0769			
A = TRATAMIENTO.		B = TIEMPO.			

En dicho Cuadro se observa alta diferencia significativa para ambos factores, así como para la intersección de dichos factores.

El comportamiento mostrado por la disminución en volumen de la pulpa de café se observa en la Gráfica No. 19.

4. Temperatura de los promontorios de pulpa de café:

En el Cuadro No. 26, se observa que no existió significancia para los tratamientos, pero si la hubo en el factor tiempo. Esto lo percibimos mejor en la Gráfica No. 20.

Cuadro No. 26. Andeva para temperatura.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	SIGNIFICANCIA
BLOQUE	7	21.875000	3.125	0.417	0.8559
TRATAM	32	30241.720000	945.054	142.317	0.0000
A	2	6.687500	3.344	0.504	0.6109
B	10	29774.940000	2977.494	448.385	0.0000
AB	20	460.093800	23.005	3.464	0.0000
ERROR	224	1487.469000	6.640	-----	-----
TOTAL	263	31751.060000	-----	-----	-----
Coeficiente de variación: 7.3646%					
A = TRATAMIENTO. B = TIEMPO.					

5. Observaciones visuales:

Estas observaciones se realizaron subjetivamente y tomándose como comparación los tratamientos entre sí. Las observaciones se

hicieron cada 15 días, junto con la toma de muestras para el análisis químico.

5.1. Tratamiento con enzima:

Este tratamiento tuvo una emanación de olores suaves desde los 15 días, para los 45 días estos fueron disminuyendo hasta prácticamente no tener olor

Su aspecto a los 15 días fue pastoso húmedo, pareciéndose al humus a los 75 días. Se observó aparecimiento de hongos del tipo basidio micetos desde los 15 días.

5.2. Tratamiento con volteo:

Este tratamiento se inició con emanaciones de olores penetrantes, los que fueron disminuyendo de intensidad paulatinamente desde el primer volteo, para desaparecer completamente entre los 30 y 38 días. Su aspecto se tornó rápidamente en una pasta seca que se fue desterronando hasta ser bastante parecida a tierra, a los 45-60 días. Se observó aparecimiento de hongos en un período muy reducido de los 15 a los 30 días.

5.3. Testigo:

Este tratamiento se inició con fuertes olores fétidos, los que se prolongaron hasta el final de la investigación. Su aspecto durante todo el experimento fue pastoso húmedo, ligeramente seco en su exterior. En estos promontorios se observaron pequeñas larvas blancas, se observaron moscas sobrevolando y durante su descomposición se observaron pocos hongos. Al final de la investigación su aspecto iniciaba a tornarse parecido a tierra en su exterior.

VII. DISCUSION DE RESULTADOS.

1. Elementos nutricionales:

1.1. Fósforo:

En el Cuadro No. 11 se puede observar los dos grupos formados por los tratamientos, lo que se denota con mayor claridad en la Gráfica No. 1; los tratamientos testigo y con enzima mostraron los mayores contenidos de fósforo sin diferencias significativas entre ellos.

La disminución en el contenido de tal elemento a los 60 y 75 días, puede deberse a la lluvia* caída antes de ese muestreo, la cual pudo lixiviar parte de ese elemento. Aún así se aprecia que el menor contenido de fósforo durante toda la investigación es de 1,200 ppm, lo que es bastante aceptable ya que un suelo se considera bajo en este elemento cuando es menor de 10 ppm.

1.2. Potasio:

Como se ve en el Cuadro No. 13 y la Gráfica No. 12, este elemento tuvo un comportamiento similar al del fósforo, ya que se formaron dos grupos; uno de ellos, donde el tratamiento testigo y con enzima poseen mayores contenidos que el segundo grupo a donde corresponde el tratamiento con volteo. El potasio es un elemento que se comporta bastante estable a lo largo del estudio. Así también, se observa que el menor contenido de potasio fue de 16,530 ppm, lo cual es bastante aceptable porque un suelo se considera bajo cuando posee menos de 125 ppm.

* La curva de precipitación pluvial se puede ver en los anexos.

1.3. Calcio:

Se puede apreciar en el Cuadro No. 15 como en la Gráfica No. 13 la formación de los mismos grupos, el testigo y el con enzima sin diferencias significativas entre ellos y con mayores contenidos que el tratamiento con volteo.

Se ve que en la Gráfica No. 13, sucedió lo contrario de lo que se observa en la Gráfica del comportamiento del fósforo después del registro de datos a los 60 días, debido que el calcio en lugar de disminuir, aumentó después de la lluvia*. Este hecho pudo ser causado por el agua al provocar la transformación del calcio a una forma disponible.

Durante el experimento se apreció que el más bajo contenido de calcio fue de 1.138 por ciento que es igual a 57 meq/100 g, lo que constituye un resultado aceptable, porque se considera un suelo bajo en este elemento cuando es menor de 3 meq/100 g.

1.4. Zinc:

En el Cuadro No. 16 no se registran diferencias significativas entre los tratamientos, lo que se aprecia también en la Gráfica No. 14, al observar las tres curvas bastante unidas. Si existió significancia en el tiempo, lo que también se aprecia con claridad en la misma Gráfica por las fluctuaciones drásticas del contenido de zinc a lo largo de la investigación.

El contenido más bajo de zinc durante el estudio fue de 28.5 ppm., lo que supera al nivel de 3 ppm, que es cuando un suelo se considera bajo en este elemento.

* La curva de precipitación pluvial se ve en los anexos.

1.5. Manganeso:

En el Cuadro No. 17, se aprecia la alta significancia que existió entre los tratamientos, pero al realizar la prueba de medias por el método de Tuckey resultó no significativa, por lo cual se realizó la prueba SNK, viéndose que se formaron dos grupos, uno de ellos con el tratamiento con volteo que proporcionó mayores contenidos del elemento y por otro lado, el grupo correspondiente al testigo y al tratamiento con enzimas. En la Gráfica No. 15, se observa que a los 60 días se presentaron las menores concentraciones de este elemento, provocando seguramente por las lluvias que lo lixiviaron*.

En la Gráfica No. 15, se ve también que la menor concentración durante el experimento fue de 166 ppm, lo cual es aceptable porque un suelo se considera bajo cuando posee 5 ppm ó menos.

1.6. Hierro:

En el Cuadro No. 20, se observa nuevamente la formación de dos grupos con los mismos tratamientos, el tratamiento con volteo presentó mayor concentración que el tratamiento enzimático y el testigo. En la Gráfica No. 16 se ve un comportamiento inestable, pudiéndose explicar que al principio de la descomposición se formaron compuestos que dejaron al hierro en forma no disponible, pero las lluvias que incidieron antes y después de los 60 días, provocaron su lenta liberación.

El contenido de hierro más bajo que se registró fue de 665.625 ppm, lo cual resulta aceptable porque se considera un suelo bajo cuando es menor de 5 ppm.

* La curva de precipitación pluvial se puede ver en los anexos.

1.7. Magnesio:

En el Cuadro No. 22 se observa el mismo panorama respecto a la formación de los dos grupos, teniendo mayores contenidos el grupo del con enzima y el testigo sin significancia entre ellos. En la Gráfica No. 17, se aprecia una drástica disminución del contenido que se debió a pérdidas por efecto de lluvia*, y luego de éstas los contenidos aumentaron de nuevo, con menor incremento en el tratamiento con volteo debido a su mayor exposición a pérdidas por su manejo.

El menor contenido de magnesio en la investigación fue 22 meq/100 g, lo que resulta muy bueno porque supera el nivel de 0.8 meq/100 g -- que es cuando un suelo se considera bajo.

1.8. Nitrógeno:

En el Cuadro No. 27, se ven resultados de contenidos de nitrógeno de algunas muestras de pulpa de café tomadas durante la investigación. Por razones ajenas al trabajo de experimentación no se pudieron determinar la totalidad de las muestras como era el objetivo del mismo. Por ese motivo no se tuvo datos estadísticos respecto a este elemento, pero con los datos obtenidos se puede deducir que la pulpa posee un aceptable contenido de nitrógeno respecto a otros abonos orgánicos que se en el Cuadro No. 9.

