

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

ESTUDIO DE LA SOLUBILIDAD DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES PARA LAS PLANTAS (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn), PROVENIENTES DE MEZCLAS DE PULPA DE CAFE (*Coffea arabica*) Y LIRO ACUATICO (*Eichhornia crassipes*), MEDIANTE LA SOLUCION EXTRACTORA CAROLINA DEL NORTE. SAN CRISTOBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ.



PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

JOHNNY AYENDI TOLEDO GONZALEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1994.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



DL  
01  
T/1157

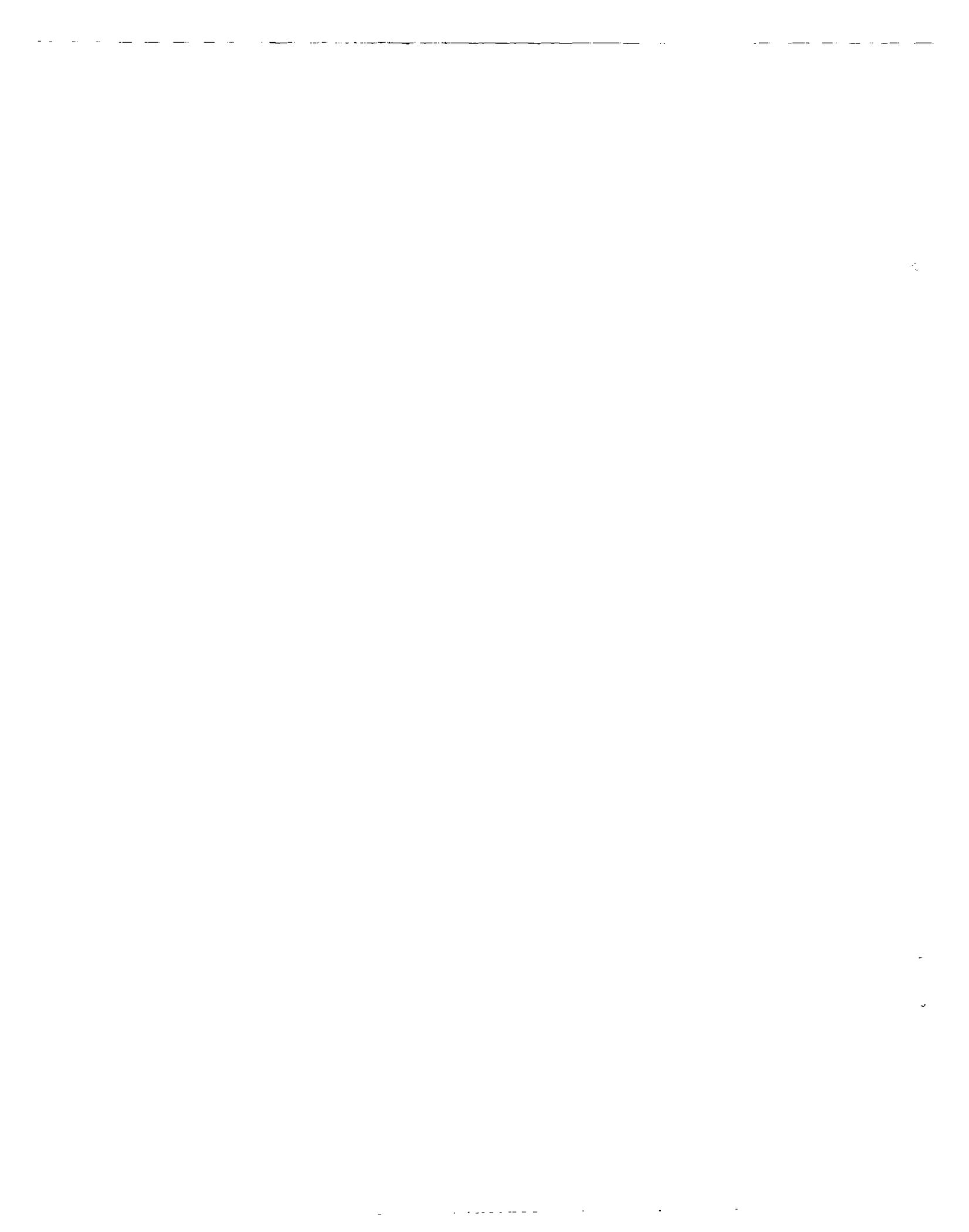
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. MAYNOR ESTRADA ROSALES
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. CARLOS MOTTA DE PAZ
VOCAL CUARTO:	Prof. GABRIEL AMADO ROSALES
VOCAL QUINTO:	Br. AUGUSTO GUERRA GUTIERREZ
SECRETARIO:	Ing. Agr. MARCO ROMILIO ESTRADA



Guatemala, noviembre de 1994.

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Señores representantes:

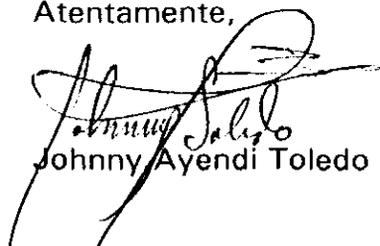
De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

**"ESTUDIO DE LA SOLUBILIDAD DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES PARA LAS PLANTAS (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn), PROVENIENTES DE MEZCLAS DE PULPA DE CAFE (*Coffea arabica*) Y LIRIO ACUATICO (*Eichhornia crassipes*), MEDIANTE LA SOLUCION EXTRACTORA CAROLINA DEL NORTE. SAN CRISTOBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ".**

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo de investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento por la atención a la presente.

Atentamente,



Johnny Ayendi Toledo González

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



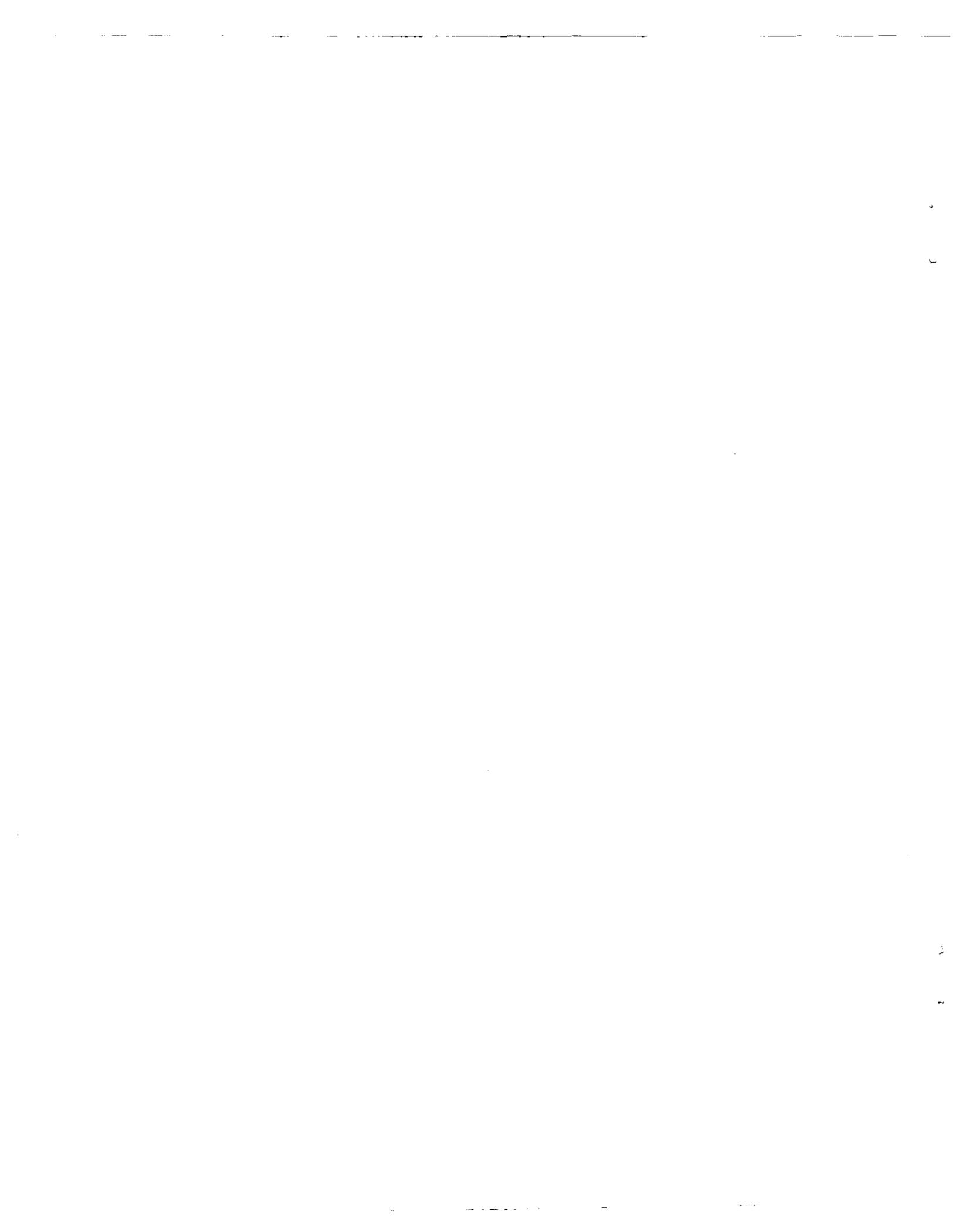




**A MI FAMILIA EN GENERAL**      Como una muestra de cariño y agradecimiento por su apoyo.

**A MIS AMIGOS Y  
COMPAÑEROS**                      Como muestra de amistad y recuerdo a las experiencias que hemos compartido.

Arnoldo Vielman, Gualberto Arévalo, Carlos Bonilla, Alberto Mazariegos, Plinio López, Harold Sagastume, Fredy Marroquín, Carlos Lemus, Jorge Rivera, Hugo Hernández Solares, Lucrecia de León, Pedro Peláez, Fernando González, Mario Escobedo, Julio Vásquez, Iván Santos, Oswald Chacón, Edgar Cappa, Nelson Guzmán, José Miguel Barrios, Mynor Pimentel, Ronaldo Camey, Ricardo Yup, Guillermo Morales, Julio Tzirín, Fredy Monterroso, Ronald Elías, Ana violeta de Elías, Jorge Reyes, Héctor Sánchez, Juan Carlos Lemus, Gabriel Rosales, Gustavo Hernández.