2. pH:

Los resultados de éste parámetro se encuentran en el Cuadro No. 23. No existió diferencia significativa entre los tratamientos

* La curva de precipitación pluvial se puede ver en los anexos.

y esto se comprueba en el Cuadro No. 24, donde los tratamientos forman un grupo, ya que las diferencias que se ven en la Gráfica No. 18 no son significativos.

Obsérvese que los valores de pH tienden a ser alcalinos, debido al proceso de descomposición de la pulpa, indicado anteriormente por el Centro Nacional de Investigaciones de Café de Colombia (CENICA-FE). Este centro afirma que se considera una pulpa de café bien descompuesta cuando su pH sea básico, del orden de 9 (16).

Además, este comportamiento básico se debe también al efecto de los altos contenidos de Ca, Mg y K.

Considerándose el pH alcalino de la pulpa descompuesta, se puede indicar que al utilizar ésta como abono orgánico, se coadyuva en la corrección de ciertos problemas de suelos ácidos.

3. Volumen de los promontorios de pulpa de café:

Tal y como se aprecia en la Gráfica No. 19, el volumen de los promontorios disminuyó drásticamente para luego llegar a estabilizarse; ésta disminución drástica marca el inicio de la descomposición de la pulpa.

La alta diferencia que se observa en el Cuadro 25, es influencia de la significancia en la intersección de los factores.

4. Temperatura de los promontorios de pulpa de café:

De acuerdo a los resultados del Cuadro No. 26 no existió diferencias significativas entre los tratamientos.

En la Gráfica No. 20, se muestra el incremento acelerado de la temperatura en la primera semana, lo que también indica el inicio de la descomposición de la pulpa. En la Gráfica también se ve que el tratamiento con enzima alcanzó la mayor temperatura e inició su descenso antes que los otros tratamientos, logrando su estabilización en un tiempo menor. Al final de la curva del tratamiento con volteo se ven ciertos altibajos, que se deben a los volteos con la influencia de la temperatura ambiental; esta misma influencia ambiental explica el ligero incremento de temperatura en la última semana. La estabilización de la temperatura indica la finalización del proceso de descomposición de la pulpa de café.

5. Observaciones visuales:

Se observó que el tratamiento con volteo alcanzó mas rápidamente su aspecto y consistencia parecido a la tierra, por su ventilación y su exposición a los rayos solares la cual no recibían los otros tratameintos.

El aparecimiento de hongos, se explica porque la pulpa con su contenido de celulosa es un excelente sustrato de crecimiento para hongos del tipo basidiomicetos durante su proceso de descomposición.

El olor emitido por un sustrato durante su descomposición es muy importante desde el punto de vista de salubridad. En el tratamiento con enzima no se percibió olor alguno durante la duración del experimento. Además, no se observó criadero de moscas u otros insectos perjudiciales para la salud.

VIII. CONCLUSIONES.

1. Los contenidos de elementos minerales presentados por los tratamientos con enzima y testigo, son bastante similares, lo que nos muestra que el producto enzimático no afecta la calidad de la pulpa de café, sino que sólo actúa acelerando el proceso de descomposición. Lo contrario sucedió con el tratamiento con volteo, donde los elementos están más expuestos a pérdida que se observaron en los resultados.

2. El proceso de descomposición de la pulpa está íntimamente ligado con el volumen a descomponer. En la actualidad, son varios miles de toneladas de pulpa las que salen de beneficiado húmedo del café, en éstas condiciones el tratamiento testigo se atrasa enormemente (lo que sucede actualmente), dicho proceso lógicamente se acelera al agregar enzimas que ayudarán al desdoblamiento de compuestos o polímeros del sustrato.

3. Los contenidos de elementos minerales en la pulpa de café resultaron bastante aceptables, ya que sobrepasaron los niveles críticos de un suelo; lo que califica a la pulpa como un buen abono orgánico aportador de elementos nutritivos.

4. Se comprobó que al finalizar el proceso, el pH de la pulpa es alcalino. El inicio de la descomposición de la pulpa se marca con el incremento de la temperatura, el incremento del pH y la disminución del volumen; así como su finalización se marca con la

estabilización de estos tres factores. También la finalización de la descomposición se puede ver en el aspecto o consistencia que toma el material a descomponerse.

NOTA:

Los resultados y conclusiones obtenidas en este estudio, no se pueden generalizar en todo el país ni a cualquier cafetal. El contenido mineral de la pulpa puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales y al manejo del cafetal; en los anexos se puede observar el plan de fertilización del cafetal del cual se obtuvo la pulpa tratada.

IX. RECOMENDACIONES.

1. Realizar una nueva investigación en condiciones que no se presente lixiviación de los nutrientes provenientes de la pulpa de café.
2. Cuantificar el contenido del elemento nitrógeno en la pulpa de café desdoblada, para determinar así la relación - carbono/nitrógeno en ella.
3. Realizar investigaciones a nivel de laboratorios sobre la capacidad de absorción de los nutrientes de la pulpa de - café por plantas indicadoras (sorgo forrajero).

X. BIBLIOGRAFIA

1. AGUIRRE, B.F. 1966. La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos. Guatemala, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. s.p.
2. ALEXANDER, M. 1981. Intraducción a la microbiología del suelo. México, Olimpo. 491 p.
3. ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE (Gua.). 1985. Manual de beneficiado del café. Guatemala. 119 p.
4. CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1974. Utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. Costa Rica. s.p.
5. COSTA RICA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. OFICINA DEL CAFE. 1979. Posibles usos de los subproductos del café. Boletín informativo mensual. No. 184:2-4.
6. EL SALVADOR. ALCALDIA MUNICIPAL. 1987. Solución sanitaria viable para el problema de desechos de los mercados de San Salvador. El Salvador. p. 5-8.
7. ELIAS, L. et al. 1978. Pulpa de café, composición, tecnología y utilización. Guatemala, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. s.p.
8. LAPDE, G. 1987. Evaluación del producto "Stubble Digester" para descomposición enzimática acelerada de la pulpa de café. San Salvador, El Salvador, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. 45 p.
9. _____; ALFARO, J. 1987. Tratamiento enzimático de la pulpa de café con "Stubble Digester". San Salvador, El Salvador, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. 20 p.
10. HERRERA RIOS, G.A. 1980. Comparación de medios de desarrollo de almácigos de café en bolsa, utilizando pulpa de café condiferentes tratamientos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 60 p.
11. JORGENSEN, A. 1959. Microbiología de las fermentaciones industriales. Zaragoza, España, Acribia. 591 p.
12. MOPALES, C.R. 1987. Transformación biológica de cachaza de azúcar. In Congreso de la sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (2,1987,Col.). Memorias. Colombia, s.n. p. 1-9.

13. RODAS, C.A. 1981. Manual de beneficiado para pequeños y medianos productores de café. Guatemala, Asociación Nacional del Café. 28 p.
14. _____; et al. 1987. Utilización integral de los subproductos del café. In Simposio Internacional de Cafe (3, 1987, Gua). Memorias. Guatemala, Asociación Nacional del Café. p. 20-45.
15. URIZAR PELAEZ, E.H. 1975. Efecto de diferentes procesos de deshidratación sobre la composición química y la calidad nutricional de la pulpa de café en raciones para cerdos en crecimiento. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 95 p.
16. VILLALBA GAULT, D. et al. 1983. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro en almácigos. Genicafe (Col) 33(3):76-89.

Vo. Bo.
Pastualla



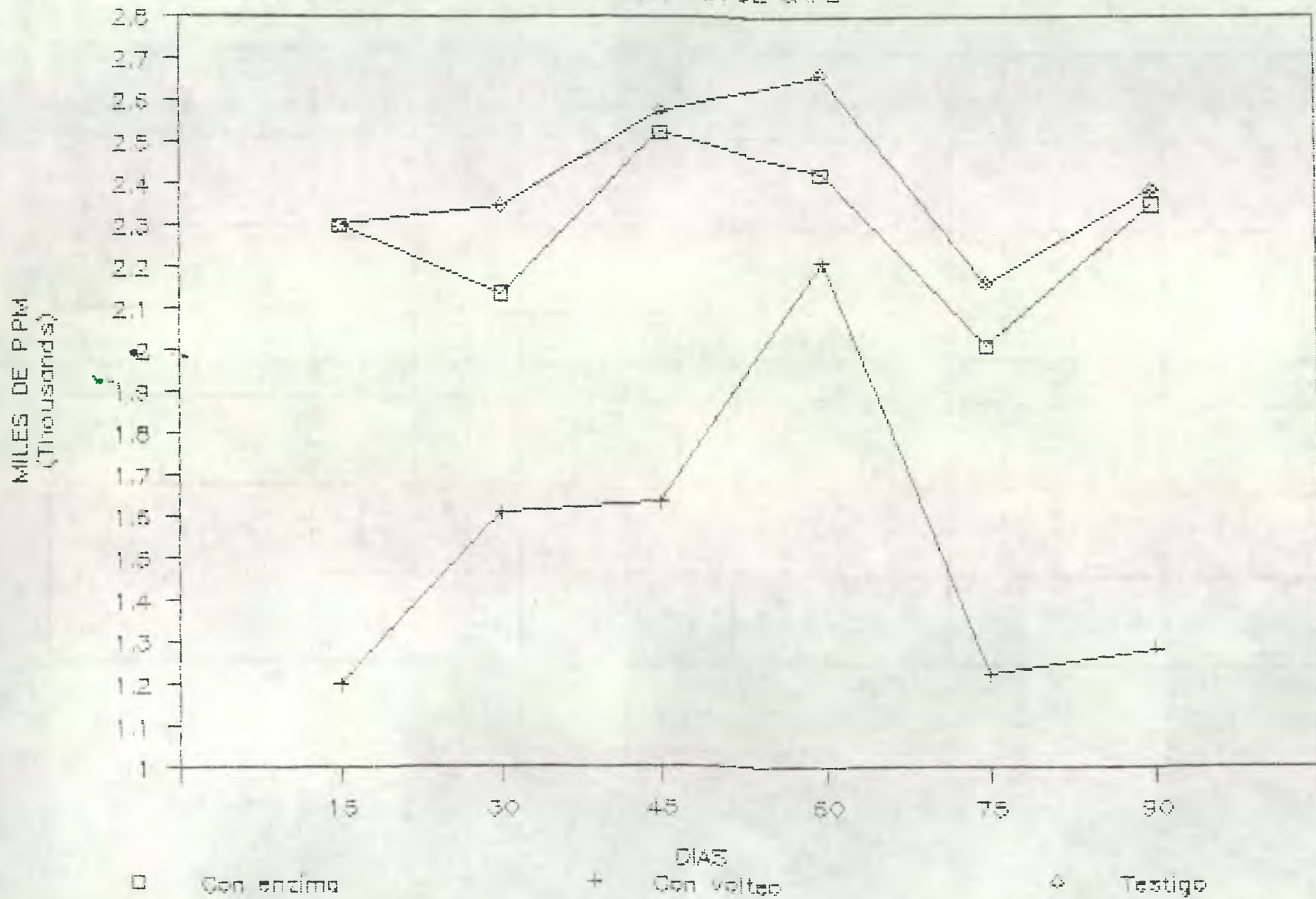
XI. ANEXOS.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

FECHA ACTIVI- DADES	MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
montaje del experimento	X																			
muestreo de elementos nutricionales	X	X		X		X		X		X		X								
toma de alturas y diámetros de los promontorios	X	X		X		X		X		X		X								
toma de temperatura ambiental y de los promontorios	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
observaciones visuales		X		X		X		X		X		X								
análisis y tabulación de datos													X	X	X	X	X	X	X	X