**TESIS QUE DEDICO**

**A:** Guatemala.

Mis centros de estudio.

Los estudiantes de la Facultad de agronomía promoción '89.

Mis Compañeros del grupo de Sistemas I y II, Campamento "Chichoj", San Cristóbal Verapaz: Fernando González, Ronaldo Camey, Alfonso Véliz, Edgar Cruz, Carlos Rivera, Mynor Pérez, José de Paz, Plinio López, Carlos Bonilla, Carlos Lemus, Lucrecia de León, Luis Ricardo Yup.

Mis compañeros de E. P. S. en San Cristóbal Verapaz.

Las Señoras: María Olivia López, ejemplo de lucha y sacrificio; Julia Etelvina villatoro, Myrna Díaz y Sandra Díaz, gracias por toda la ayuda hacia mi persona.



## AGRADECIMIENTO

A: Todas las personas que le han brindado momentos de felicidad a mi madre, durante la ausencia de sus hijos.

La Asociación Cristiana de Jóvenes de Guatemala, por el apoyo recibido.

Mis asesores de tesis: Ing Agr. Aníbal Sacbajá y Ing. Agr. Fredy Hernández Ola. Gracias por el apoyo recibido en la orientación del trabajo.

Los compañeros de E. P. S. en San Cristóbal Verapaz, gracias por el apoyo recibido.

Ing. Agr. Pedro Peláez, por el apoyo recibido en la realización de mis prácticas profesionales.

Las familias: Rossell-Reynoso, Rivera-Zepeda, Secaida-García y Mejía-Vielman

El personal de la subárea de Métodos de Cuantificación e Investigación. Gracias por la ayuda recibida.

El laboratorio de Análisis de Suelo y PLanta "Salvador Castillo" de la Facultad de Agronomía, en especial al Ing. Agr. Aníbal Sacbajá e Ing. Agr. Hugo Jordan.



## CONTENIDO GENERAL

	PAGINA
RESUMEN.....	xii
1: INTRODUCCION.....	1
2: DELIMITACION DEL PROBLEMA.....	2
3: MARCO TEORICO.....	3
3.1 Marco conceptual.....	3
3.1.1 Formas de mantener e incrementar el contenido de materia orgánica en los suelos.....	3
3.1.2 Como se efectúa la descomposición del abono orgánico.....	4
3.1.2.1 Niveles de carbono/nitrógeno.....	5
3.1.2.2 Espacio/tamaño de las partículas.....	5
3.1.2.3 Ventilación interna.....	6
3.1.2.4 Humedad.....	6
3.1.2.5 Temperatura.....	7
3.1.2.6 Balance nutritivo.....	7
3.1.3 Establecimiento de aboneras.....	7
3.1.4 La Pulpa de café como abono.....	8
3.1.4.1 Qué es la pulpa de café.....	8
3.1.4.2 Composición química.....	8
3.1.4.3 Valor de la pulpa como abono.....	9
3.1.4.4 Factores que dificultan el uso de la pulpa de café como abono.....	11
3.1.4.5 Como abonar con pulpa.....	12
3.1.5 Las plantas acuáticas en los sistemas de depuración.....	13
3.1.6. Características, reproducción y composición del lirio acuático.....	14
3.1.7 El problema del lirio acuático en cuerpos de agua.....	15
3.1.8 Formas de aprovechamiento de lirio acuático.....	18
3.1.9 Contaminación de lagos y lagunas de Guatemala.....	19
3.2. Marco referencial.....	20
3.2.1 Localización.....	20



3.2.2	Climatología.....	21
3.2.3	Zona de vida.....	21
3.2.4	Suelos.....	21
4.	OBJETIVOS.....	22
5.	METODOLOGIA.....	23
5.1	Tratamientos.....	23
5.2	Variables medidas.....	23
5.3	Métodos.....	23
5.4	Manejo del experimento.....	24
5.5	Análisis de la información.....	26
6.	RESULTADOS.....	28
6.1	Análisis de elementos totales.....	28
6.2	Tiempos de muestreo.....	28
6.3	Mezclas evaluadas.....	37
6.4	Porcentajes de solubilidad.....	45
6.5	Comportamiento de la Materia orgánica.....	46
6.6	Comportamiento del p <sup>H</sup> .....	50
6.7	Comportamiento de la temperatura en las aboneras.....	50
6.8	El lirio acuático como fuente de abono.....	54
7	CONCLUSIONES.....	59
8.	RECOMENDACIONES.....	60
9.	BIBLIOGRAFIA.....	61
9.	ANEXO.....	65



## INDICE DE CUADROS

		PAGINA
1.	Composición química de la pulpa de café.....	8
2.	Contenido de nutrientes en pulpa de café según ANACAFE.....	9
3.	Descripción de las variables y métodos utilizados a nivel de laboratorio.....	24
4.	Resultados de elementos totales ( <i>ppm</i> ), $p^H$ y materia orgánica (%) para lirio acuático y pulpa de café.....	28
5.	Tiempo de mayor solubilidad para cada elemento esencial a las plantas, utilizando la asolución extractora Carolina del Norte.....	36
6.	Proporción de lirio acuático y pulpa de café que apporto la mayor concentración para cada elemento, utilizando la solución extractora Carolina del Norte.....	45
7.	Porcentaje de solubilidad de los elementos evaluados para los dos materiales orgánicos.....	46
8.	Temperatura (promedio de 5 días) para cada proporción, durante la fase de campo.....	55
9A.	Resultados de laboratorio para elementos esenciales a las plantas ( <i>ppm</i> ), materia orgánica y $p^H$ , para cada muestreo realizado y mezcla evaluada.....	66
10A.	Promedios para cada elemento esencial ( <i>ppm</i> ), $p^H$ y materia orgánica (%), correspondientes a tiempos de muestreo y proporciones de lirio-pulpa de café.....	67
11A.	Temperatura ambiental promedio diaria ( $^{\circ}C$ ), para la estación meteorológica San Cristóbal, del 18 de diciembre de 1993 al 28 de marzo de 1994.....	68
12A.	Datos de reducción (Ha.) de la laguna Chichoj, de 1954 a 1991.....	68
13A.	Programa para realizar el análisis de correlación, utilizando SAS.....	69



## INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
1. Cantidad de potasio extraído ( <i>ppm</i> ) por muestreo.....	29
2. Cantidad de calcio extraído ( <i>ppm</i> ) por muestreo.....	30
3. Cantidad de magnesio extraído ( <i>ppm</i> ) por muestreo.....	31
4. Cantidad de cobre extraído ( <i>ppm</i> ) por muestreo.....	32
5. Cantidad de hierro extraído ( <i>ppm</i> ) por muestreo.....	33
6. Cantidad de zinc extraído ( <i>ppm</i> ) por muestreo.....	34
7. Cantidad de manganeso extraído ( <i>ppm</i> ) por muestreo.....	35
8. Cantidad de potasio extraído ( <i>ppm</i> ) por mezcla.....	38
9. Cantidad de calcio extraído ( <i>ppm</i> ) por mezcla.....	39
10. Cantidad de magnesio extraído ( <i>ppm</i> ) por mezcla.....	40
11. Cantidad de cobre extraído ( <i>ppm</i> ) por mezcla.....	41
12. Cantidad de hierro extraído ( <i>ppm</i> ) por mezcla.....	42
13. Cantidad de zinc extraído ( <i>ppm</i> ) por mezcla.....	43
14. Cantidad de manganeso extraído ( <i>ppm</i> ) por mezcla.....	44
15. Contenido de materia orgánica (%) por muestreo.....	47
16. Contenido de materia orgánica (%) por muestreo.....	48
17. Contenido de materia orgánica (%) por muestreo.....	49
18. Valores de $p^H$ por muestreo realizado.....	51
19. Valores de $p^H$ por muestreo realizado.....	52
20. Valores de $p^H$ por muestreo realizado.....	53
21. Temperaturas por mezcla analizada durante la fase de campo.....	56



ESTUDIO DE LA SOLUBILIDAD DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES PARA LAS PLANTAS (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn), PROVENIENTES DE MEZCLAS DE PULPA DE CAFE (*Coffea arabica*) Y LIRIO ACUATICO (*Eichhornia crassipes*), MEDIANTE LA SOLUCION EXTRACTORA CAROLINA DEL NORTE. SAN CRISTOBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ.

STUDY OF THE SOLUBILITY OF ESSENTIAL ELEMENTS FOR PLANTS (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn), FROM MIXTURES OF COFFE PULP (*Coffea arabica*) AND AQUATIC LILY (*Eichhornia crassipes*), USING THE NORTH CAROLINA EXTRACTING SOLUTION. SAN CRISTOBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ.

### RESUMEN

Actualmente, la Laguna Chichoj ha perdido su atracción turística y recreacionista, dejando de ser además, una fuente de ingresos para familias que se dedican a la pesca y al comercio, debido a la canalización sin tratamiento de los desechos industriales (Fábrica de Calzado Cobán, beneficios húmedos de café, y pequeñas tenerías) y desechos orgánicos e inorgánicos (drenajes municipales y basura) de la población que vive en sus márgenes y en la de sus afluentes, encontrándose en un proceso acelerado de eutroficación, con una alta contaminación.

Dentro de los mecanismos de limpieza y saneamiento que se pueden adoptar, se encuentra la producción de materia orgánica, como un método ecológico que permite utilizar materiales como los que se evaluaron en la presente investigación. Así, el lirio acuático (*E. crassipes*) se convierte en un agente biológico recuperador de la laguna, primero al extraer nutrientes y segundo como fuente de un tipo de fertilizante agrícola para regiones cercanas. La pulpa de café (*C. arabica*) deja de ser una fuente de contaminación para la laguna y se obtiene un beneficio de la misma, al utilizarse como abono orgánico.

Dichos materiales orgánicos se evaluaron bajo 6 proporciones (en base a porcentaje) utilizando aboneras de descomposición, realizando muestreos a cada 10 días (10 muestreos en total). Dichas muestras se analizaron con la solución extractora Carolina del Norte.