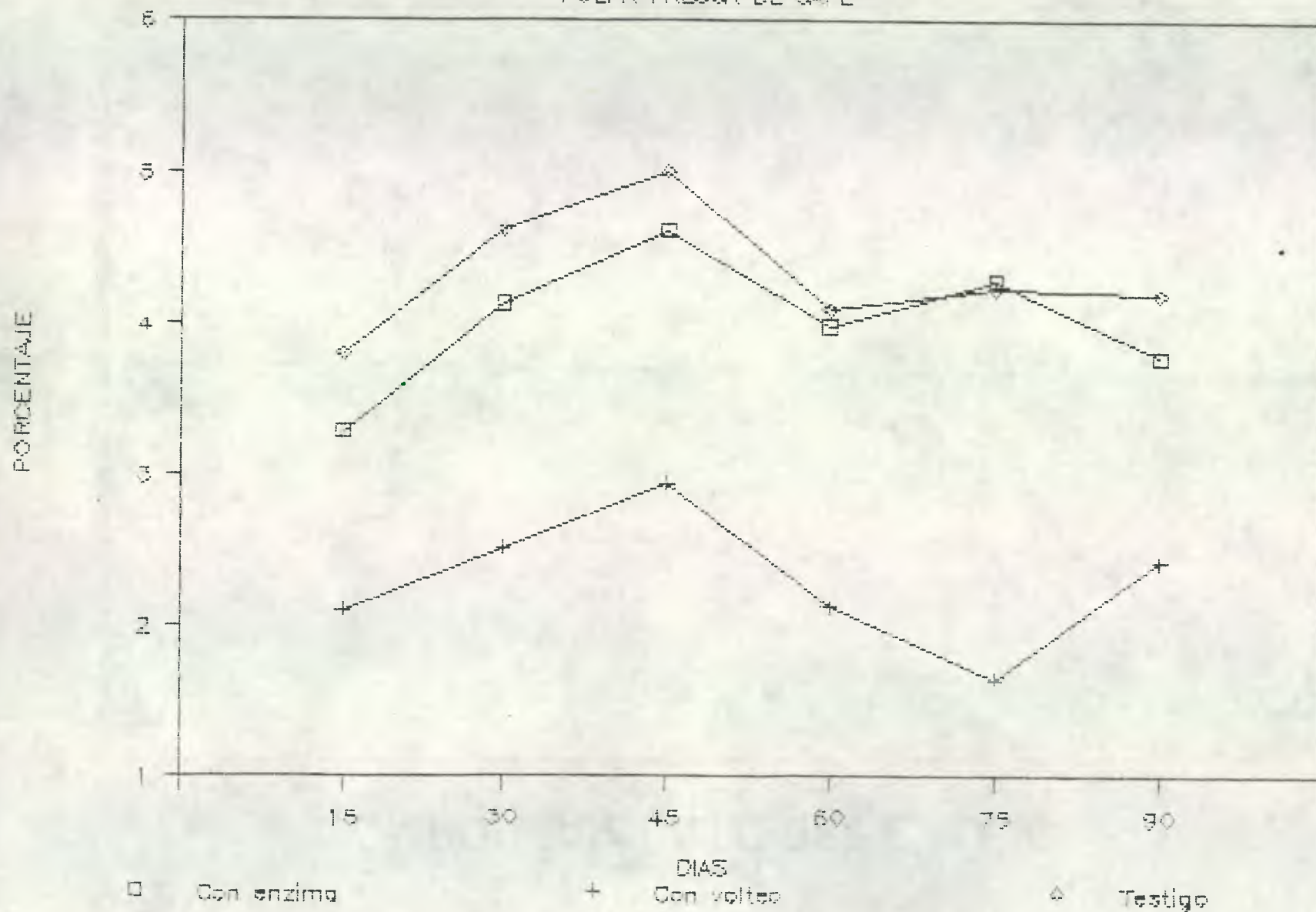
GRAFICA 11
COMPORTAMIENTO DEL FOSFORO

FULVA FRESCA DE CAFE



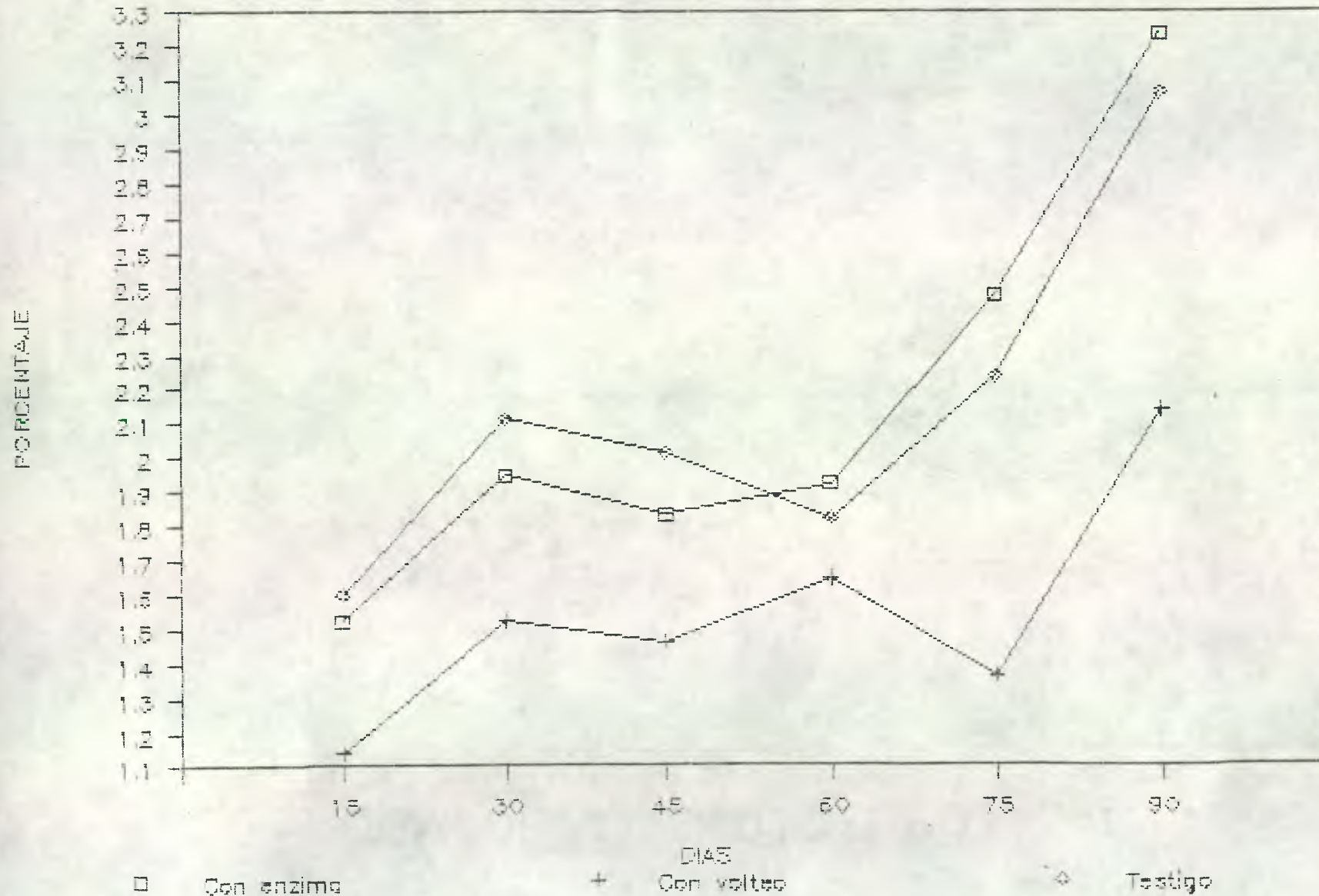
GRAFICA 12
COMPORTAMIENTO DEL POTASIO

FULPA FRESCA DE CAFE



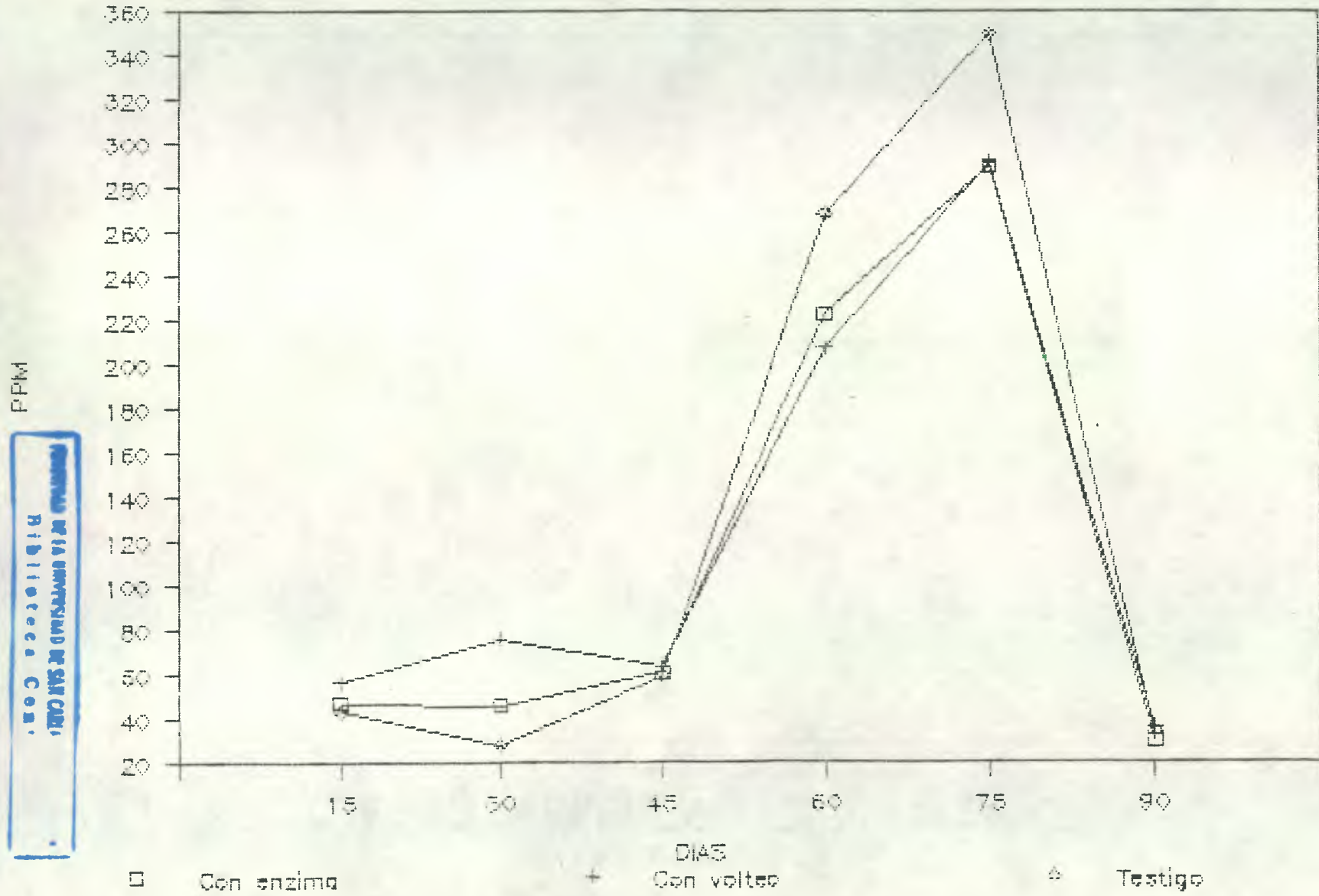
GRAFICA 13
COMPORTAMIENTO DEL CALCIO

FULPA FRESCA DE CAFE



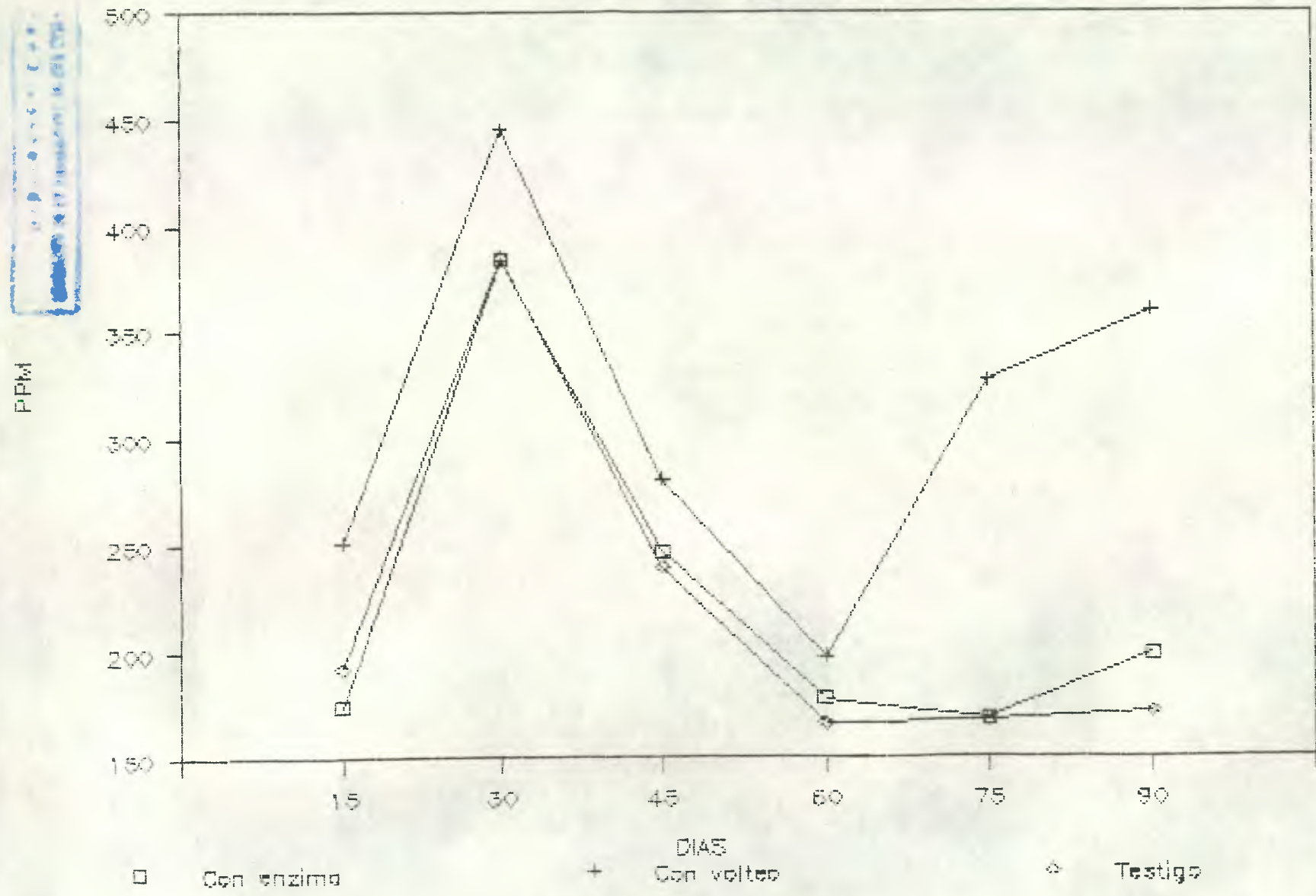
GRAFICA 14
COMPORTAMIENTO DEL ZINC

FULPA FRESCA DE CAFE



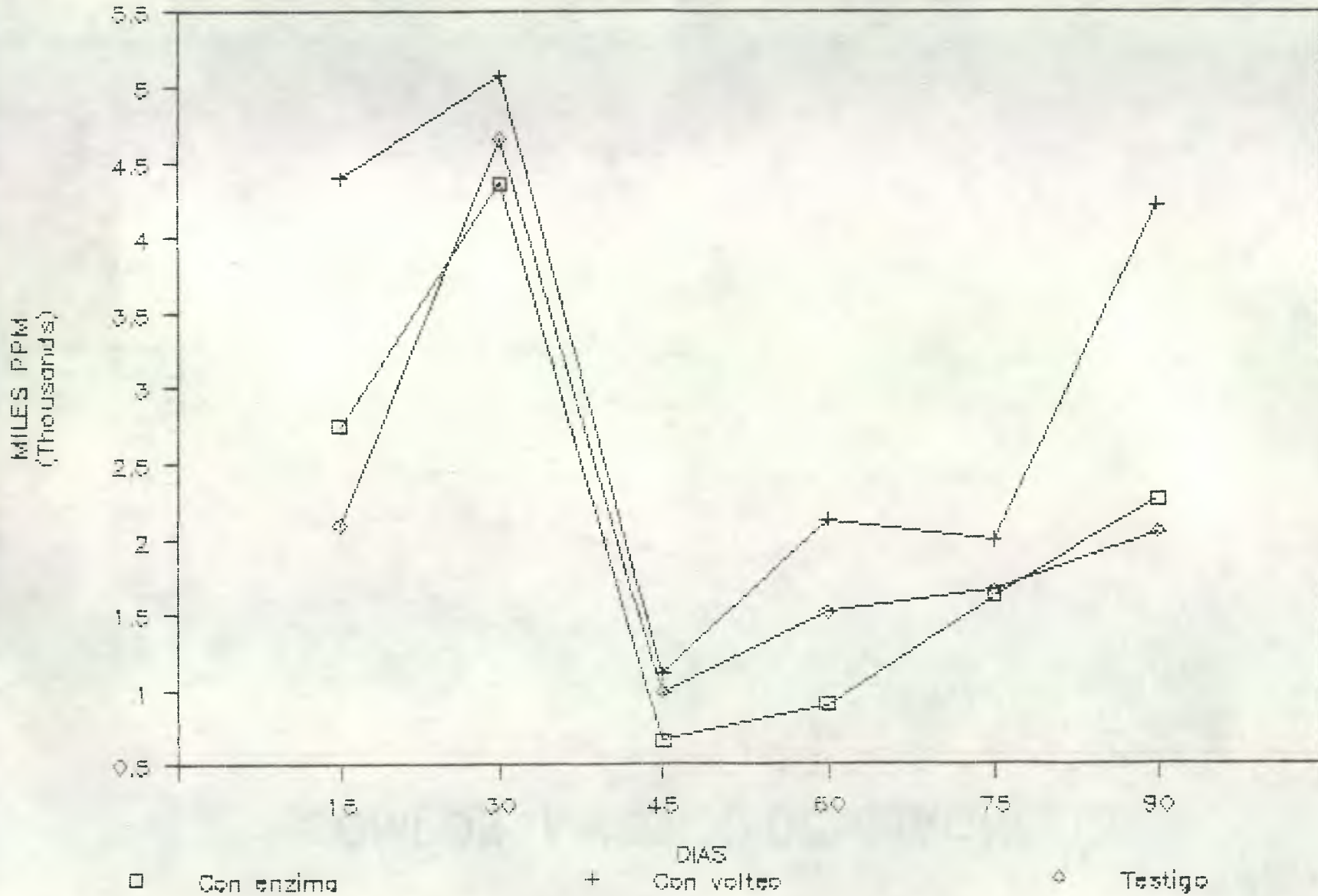
GRAFICA 15
COMPORTAMIENTO DEL MANGANESO

FULPA FRESCA DE CAFE



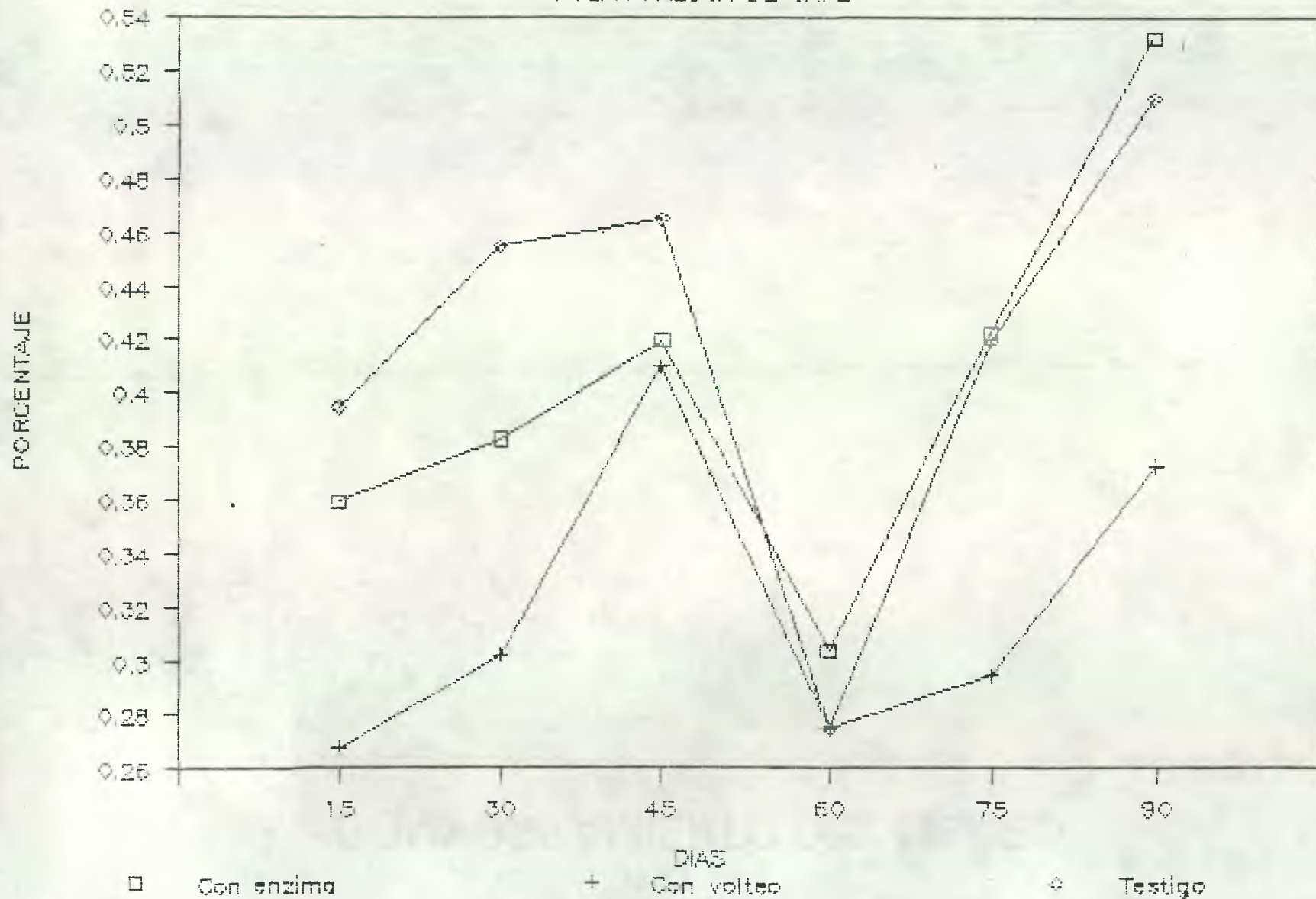
GRAFICA 16
COMPORTAMIENTO DEL HIERRO

FULPA FRESCA DE CAFE

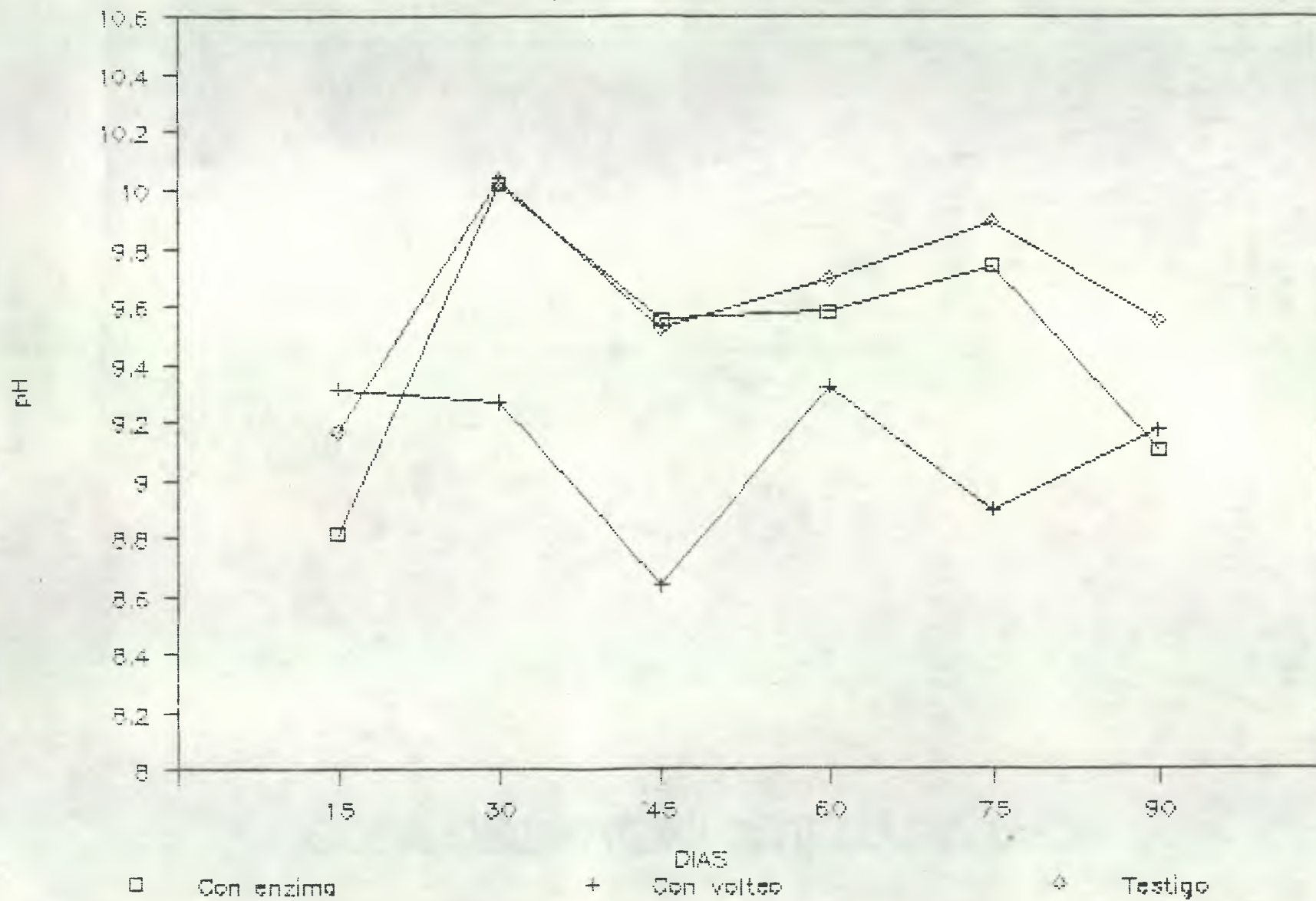


GRAFICA 17
COMPORTAMIENTO DEL MAGNESIO

FULPA FRESCA DE CAFE

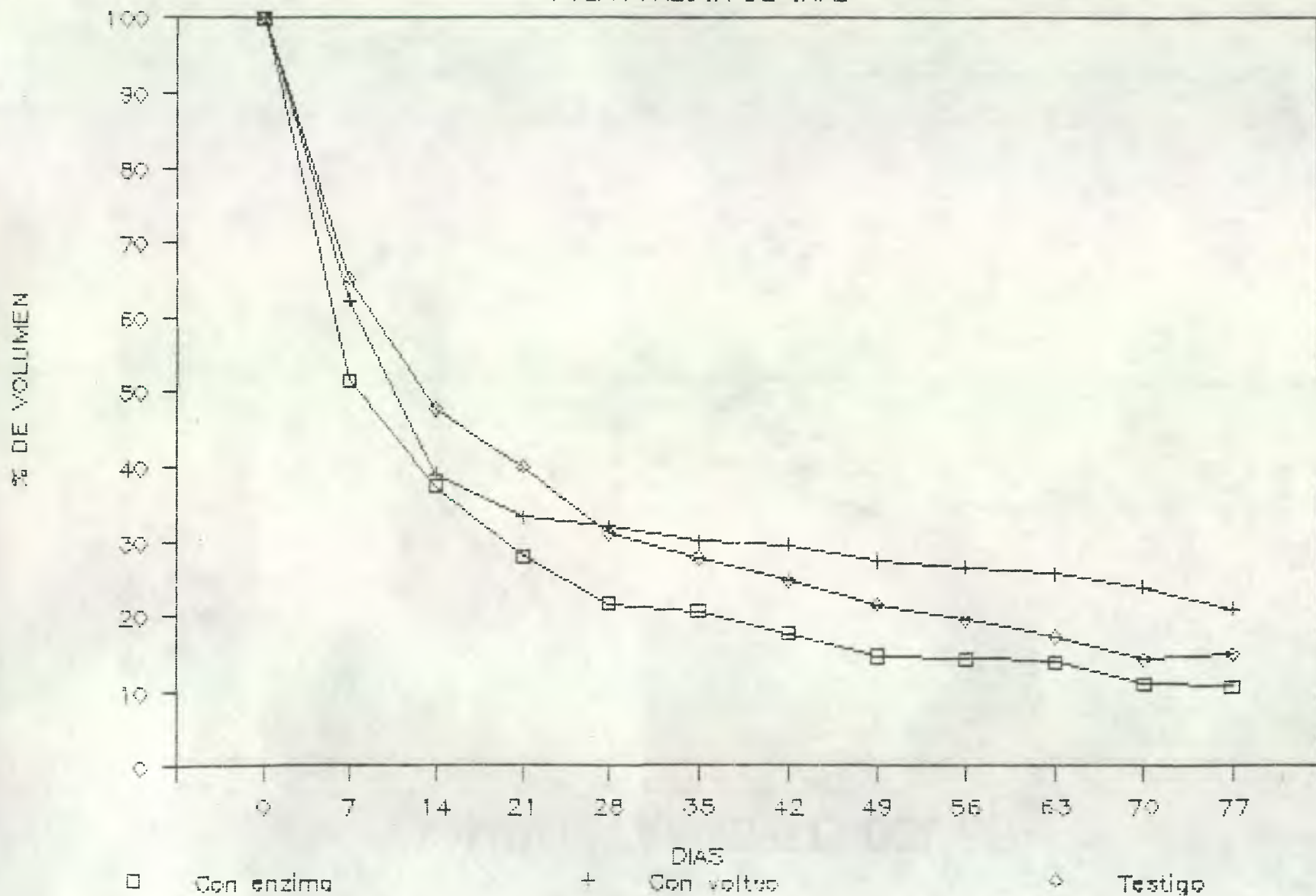


GRAFICA 18
COMPORTAMIENTO DEL pH
 PULPA FRESCA DE CAFE

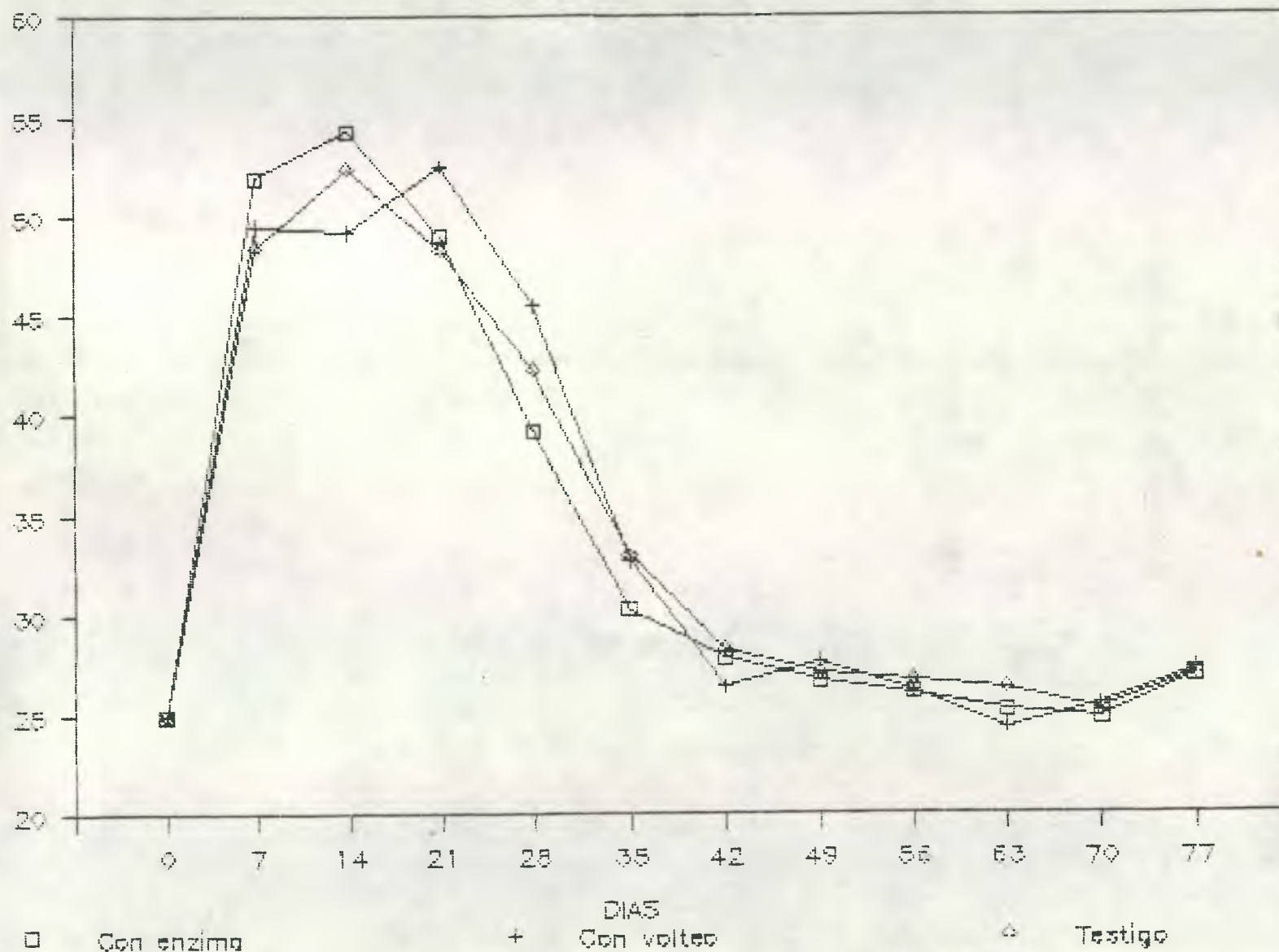


GRAFICA 19
COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN

FULPA FRESCA DE CAFE