Se presentaron concentraciones altas de solubilidad para el potasio, calcio, magnesio y zinc, entre los 40 y 50 días de descomposición. La proporción 60-40%



de lirio acuático-pulpa de café presentó concentraciones altas de solubilidad para magnesio, cobre, hierro y zinc. La materia orgánica y el pH, disminuyeron conforme aumentó el período de descomposición, estabilizándose a partir de los cuarenta días, con valores de 18.49% y 7.5 respectivamente.

Se recomienda realizar una prueba biológica a nivel de invernadero, utilizando como fuente orgánica la proporción 60-40% lirio acuático-pulpa de café, luego de 40 a 50 días de descomposición. Para evaluar otros materiales orgánicos es recomendable definir en base al análisis de los elementos totales, las proporciones a evaluar.



## 1. INTRODUCCION

Con la finalidad de prolongar la vida de la Laguna Chichoj, la Asociación Cristiana de Jóvenes (A. C. J.), se ha interesado en orientar temas de investigación a puntos específicos para el rescate de la laguna. Dentro de dicho proyecto se contempla lograr un saneamiento de la laguna y que se brinden soluciones a las principales fuentes de contaminación (basura y pulpa de café principalmente), a través de la utilización de una agricultura orgánica, unida con la vegetación acuática. Dicha situación conduce a evaluar la pulpa de café (*C. arabica*) y lirio acuático (*E. crassipes*) como abono orgánico.

Actualmente la Laguna Chichoj presenta dos grandes áreas de agua unidas por una especie de garganta estrecha, semejando la forma de un ocho, con una profundidad promedio de 12 metros (1, 3, 31). La mayor parte del área de la laguna se encuentra rodeada por pastizales. Para 1954 el área de la laguna era de 49 ha. y para 1991 era de 37 ha., reduciéndose 12 ha. en 37 años (31). Dentro del proceso de sucesión ecológica de la laguna, la segunda fase es dominada por la especie *E. crassipes*, siendo el primer productor de hoja ancha.

El objetivo de evaluar la pulpa de café (*C. arabica*) y lirio acuático (*E. crassipes*) como fuentes de abono orgánico, es para conocer su aporte nutricional.

La investigación, pretendió generar información sobre un uso alternativo que se le puede dar a los materiales orgánicos evaluados, esperando que dicha información se pueda utilizar no sólo para la zona, sino también en otras regiones donde los cuerpos de agua, presenten similares problemas de contaminación.

## 2. DEFINICION DEL PROBLEMA

En la actualidad, la Laguna Chichoij se encuentra en un proceso acelerado de eutroficación, teniendo ocupada gran parte de su superficie por lirio acuático (*E. crassipes*), primer productor de hoja ancha que se encuentra en la sucesión ecológica de dicho cuerpo de agua. Unido a esto, se tiene que dentro de las fuentes de contaminación, la pulpa de café (*C. arabica*) como subproducto del beneficiado húmedo del grano no es utilizada y es un agente de contaminación importante, tanto por la presencia del material como por las aguas residuales de su proceso, pues los beneficios o centros de acopio se localizan a la orilla de la laguna o cerca del afluente de la misma, hacia donde se descarga dicho subproducto.

El café (*C. arabica*) como cultivo, es el más importante tanto dentro de la microcuenca como a nivel municipal y departamental, por la superficie que ocupa.

(31)

Se pretendió encontrar un uso, a un material que es fuente de contaminación y a un productor vegetal acuático, con el fin de poder mantener la población de éste último, dentro de un rango permisible que contribuya, tanto a la depuración de las aguas de la laguna, como a reducir el proceso de eutroficación en que se encuentra la misma. Dichos materiales orgánicos se evaluaron en aboneras de descomposición, para conocer el aporte nutrimental que pueden hacer a las plantas.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1 Marco conceptual**

##### **3.1.1 Formas de mantener e incrementar el contenido de materia orgánica en los suelos**

La materia orgánica proporciona al suelo, energía y carbono para los microorganismos; estos al descomponerla contribuyen a la formación de humus y de subproductos de descomposición, factores esenciales de la existencia de una buena estructura compuesta de agregados estables. En consecuencia la materia orgánica tiende a aumentar la porosidad y la aireación del suelo. Contribuye así a elevar el grado de infiltración y la capacidad de absorción del agua de los suelos. (9, 10)

Se comprende por tanto, cuán peligrosa puede ser su desaparición por destrucción de la vegetación sin reemplazarla como consecuencia de un laboreo excesivo o inadecuado del suelo, por no devolver al mismo los residuos de cosecha, o por erosión que ataca la rizósfera que constituye el horizonte biodinámicamente activo de la litosfera. Es en efecto, a su nivel donde se realizan en los ecosistemas las últimas etapas del reciclaje de numerosos elementos minerales. (10)

Los métodos para mantener la materia orgánica del suelo estarán basados en trabajos de investigación, de laboratorio, invernaderos y finalmente de campo o aplicación directa. La práctica de cultivos en suelos arenosos requiere en la mayoría de los casos métodos especiales debido a que la materia orgánica en ellos se descompone rápidamente. Una incorrecta enmienda o la misma incorporación del material fresco al suelo puede causar pérdidas en el contenido de material orgánico. (10)

4

El abonado con rastrojos en regiones de suelos arenosos además de mejorar las condiciones edáficas ayuda a evitar la erosión eólica e hídrica. El objetivo del mulch, generalmente formado por desperdicios vegetales que se aplica uniformemente a la superficie del suelo es lograr por diversos medios mejorar las condiciones del suelo. Así mismo, se protege al suelo de las erosiones eólicas e hídricas, y se aumenta la cantidad de agua almacenada en el suelo. Su aplicación continua con la labranza mínima, llevará a no disturbar la capa arable y facilitar el aumento de materia orgánica. Sumando a ello, la aplicación de abonos químicos llevará al aumento de los rendimientos. (10)

Los subproductos de la agro-industria, como la pulpa de café, la cachaza, el bagazo y otros, tienden también a incrementar la materia orgánica de los suelos, aplicándose sola o con acción suplementaria de abonos químicos. (10)

La reposición del contenido de materia orgánica después de un agotamiento, es un proceso lento. Por lo tanto, se deben tomar medidas correctivas a través de la producción e incorporación de abonos verdes y residuos de animales, y de la constante restitución de los residuos vegetales de cosecha. (9)

### **3.1.2 Como se efectúa la descomposición del abono orgánico**

La preparación del compost es una práctica muy antigua y necesita ser estimulada en el campo y asociada en la utilización de varios desperdicios orgánicos. (10)

Frecuentemente es ventajoso combinar dos o más fuentes de desperdicios para facilitar la preparación y mejorar la calidad del compost. (10)

En el proceso aeróbico/termófilo de la preparación del compost, se considera

como parámetros principales, una temperatura óptima entre 60 y 70 °C, el contenido de humedad óptima entre 40-60% (por peso), buena aireación o un continuo abastecimiento de oxígeno que asegure el proceso aeróbico/termofílico, una relación carbono:nitrógeno entre 25:1 a 35:1, el pH óptimo entre 6 a 7.5 y la reducción del tamaño de las partículas. (10)

### **3.1.2.1 Niveles de carbono/nitrógeno**

Los microorganismos en la composición de abono orgánico oxidan el carbón como una fuente de energía e ingieren nitrógeno para su síntesis de proteína. Un nivel de carbono/nitrógeno de 30:1 a 40:1 por peso es considerado esencial para su descomposición microbiana. A niveles inferiores el nitrógeno se vuelve volátil en forma de amoníaco, el cual causa mal olor. Cuando el nivel de carbono/nitrógeno es demasiado alto, el nitrógeno se limita y la descomposición disminuye su proceso. Por lo mismo, se debe variar la mezcla de varios materiales orgánicos para poder obtener un nivel favorable de C/N. (14)

### **3.1.2.2 Espacio y tamaño de las partículas**

Generalmente al actividad microbiana ocurre por encima de las partículas orgánicas. Por lo mismo, disminuyendo el tamaño de partículas causa un aumento de espacio que conduce a la actividad microbiana y aumenta el grado de descomposición. Por otro lado, cuando las partículas son muy pequeñas, la ventilación disminuye provocando una merma en el oxígeno disponible a los microorganismos presentes, que en consecuencia disminuyen la actividad microbiana. (14)

### 3.1.2.3 Ventilación interna

El oxígeno es esencial para el metabolismo y respiración de microorganismos aeróbicos y para la oxidación de moléculas orgánicas. Al principio de la actividad de oxidación microbiana, la concentración de oxígeno en los poros es de 15-20% (similar a la composición normal del aire) y el CO<sub>2</sub> varía de 0.5-5%. Cuando la actividad biológica progresa, la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> aumenta. Si la concentración promedio de O<sub>2</sub> presente cae a menos de 5%, regiones de condiciones anaeróbicas se presentan. Con el tiempo, las poblaciones microbianas anaeróbicas sobrepasan la población microbiana aeróbica y nuevas vías respiratorias bioquímicas se usan para desintegrar la materia orgánica. Esto generalmente conduce a mezclas intermedias con más olores nauseabundos que los que se asocian con metabolismos de oxidación donde los contenidos de CO<sub>2</sub>, agua y nitrógeno forman la mayor parte. Para mantener las condiciones aeróbicas se hace necesario el uso de varios métodos como barrenando agujeros de ventilación, entradas de aire, mezclar y revolver el abono mecánicamente, etc. (14)

### 3.1.2.4 Humedad

La descomposición inducida por microbios ocurre más rápidamente en las delgadas capas de líquido que se encuentran por encima de las partículas delgadas orgánicas. Una menor cantidad de humedad evita la activación bacteriana, y mucha humedad resulta en una descomposición más lenta, malos olores (más bolsas anaeróbicas) y pobre nutrimento. Aunque un contenido de humedad de 40-60% es considerado óptimo, determinado por medio de procedimientos estándar, los valores pueden ser confusos. El material putrefacto deberá sentirse mojado al contacto, con

sólo una gota o dos de líquido expulsada cuando el contenido se aprieta en la mano. (14)

#### **3.1.2.5 Temperatura**

El calor se produce como resultado de la desintegración microbiana del material orgánico. Lo ideal en métodos comerciales, es una temperatura entre 50-60 °C, que se alcanza en pocos días. Arriba de los 60 °C, van en detrimento a la actividad metabólica de los microorganismos. (14)

#### **3.1.2.6 Balance Nutritivo**

Fósforo, potasio y minerales (calcio, hierro, cobre, etc), son esenciales para el metabolismo microbiano. Los niveles de estos nutrientes pueden ser ajustados por medio del uso de fertilizantes. Las algas marinas contienen nitrógeno, fósforo y potasio, siendo un buen recurso nutritivo. La pulpa de café aporta nitrógeno, fósforo y otros elementos, siendo buen material, pero ácido. (14)

#### **3.1.3 Establecimiento de aboneras**

Cualquier agricultor puede construir aboneras en su terreno, pues los materiales que se usan comúnmente se consiguen en él, resultando fácil su descomposición y aprovechamiento. Los tipos de aboneras que más se utilizan son: 1) de trinchera o aérea, 2) de jaula, y 3) de fosa o silo. El sitio para construirla debe poseer agua cerca, lejos de habitaciones y cerca del terreno a aplicar. El tamaño de las aboneras puede variar en función de la humedad, ambiente, temperatura y la cantidad de materia prima con que se cuente. El material de que se trate debe ir colocándose en la abonera en

8

forma de capas, a manera de que todo quede bien apretado y acondicionado. Se le pone tierra como una capa separadora por poseer las siguientes propiedades: aumenta el contenido de microorganismos, facilita la descomposición, equilibra la humedad, absorbe amonio, mejora las condiciones de acidez, actúa como diluyente en la fermentación y da al abono una textura granular que facilita su manipuleo. (18)

### **3.1.4 La Pulpa de café como abono**

#### **3.1.4.1 Qué es la pulpa de café**

La pulpa es la parte de la cereza de café, formada por el epicarpio o película roja y casi la totalidad del mesocarpio o capa de tejido blando, hialino, que rodea el endocarpio o pergamino. La pulpa se desprende del grano en la fase inicial del beneficiado, o sea, al comenzar el conjunto de operaciones que se ejecutan luego de cosechar el fruto, para preparar el producto (grano) que se lleva al mercado. (30)

#### **3.1.4.2) Composición química**

Con base en varios análisis efectuados en Colombia y Centro América, Suarez (30) da cifras indicativas de la composición química de la pulpa, las cuales se presentan en el cuadro 1.

El contenido de materia orgánica como de nitrógeno y potasio son mayores que las del abono de establo, el estiércol de aves y el compost de basura. (30)

En el cuadro 2 se presentan los resultados del análisis químico de la pulpa de café, según los análisis de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE). (12)

CUADRO 1. Composición química de la pulpa de café

Elemento	Contenido (%)
Humedad	74-78
Materia orgánica	90-92
Nitrógeno total	1.4-1.9
Fósforo total	0.3-0.35
Potasio	3.5-3.7

Fuente: Suarez de Castro (1960).

CUADRO 2. Contenido de nutrientes en pulpa de café según ANACAFE (12).

Elemento	Contenido (%)
Nitrógeno	0.70
Fósforo	0.15
Potasio	1.40
Calcio	0.40
Magnesio	0.17

Fuente: Hernández Paz (1988).

### 3.1.4.3 Valor de la pulpa como abono

En experimentos realizados en Colombia, Brasil y Centro América, se ha probado que la pulpa de café es un valioso abono orgánico y su aplicación produce aumentos significativos en la producción de café y otras plantas de valor económico. Se han registrado aumentos significativos del 80 al 300%, sobre los correspondientes testigos, en la producción de cafetos a los cuales se les han aplicado entre 5 a 10 kilos de pulpa por año; su efecto ha sido mayor que la aplicación de varios fertilizantes químicos. (30)

Además, se ha encontrado que la aplicación de materia orgánica en general y de pulpa de café en particular, produce efectos benéficos en el control de algunas dolencias:

- a) Control de nematodos: posiblemente por la inoculación que se hace de gran número de organismos que se alimentan de parásitos, reduciendo los niveles de estos hasta niveles no perjudiciales para la planta. (30)
- b) Control de mancha de hierro: se encontró que usando una relación de pulpa de café-suelo de 60:40, se presenta un menor índice de la enfermedad y mayor vigor en las plantas, en comparación a utilizar suelo con fertilizante y sólo suelo. Los resultados indican la factibilidad de usar la pulpa como abono y controlador de la enfermedad. (6)
- c) Se encontró que al utilizar bolsas de polietileno de 20 x 25 cm. de diámetro y altura respectivamente, combinada con el uso de la pulpa como abono, se producen plantas con mayor altura y con mayor número de horquetas ocasionada por un buen desarrollo radicular. La pulpa se comparó con una combinación de la misma con cachaza y gallinaza. (2)
- d) Suarez de Castro (30), reporta que en Guatemala se utiliza la pulpa de café en la preparación de compost. Ha dado buen resultado en proporciones de 3 a 4 partes de pulpa con 1 parte de grava o piedra pómez que le da aireación.
- e) Se ha trabajado en cuanto a su valor nutritivo, aplicando diferentes raciones experimentales a cerdos, pollos y rumiantes. Además, se ha trabajado en la producción de hongos comestibles sobre la pulpa de café a nivel comercial (27).

#### **3.1.4.4 Factores que dificultan el uso de la pulpa de café como abono**

Hay varias circunstancias que dificultan la eficaz utilización en América Latina de tan valioso abono. En el caso de Centro América, la mayor parte de la cosecha de café se despulpa, fermenta y seca en unos pocos centenares de beneficios de gran tamaño. El cultivador de café vende su cosecha en cereza, y por lo tanto tiene luego que acarrear la pulpa desde el beneficio hasta su finca. Como este transporte no puede hacerse durante la época de la cosecha, por estar ocupada toda la mano de obra disponible en la recolección, la pulpa se almacena en los beneficios, en grandes zanjas que luego de llenarlas se cubren con tierra. Al terminar la recolección y beneficio de café, comienza a sacarse esa pulpa, que no ha sufrido ninguna clase de descomposición sino que ha permanecido ensilada, para utilizarla como abono. El material tiene entonces hasta un 75% de humedad lo cual encarece y dificulta su transporte. Al llevar la pulpa a las fincas si no se dispone inmediatamente de mano de obra libre, se amontona en las calles, en ocasiones hasta por varias semanas; convirtiéndose así en criadero de mosca doméstica, insecto que constituye un peligro para la salud de la población. (30)

Estas dos circunstancias dificultan la utilización amplia de la pulpa en los cafetales, pues encarecen su transporte, por una parte y obligan a los gobiernos a mantener restricciones y vigilancia sobre la manera de como se maneja el subproducto. A pesar de estas limitaciones algunos cafetaleros usan la pulpa de café como fuente de abono orgánico. En el caso de Colombia donde en general, aún las fincas más pequeñas benefician el café que producen, es más fácil almacenar el material en fosas sencillas para luego transportarlo paulatinamente a los cafetales. (30)

### 3.1.4.5 Como abonar con pulpa

En Colombia la Federación Nacional de Cafeteros recomienda un sistema de fosas de descomposición en donde la pulpa se mezcla con otros residuos de la finca. La pulpa fresca o más o menos descompuesta, se debe aplicar de 5 a 10 kilos alrededor de cada cafeto, sin que de contra el tronco, ni quede amontonada, e incorporarla ligeramente al suelo con un rastrillo de dientes. Con las dosis aconsejadas, la pulpa que produce 5 a 10 hectáreas de cafetal alcanza para abonar una hectárea. Resulta también muy conveniente combinar la fertilización química anual con un abonado orgánico cada dos o tres años. En ese caso, toda la pulpa que vaya a usarse se pone en la primera abonada. Este sistema tiene la ventaja de evitar que el  $p^H$  del suelo se baje por efecto de las sales químicas y se asegura una ampliación del período de disponibilidad de los nutrientes a la planta. (30)

Según la Asociación Nacional del Café (ANACAFE), si se agrega materia orgánica, la fuente más accesible y económica es la pulpa de café; ésta, debidamente descompuesta con unos 6 meses en lugar adecuado, seca y desmenuzada, se mezcla en las proporciones siguientes: Para suelo franco, 2 partes de suelo por una de pulpa; para suelos arcillosos, 2 partes de suelo por una parte de arena y una de pulpa. Si es necesario, tamizarlo con un cernidor de 6 mm. (1/4"). (12)

Para que los abonos orgánicos producidos en la finca puedan aportar cantidades significativas de nutrientes en los suelos para el cafeto, deben aplicarse en cantidades 10 veces mayores, y aún más, que la de fertilizantes químicos. Aún así, se necesitan suplementos de fertilizantes químicos para balancear las proporciones de elementos y hacer otras compensaciones. Con respecto a la pulpa de café, se ha recomendado cantidades de más de 10 libras por cafeto adulto, sin omitir o sólo reduciendo las

aplicaciones normales de fertilizantes químico. Las mayores limitantes en relación con el uso generalizado de abonos orgánicos en cafetales está en dificultades para producirlos en grandes cantidades y el costo de su acarreo. (12)

### **3.1.5 Las plantas acuáticas en los sistemas de depuración.**

Los sistemas de depuración que utilizan plantas flotantes, consisten en estanques o canales de profundidad variable (0.4-0.5 metros), alimentados con agua residual más o menos pretratada, en los que se desarrolla una especie flotante. Las recolectan periódicamente en cortos intervalos de tiempo (días o semanas) antes de que se produzca su descomposición en el agua. Estos sistemas son especialmente eficaces en la eliminación del nitrógeno y el fósforo, ya que estos elementos son absorbidos en grandes cantidades por las plantas. Sin embargo, las condiciones para la degradación de la materia orgánica no son las más favorables, ya que la oxigenación del agua (que favorece esta degradación) es pequeña. Esto es debido a que las plantas, al formar una cubierta en la superficie, impiden el desarrollo de algas, que son los agentes que más contribuyen a aportar oxígeno a las aguas. (16)