GRAFICA 20
COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA
 FULPA FRESCA DE CAFE



MUESTRAS DE PULPA DE CAFE

Cuadro No. 27.

ANALISIS DE NITROGENO TOTAL

<u>No. de Laboratorio</u>	<u>No. de Muestra</u>	<u>% de Nitrogeno</u>
25	8	0.12
26	9	0.15
29	12	0.17
35	18	0.24
37	20	0.20
76	8	0.10
77	9	0.13
80	12	0.21
86	18	0.38
88	20	0.46
100	8	0.21
101	9	0.23
104	12	0.21
110	18	0.33
112	20	0.50
230	8	0.22
231	9	0.19
234	12	0.30
240	18	0.27
242	20	0.40

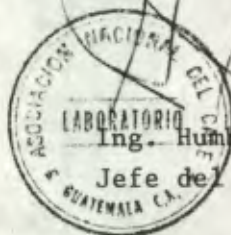
Ref.:

No.:

<u>No. de Laboratorio</u>	<u>No. de Muestra</u>	<u>% de Nitrogeno</u>
254	8	0.30
255	9	0.27
258	12	0.43
264	18	0.35
266	20	0.28

Guatemala, 24 de noviembre de 1988

ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE



Ing. Humberto Jiménez García
Jefe del Laboratorio de Suelos

HJG/olc

ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

FINCA: S/N

PROPIETARIO: ING. JULIO LEE PAZOS

LICIALIZACION: BARBERENA, SANTA ROSA.

DIRECCION A DONDE DEBEN ENVIARSE LOS RESULTADOS: ING. JULIO LEE PAZOS

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS FOLIARES

No. LABORATORIO	No. MUESTRA	NUMERO O MUESTRA DEL CAFETAL
247	1	Muestra No. 1 Pulpa de café
248	2	Muestra No. 2 Pulpa de café
249	3	Muestra No. 3 Pulpa de café
250	4	Muestra No. 4 Pulpa de café
251	5	Muestra No. 5 Pulpa de café
252	6	Muestra No. 6 Pulpa de café
253	7	Muestra No. 7 Pulpa de café
254	8	Muestra No. 8 Pulpa de café
255	9	Muestra No. 9 Pulpa de café
256	10	Muestra No. 10 Pulpa de café

RESULTADOS DE LABORATORIO

MUESTRA	PORCENTAJE (%)				PARTES POR MILLON (ppm)			
	P	K	Ca.	Hg	pH	Fe	Mn	Zn
1	0.23	4.12	3.00	0.52	9.45	1200.00	171.00	45.00
2	0.13	2.45	2.20	0.42	9.00	4800.00	402.00	118.00
3	0.26	4.21	2.50	0.48	9.95	1600.00	177.00	25.00
4	0.18	2.74	2.60	0.26	9.05	2500.00	291.00	47.50
5	0.30	4.21	3.00	0.62	9.80	1250.00	165.00	35.00
6	0.27	4.02	3.10	0.58	9.50	1300.00	177.00	104.00
7	0.24	3.43	3.50	0.56	9.25	2100.00	210.00	37.00
8	0.26	4.31	3.30	0.60	9.45	2750.00	168.00	45.00
9	0.13	1.96	1.60	0.34	8.57	4900.00	474.00	44.00
10	0.20	4.61	2.90	0.48	10.00	1230.00	171.00	16.00

DECAGIF-TELON SNIL-021-85/86

FECHA: Guatemala, 16 de Septiembre, 1988

(f) Ing. Humberto Jiménez García
Jefe Del Laboratorio de Suelos

HJG/xvc

PROGRAMA DE FERTILIZACION
FINCA SAN ANTONIO, BARBERENA

Año 1985:

En esta finca los programas de fertilización se realizan en base al análisis de suelos. Durante el año 1985 se realizaron tres aplicaciones de fertilizante, las cuales fueron así:

<u>aplicación</u>	<u>fertilizante</u>	<u>dosis</u>
1	46-0-0	4 Oz./planta
2	20-20-0	3 Oz./planta
3	20-20-0	3 Oz./planta

Año 1986:

Durante este año sólo se efectuaron dos aplicaciones, las que se realizaron en el siguiente orden:

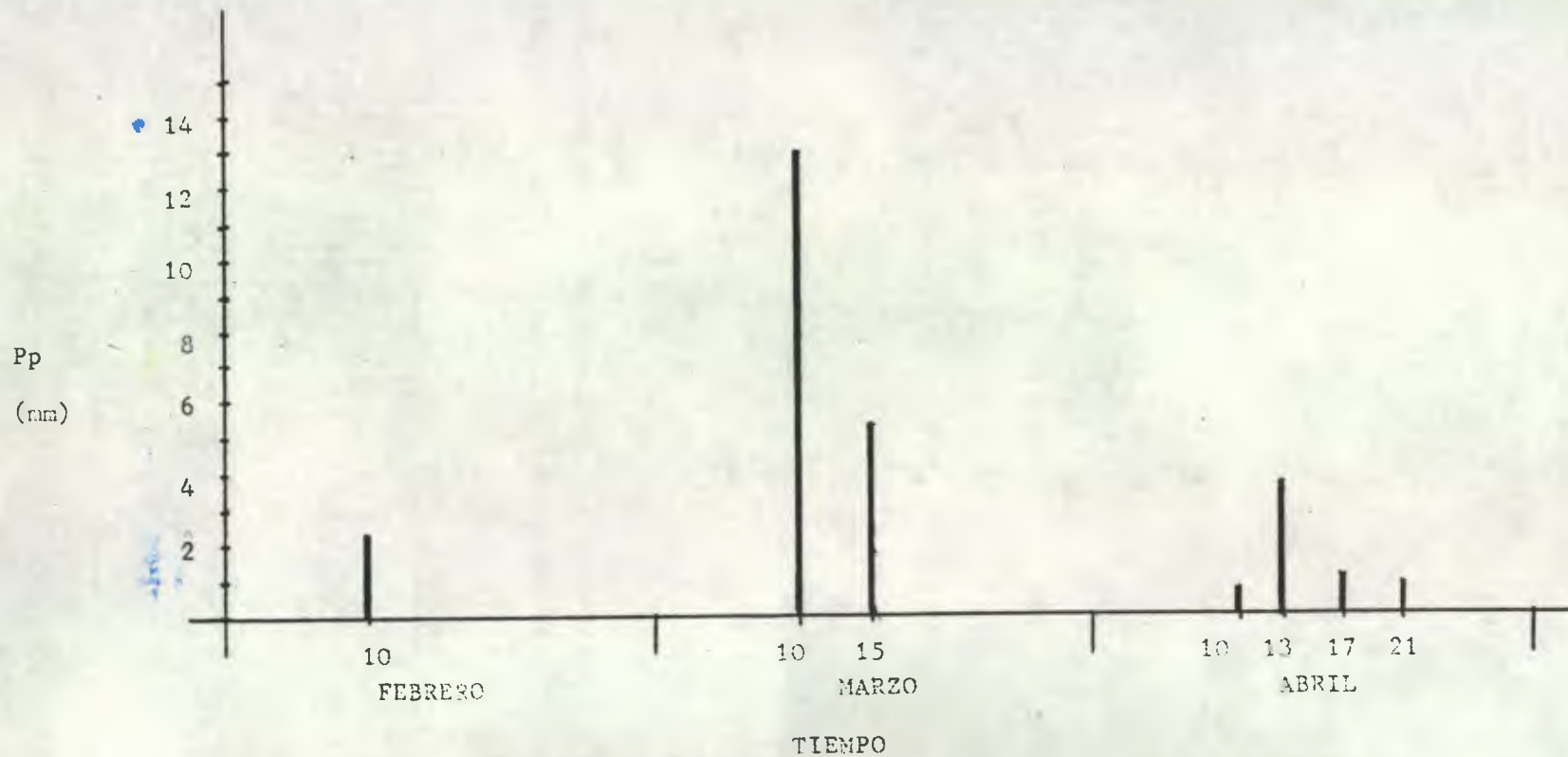
<u>aplicación</u>	<u>fertilizante</u>	<u>dosis</u>
1	20-20-0	3 Oz./planta
2	46-0-0	4 Oz./planta

Año 1987:

Para este año las aplicaciones fueron en número de tres y siguiendo las recomendaciones del análisis de suelo, éstas se describen a continuación:

<u>aplicación</u>	<u>fertilizante</u>	<u>dosis</u>
1	46-0-0	4 Oz./planta
2	18-6-12	3 Oz./planta
3	18-6-12	3 Oz./planta

PRECIPITACION PLUVIAL EN LOS MESES DE
FEBRERO A ABRIL
(ESTACION LOS PINOS, SANTA ROSA)



NOTACION: La estación Los Pinos se encuentra a una latitud de $14^{\circ}15'10''$, una longitud de $90^{\circ}16'42''$ y una altitud de 737 msnm.

Estos datos se pueden tomar como referencia, aunque no para conclusiones exactas, porque la precipitación en ésta zona del país se presentan muy localizadas, y más en los meses presentados.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

9 de mayo de 1,990

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DESCRIPCIÓN

"IMPRIMASE"




ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.
DECANO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central