La especie flotantes utilizada principalmente en depuración ha sido el lirio acuático (jacinto de agua), planta de zonas tropicales, extraordinariamente productiva que ha sido empleada con éxito en el tratamiento de aguas residuales en zonas cálidas como el Sur de los Estados Unidos. En zonas frías su utilización se ve limitada por el cese de actividad de las plantas durante el período de temperaturas bajas. (16)

Asimismo, la introducción del lirio sin control riguroso en zonas en las que no desarrolla naturalmente, puede originar (y de hecho a originado) graves problemas por el carácter extremadamente invasor de esta especie. En regiones con un período de

heladas este riesgo se reduce, ya que la planta muere por debajo de cero grados centígrados (0 °C.) (16)

### 3.1.6. Características, reproducción y composición del lirio acuático

El lirio acuático tiene las siguientes características: es una planta que pertenece a la familia de las Pontederiaceae, fácil de reproducirse en climas cálidos y templados y lo mismo puede vivir en agua que en tierra; tiene los peciolos muy cortos e inflamados y los limbos extendidos dispuestos en rosetones flotantes., su tallo es un rizoma rastrero indefinido con raíz numerosamente fasciculada y flores que pueden ser blancas o violetas. (17, 29)

La reproducción de la planta puede ser por semilla y por estolones, siendo la reproducción en nuestro medio fundamentalmente vegetativa. Dichos estolones se forman en las rosetas de las hojas dando origen a otras plantas, posteriormente se independizan y continúan la diseminación hasta llegar a formar inmensas plataformas flotantes, las cuales se originan por el entrelazado de su follaje y raíces. La reproducción del lirio disminuye notablemente durante el verano y la primavera principalmente debido a la falta de lluvias y a la temperatura. Esto provoca además el marchitamiento y secado de las hojas. Un ejemplo que da idea del poder de reproducción del lirio acuático es lo acontecido en un vivero de Yaekana, Africa, en donde a partir de 2 lirios padres en 23 días se obtuvieron 30 retoños y al final de 4 meses 1,200 plantas. (17)

De acuerdo con citas hechas por Robles (24) el lirio se reproduce generalmente entre 65 y 70 días bajo condiciones ambientales propicias, una comunidad de lirios puede duplicar su número cada 2 semanas; una sola planta puede producir en el orden

de 65,000 plantas hijas durante 8 semanas. Otras estimaciones indican que de 10 plantas se puede llegar a tener una población de 600,000 en un período de 8 semanas.

Debido a esta fenomenal velocidad de crecimiento una hectárea puede producir alrededor de 600 kg. de materia seca por día, lo cual excede el rendimiento de los cultivos mas productivos. (24)

Boyd citado por Robles (24), indica que el jacinto de agua contiene aproximadamente un 90% de agua; los sólidos secos contienen entre 15 y 20% de fibra cruda, entre 0.5 y 3.5% de grasa, y entre 15 y 25% de cenizas; además, son ricos en fósforo, calcio, magnesio y azufre, etc. El perfil de aminoácidos de las proteínas del jacinto de agua se compara favorablemente con las de la semilla de algodón y soya, siendo especialmente rico en histidina, treonina lisina y leucina.

### **3.1.7 El problema del lirio acuático en cuerpos de agua**

El lirio ha sido considerado hasta fechas recientes, como una plaga causante de problemas en la conservación y operación de sistemas de riego, generación de electricidad, pesca y cultivos de peces, navegación, etc. Grandes esfuerzos han sido orientados a desarrollar procedimientos de control, especialmente en regiones tropicales. (17, 24)

Se ha visto que el problema de lirio acuático en los embalses se inicio con la introducción de aguas negras. La consecuente eliminación de los consumidores y los reductores a transformado e incluso acabado con la armonía ecológica en los vasos de agua, trayendo como resultado modificaciones como la explosión de la población de lirio acuático afectando cuantitativamente a otras especies integrantes del

plancton. Es indudable la influencia que ejercen los nutrientes fósforo y nitrógeno en el crecimiento y excesivo desarrollo de lirio acuático; ya que el fósforo siendo un elemento biogénico imprescindible para el desarrollo, intervine en la composición de los materiales responsables de la división celular como son los ácidos nucleicos, enzima; lecitinas, etc., y de su disponibilidad depende el crecimiento apical, la maduración de las semillas y crecimiento de las raíces. (17)

Según Boyd (1970), citado por Quiroz (22), las ninfeáceas como especies, presentan cortos pero a la vez intensos períodos de absorción y acumulación de nutrientes. Además, indica que el fósforo asimilable decrece cuando existe vegetación sumergida y/o libre flotadora.

Son varios los daños que causa el lirio: obstaculización del flujo de agua, el asolve y la evapotranspiración (pérdida de grandes volúmenes de agua por funciones biológicas de la planta), ocupan los primeros lugares. (17)

El lirio absorbe el agua y las sales minerales por la porción terminal de las raíces llamadas raicillas o pelos radicales, que tienen su pared celular constituida principalmente por hemicelulosa y compuestos pécticos; estos últimos compuestos parecen ser los responsables de la adherencia que existe entre los pelos radicales y las partículas en suspensión, formando cantidades considerables de lodo el cual alcanza un peso determinado y al morir la planta va a dar al fondo del embalse, asolvándolo. Al mismo tiempo que se realiza este proceso de acumulación de asolve se acelera un fenómeno llamado eutroficación, que es el envejecimiento prematuro de lagos y grandes masas de agua, debido a la ruptura del equilibrio ecológico con preponderancia del componente vegetal en el ecosistema. (17)

El problema se genera cuando la aglomeración excesiva de lirio acuático cubre

gran parte del embalse, la irradiación queda interceptada, la masa de agua en la sombra y la función fotosintética fuertemente disminuida. El fondo de los vasos se cubre con restos vegetales (detritus) provenientes de lirio muerto, se impide el desarrollo del plancton y se reduce el área de contacto del aire con el agua, disminuyendo la transformación de oxígeno hacia el fondo del depósito. (17)

La degradación de la materia orgánica en los embalses es llevada a cabo por bacterias y otros microorganismos que la convierten en otros compuestos más simples como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua y compuestos más simples. Dichos microorganismos para realizar este proceso requieren consumir oxígeno el cual se halla disuelto en el agua, por transferencia del aire atmosférico o debido a la acción fotosintética de la flora acuática sumergida. (17)

El oxígeno disuelto en aguas dulces se encuentra en una cantidad no mayor de 12 mg/lit (ppm). Este equilibrio debido a un suministro tan menguado de oxígeno es muy sensible y por lo tanto si hay incremento en la demanda bioquímica de oxígeno ocasionada por los desechos orgánicos, habrá disminución de oxígeno a menos de 3.5 mg/lit que es en general el punto crítico para la vida acuática. Al agotarse el oxígeno disuelto toda la materia orgánica proveniente de lirio acuático y de otras fuentes: agrícolas, domésticas e industriales es depositada como asolve; este asolve sumado al provocado por el complejo problema de erosión constituye una notable disminución de la vida útil del embalse. (17)

Es de conocimiento general que el lirio acuático necesita agua para su crecimiento y desarrollo y que la requiere en cantidad considerable. Sin embargo, no es muy sabido que un alto porcentaje del agua absorbida es eliminada por la planta hacia la atmósfera sin que tenga intervención permanente en su desarrollo ni en sus

procesos metabólicos. La merma por evapotranspiración en la superficie de un cuerpo de agua cubierto por jacinto acuático ha sido calculada de 3.2 a 7.8 veces más que la pérdida por evaporación en superficies libres de cualquier maleza. (17)

### **3.1.8 Formas de aprovechamiento de lirio acuático**

Se han propuesto diversas formas de utilizar las plantas acuáticas, algunas se practicaron durante muchos años otras, constituyen innovaciones. El empleo de las plantas acuáticas como fertilizantes para abastecer al suelo de materia orgánica y minerales es uno de ellos, ya que completa lo que se denomina ciclo de nutriente abierto, el hombre cultiva las tierras, cosecha y luego consume los frutos; pero la mayoría de los desechos humanos no son devueltos al suelo; tampoco su biomasa regresa al suelo cuando el hombre muere, como ocurre con otros organismos. El ciclo nutriente que estaba abierto se cierra cuando las plantas acuáticas de las lagunas de estabilización que procesan las aguas residuales se cosechan para aplicarlas a los campos de agricultura. (25)

Estudios sobre la composición del lirio, ha demostrado que constituye una posible fuente de alimentación para animales y humanos; su conversión a productos útiles, tales como compost y metano, a través de una fermentación anaeróbica representa una aproximación promisoría para disminuir los problemas de generación de energía, en los países del tercer mundo. (25)

El lirio ha sido utilizado en diferentes países en la depuración de aguas negras (Brasil, Colombia, Nicaragua y otros) con el fin de liberarlas de los metales que se escapan a la acción de bacterias y hongos, las plantas son usadas en las últimas etapas del método conocido como lagunas de decantación; en estas lagunas que

varían entre cuatro a cinco estanques de poca profundidad se depositan los sólidos que lleva el agua. Jodos que son sustrato principal para la acción de las bacterias, que los liberan de materia orgánica, principalmente por procesos aeróbicos, pero se escapan varios elementos "no biodegradables": los metales pesados. Es entonces cuando, en las últimas "lagunas" los lirios, se encargan de extraer gran cantidad de dichos contaminantes. (25)

También se ha determinado que los lirios son capaces de medrar en las aguas de lavado de café, hasta una carga aproximada de 3,600 mg por litro de oxígeno (DQO), obteniéndose dentro de este rango, una reducción del 95% de DQO inicial, durante el período de crecimiento de las plantas. (24)

El lilio ha sido utilizado en diferentes esquemas de tratamiento de aguas cloacales, siendo especialmente útil en la remoción de algas, otras partículas suspendidas y DBO (hasta 95-97% de la carga). (Entre los minerales que los lirios son capaces de remover se encuentra el cloro, potasio, fósforo, arsénico, cromo, mercurio, hierro, plomo, níquel, zinc, magnesio y manganeso. (25)

### 3.1.9 Contaminación de lagos y lagunas de Guatemala

De acuerdo con Castañeda (4), los lagos y lagunas de Guatemala se están deteriorando rápidamente, por el mal manejo de los sistemas urbanos y rurales, especialmente por la severa degradación de sus cuencas, por la intensa deforestación y la eliminación sin tratamiento de desechos de los poblados e industrias, contaminando el agua y eutrofizando los cuerpos de agua, ocasionando un acelerado crecimiento de población vegetal, que produce biomasa en cantidad mayor a la que su fauna puede consumir.

La contaminación comienza en los ríos, al recibir agua servida de centros urbanos e industrias y por el acarreo de sedimentos que las lluvias erosionan en la cuenca deforestadas. Ejemplo de ello lo constituye el río Motagua que recibe las aguas servidas (aproximadamente 80%) de la capital, el río Samalá de Quetzaltenango, el río Guacalate de Antigua y el río Salamá de Salamá y San Jerónimo. (4, 32)

Además, el Motagua, el río Grande, el Polochic, el Chixoy, Usumacinta, el achiguate, Madre Vieja, Suchiate y otros, presentan una fuerte variación en su composición química y física entre estación y estación, que año con año deteriora más sus componentes, a parte de empeorar las condiciones de producción agraria. (4, 7)

Hay fuerte deterioro en los lagos de Amatitlán (Guatemala), Petén Itza (Petén), Izabal (Izabal) y Chichoj (Alta Verapaz). Es menos evidente aunque en todo caso existe, el deterioro en Atitlán (Sololá), Güija (Jutiapa), Calderas (Escuintla), Ayarza y del pino (Santa Rosa). (4, 32)

### **3.2. Marco referencial**

#### **3.2.1 Localización**

El campamento "Chichoj" de la Asociación Cristiana de Jóvenes (A. C. J.), se encuentra ubicado a 2 kilómetros de la cabecera municipal de San Cristóbal Verapaz y a 206 kilómetros de la ciudad Capital. El experimento se llevó a cabo en el área que ocupa la "planta de tratamiento de basura", donde se cuenta con techo de lámina y un piso de concreto con moderada pendiente lo cual ayudó para que drenara adecuadamente cualquier exceso de agua de las aboneras.

### **3.2.2 Climatología**

Según la clasificación de climas realizadas por Thornwaite (20), el clima es semicálido con invierno benigno y sin estación seca bien definida.

Para la estación meteorológica San Cristóbal, ubicada a  $15^{\circ}21'55''$  latitud norte y  $90^{\circ}28'33''$  longitud oeste, a una elevación de 1389 msnm, la temperatura promedio anual es de  $19.1^{\circ}\text{C}$ ; la precipitación normal total anual es 1695.1 mm, varía de 37.99 mm. en el mes de marzo a 311.06 mm en el mes de julio; la evapotranspiración total anual es 1950.34 mm.; la humedad relativa promedio anual es de 86.2%. (31).

### **3.2.3 Zona de Vida**

Según De la Cruz (7), de acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, la microcuenca se incluye dentro de la zona de Bosque Muy Húmedo Sub-Tropical (frío).

### **3.2.4 Suelos**

De acuerdo a la clasificación de Simmons, Tarano y Pinto (28), dentro de la microcuenca se encuentran las series Carchá y Chacalté.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. General

Obtener información sobre los elementos metálicos esenciales para las plantas, provenientes de mezclas de pulpa de café (*C. arabica*) y lirio acuático (*E. crassipes*) en forma de abono orgánico, utilizando la solución extractora Carolina del Norte.

### 4.2. Específico

Determinar el comportamiento de los elementos metálicos esenciales para las plantas (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn), en diferentes períodos de descomposición y diferentes proporciones de pulpa de café (*C. arabica*) y lirio acuático (*E. crassipes*), utilizando la solución extractora Carolina del Norte.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Tratamientos

Cada abonera tuvo un tamaño de 1 metro cúbico de material provenientes de las proporciones formadas. Las proporciones de las mezclas evaluadas fueron:

$T_1$  = lirio acuático en un 100%

$T_2$  = lirio acuático en un 80% + pulpa de café en un 20%

$T_3$  = lirio acuático en un 60% + pulpa de café en un 40%

$T_4$  = lirio acuático en un 40% + pulpa de café en un 60%

$T_5$  = lirio acuático en un 20% + pulpa de café en un 80%

$T_6$  = pulpa de café en un 100%

### 5.2 Variables medidas

Las variables que se midieron fueron los elementos extraídos mediante la solución extractora Carolina del Norte: P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn, en *ppm*; unido a estas variables se midieron las siguientes: materia orgánica (%),  $p^H$  y temperatura de las aboneras ( $^{\circ}C$ ). En el cuadro 3 se detallan las variables que se midieron y métodos utilizados para su determinación en el laboratorio.

### 5.3 Métodos

En el cuadro 3 se detallan los métodos utilizados a nivel de laboratorio para el análisis químico de cada variable de respuesta: elementos esenciales (*ppm*), materia orgánica (%) y  $p^H$ . De dichos valores se obtuvieron promedios (cuadro 11 A) para cada variable, los cuales se utilizaron para graficar con respecto al período de descomposición y proporciones evaluadas (sólo los elementos esenciales).

CUADRO 3. Descripción de las variables y métodos utilizados a nivel de laboratorio.

Determinación	Método	Referencia
<b>Totales</b>		
K-Ca-Mg-Fe-Cu-Zn-Mn	Digestión húmeda Absorción atómica	Jackson (14)
p	Colorimetría	Díaz Romeu (9)
p <sup>H</sup>	Potenciométrico	Díaz Romeu (9)
Materia orgánica	Walkey & Black Modificado	Jackson (14)
<b>Solubles</b>		
K-Ca-Mg-Fe-Cu-Zn-Mn	Carolina del Norte Absorción Atómica	Díaz Romeu (9)
P	Colorimetría	Díaz Romeu (9)
p <sup>H</sup>	Potenciométrico	Díaz Romeu (9)
Materia orgánica	Walkey & Black Modificado	Jackson (14)

#### 5.4 Manejo del experimento

5.4.1 Se inició el trabajo, recolectando lirio acuático proveniente de la laguna Chicho y pulpa de café de la cosecha actual (1993), proveniente de beneficios húmedos de café localizados en el área urbana de la cabecera municipal. El lirio se dejó acumulado fuera de la laguna durante 2 días, para que disminuyera el exceso de humedad. Dichos materiales orgánicos se trasladaron al campamento de la Asociación Cristiana de Jóvenes (A. C. J.) a la parte que ocupa la "Planta de Tratamiento de Basura".

- 5.4.2 En la "Planta de Tratamiento de Basura", se realizó una trituración del lirio acuático, utilizando la picadora que se tiene para los desechos sólidos provenientes del mercado municipal (basura); esto se hizo para tener el material más uniforme, con el fin de acelerar el proceso de descomposición.
- 5.4.3 Se trasladó el material al lugar donde se construyeron las aboneras, que es una zona bajo techo y con piso de concreto, con una pendiente adecuada para que fluya el exceso de líquidos que pudiera existir en los montículos. Las aboneras fueron del tipo "aéreas", teniendo las dimensiones siguientes: 1 metro de largo, 1 metro de ancho y 1 metro de altura, para tener un volumen de 1 metro cúbico. Para permitir la adecuada ventilación interna en las aboneras, se colocaron canutos de bambú, previamente perforados en los nudos.
- 5.4.4 Del material orgánico que se colocó al inicio del experimento, se tomó una muestra compuesta por varias submuestras para pulpa de café y lirio acuático. Dichas muestras se trasladaron al laboratorio de la Facultad de agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se realizó su análisis químico de elementos totales: P-K-Ca-Mg-Cu-Fe-Zn-Mn (*ppm*), materia orgánica (%) y  $p^H$ .
- 5.4.5 En cada una de las aboneras se llevó un control diario de la temperatura, tomándose lecturas en la mañana, al medio día y por la tarde. De estas tres lecturas se obtuvo un promedio que representó el valor diario. La temperatura

se medió utilizando un termómetro corriente, cuidando de mantener los registros de las aboneras menor a los 60 °C para asegurar la calidad del material a producir (según recomendaciones bibliográficas (8, 9, 12). El material se removió a cada 3 días con la finalidad de que perdiera rápidamente el exceso de humedad provocada por el lirio acuático, manteniendo con ello buena aireación y una descomposición homogénea.

5.4.6 A cada 10 días se tomó una muestra compuesta por varias submuestras para las proporciones evaluadas. Dichas muestras se trasladaron al laboratorio de la Facultad de agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se realizó su análisis químico de elementos solubles: P-K-Ca-Mg-Cu-Fe-Zn-Mn (*ppm*), materia orgánica (%) y  $p^H$ . Las muestras previamente fueron secadas a la sombra y luego molidas.

## 5.5 Análisis de la información

5.5.1 Para determinar la mayor solubilidad de los elementos, tanto para los períodos de descomposición como para las proporciones evaluadas, se tomó el valor máximo promedio de las gráficas correspondientes.

5.5.2 A partir del abono orgánico se determinó el % de materia orgánica. Se graficaron los valores de cada proporción con respecto al período de descomposición, lo que permitió observar el comportamiento que tuvo con respecto al tiempo; lo mismo se hizo para los valores de  $p^H$ .

**5.5.3** Los valores diarios de temperatura se utilizaron para obtener promedio a cada 5 días, por tratamiento o proporción, los cuales se graficaron con respecto al período de descomposición. La información sirvió para complementar la interpretación del proceso de descomposición.

**5.5.4** Para facilitar la interpretación de la información se elaboraron gráficas y cuadros, que permitieron condensar la información generada.

## 6. RESULTADOS

El cuadro 9A contiene los resultados para cada una de las variables analizadas. Dicha información sirvió de base para el análisis que se presenta en este apartado.

### 6.1 Análisis de elementos totales

En el cuadro 4, se presentan los resultados del análisis de elementos totales: P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn (*ppm*),  $p^H$ , y materia orgánica (%) para los materiales evaluados: lirio acuático y pulpa de café. Los elementos cobre, hierro y zinc presentan bajas concentraciones, con respecto a los demás elementos, lo que repercutió en los bajos valores de solubilidad encontrados al utilizar la solución extractora Carolina del Norte.

De los elementos evaluados, no se incluyó el fósforo para el análisis de correlación y descripción gráfica, por presentar concentraciones bajas (trazas) en la solución extractora Carolina del Norte, en todo el período de descomposición.

Cuadro 4. Resultados de elementos totales (*ppm*),  $p^H$  y materia orgánica (%) para lirio acuático y pulpa de café.

Material	%				<i>ppm</i>				$p^H$	%
	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn		
Lirio acuático	0.1575	0.8500	1.5625	0.5000	10	250	85	100	7.7	46.48
Pulpa de café	0.2215	1.9375	0.6250	0.2812	20	1375	55	2900	7.6	49.76

### 6.2 Tiempos de muestreo

De acuerdo a los datos del cuadro 9A, se obtuvieron valores medios para cada nutriente evaluado (cuadro 10A), con dichos valores se procedió a graficar (figuras 1

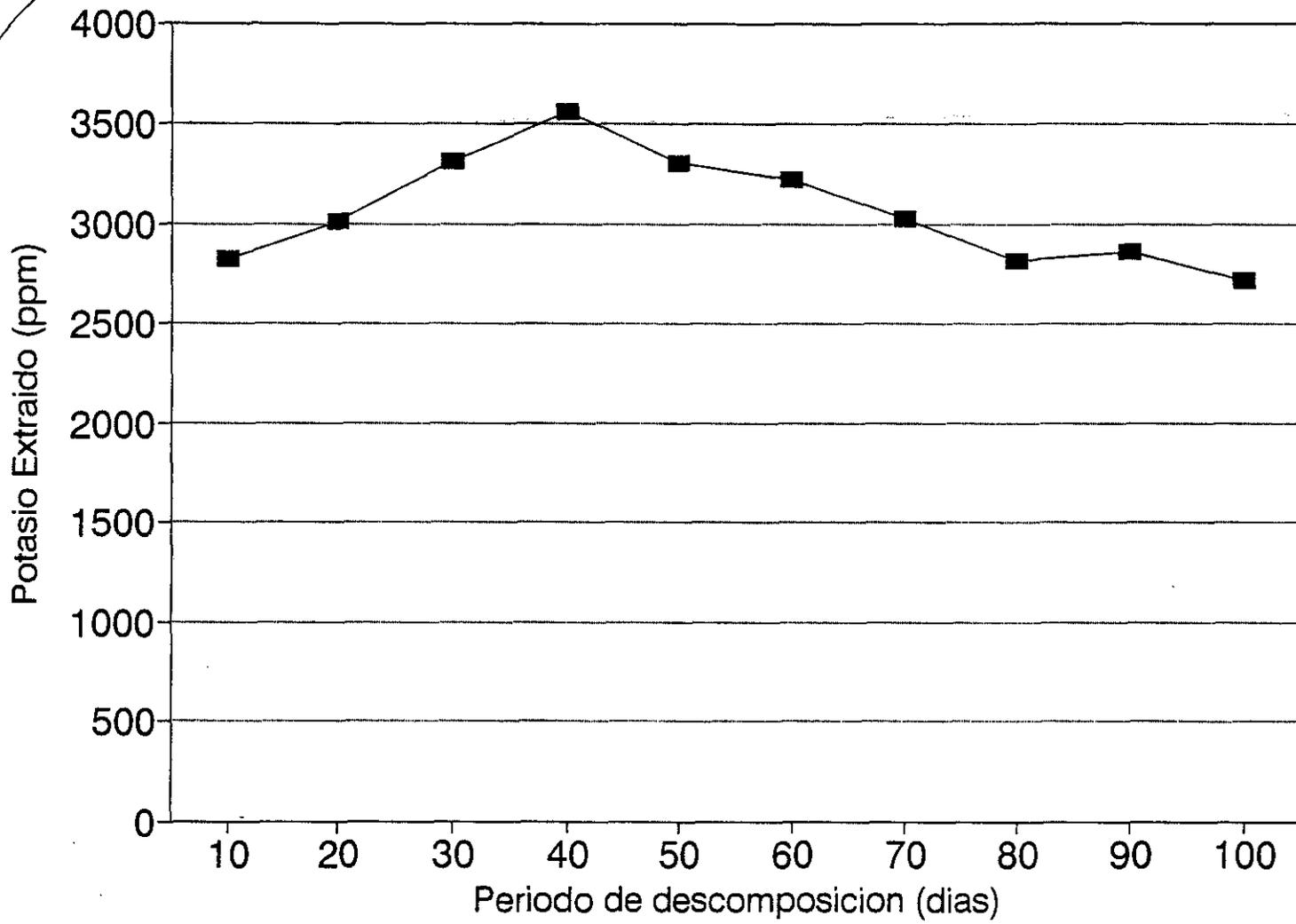


Figura 1. Cantidad de potasio extraído (ppm) por muestreo

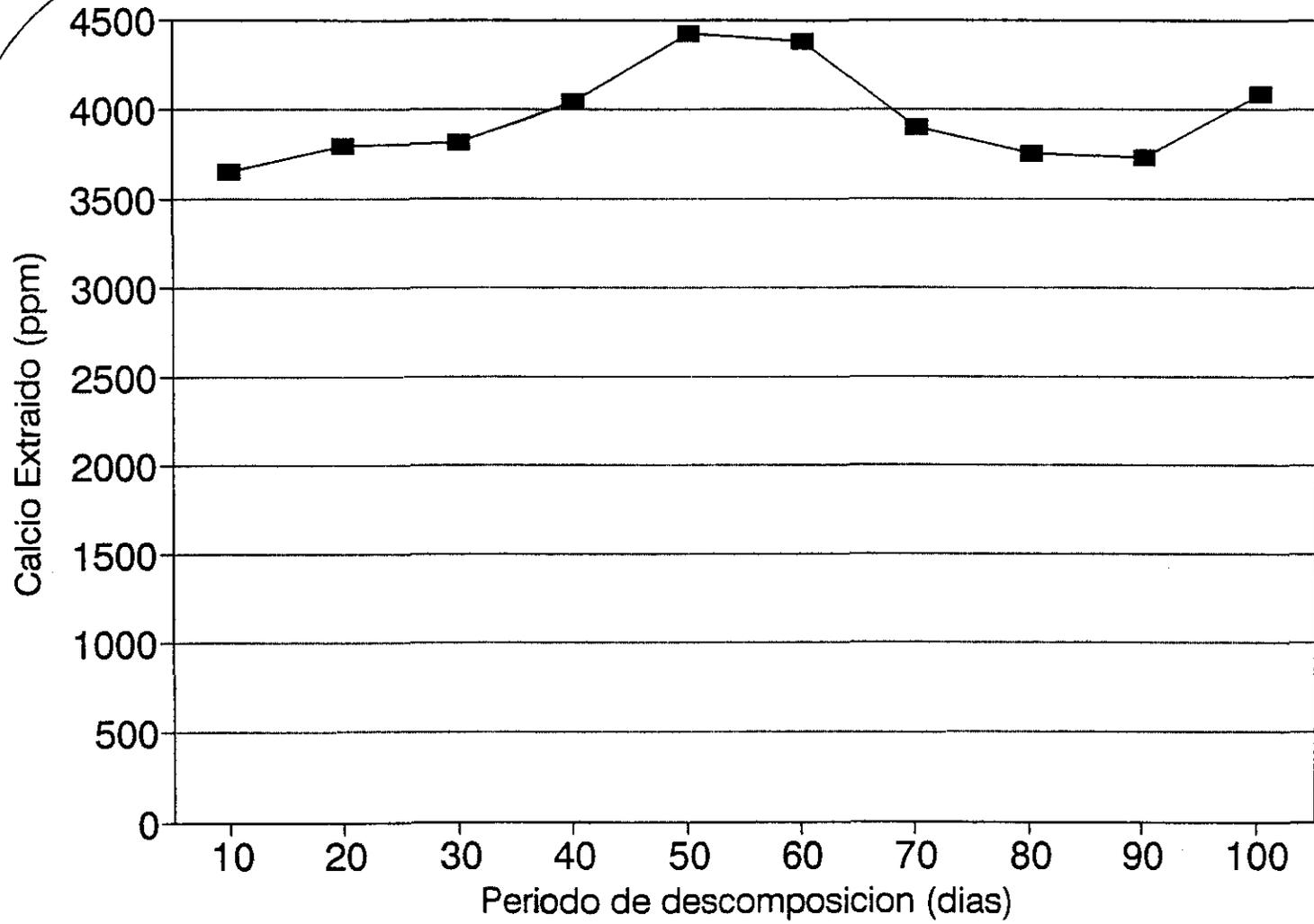


Figura 2. Cantidad de calcio extraído (ppm) por muestreo

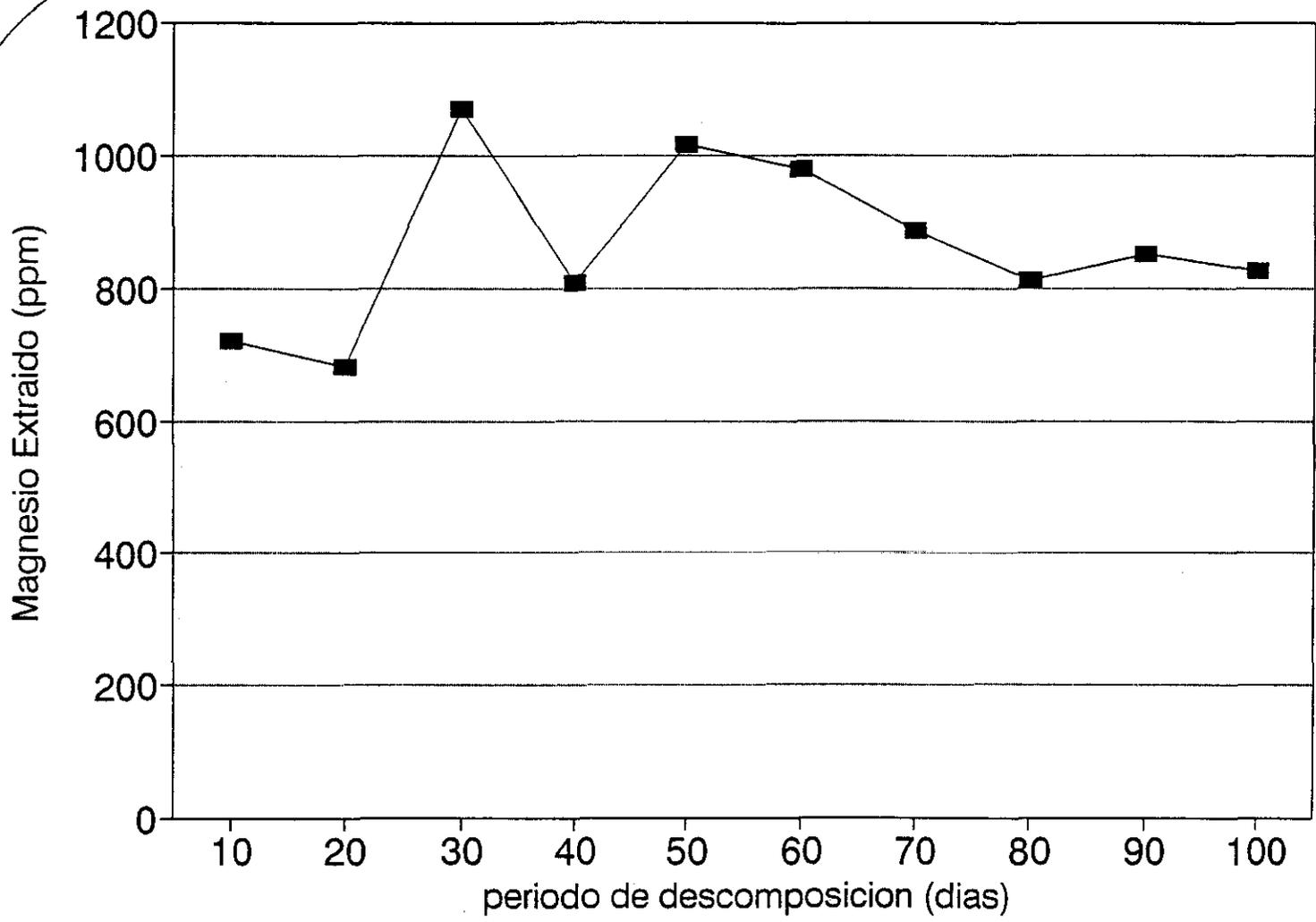


Figura 3. Cantidad de magnesio extraído (ppm) por muestreo

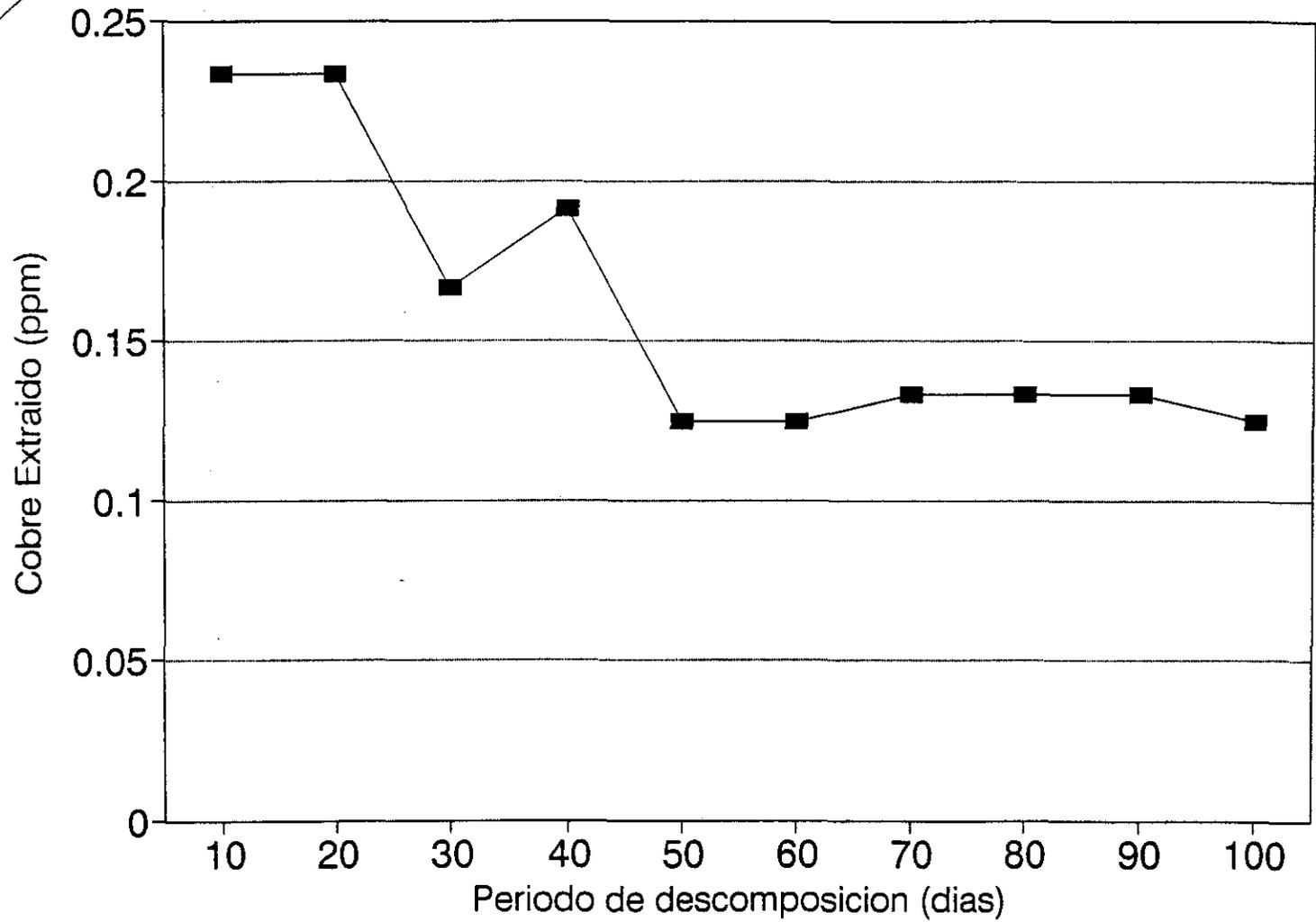


Figura 4. Cantidad de cobre extraído (ppm) por muestreo

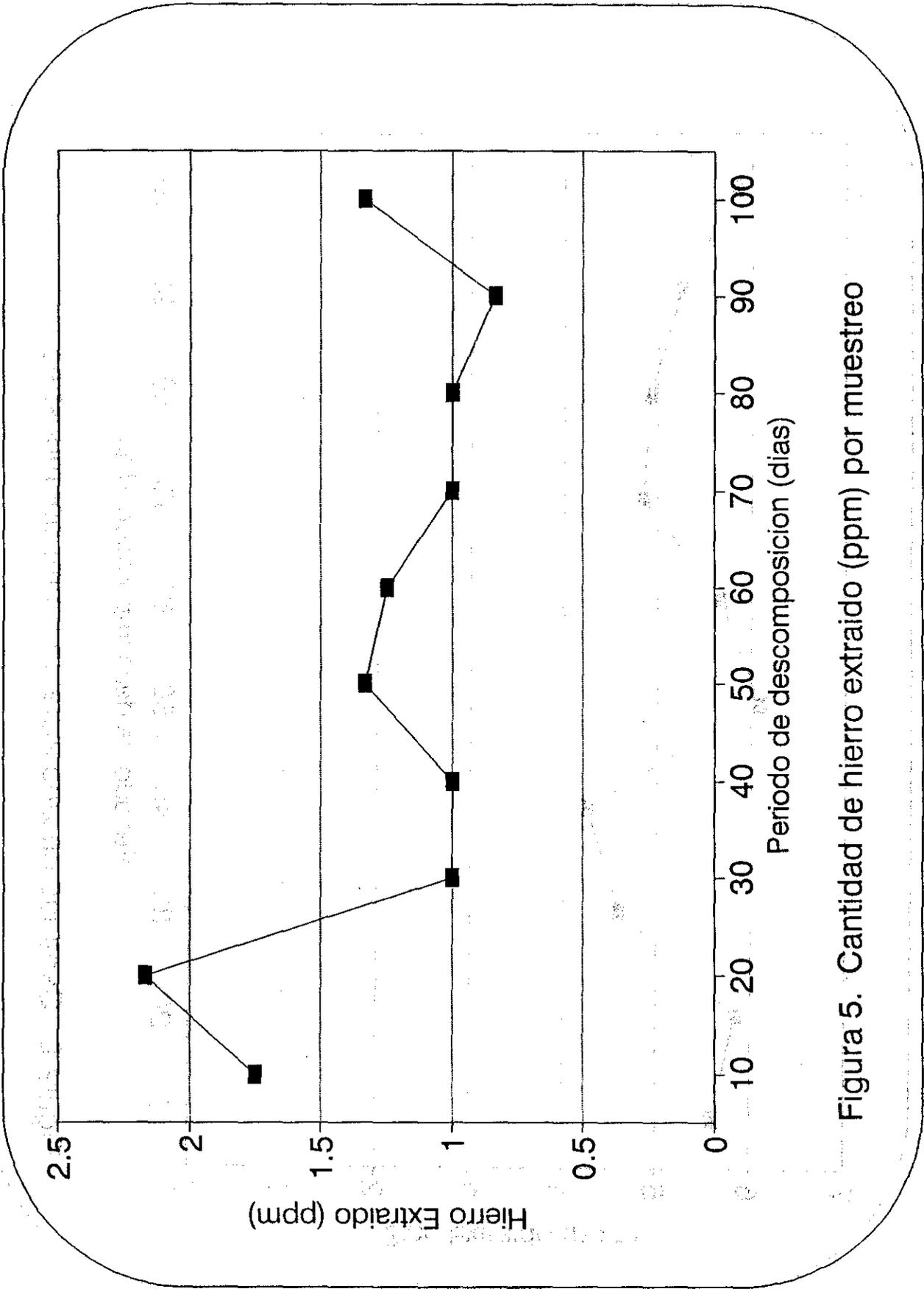


Figura 5. Cantidad de hierro extraído (ppm) por muestreo

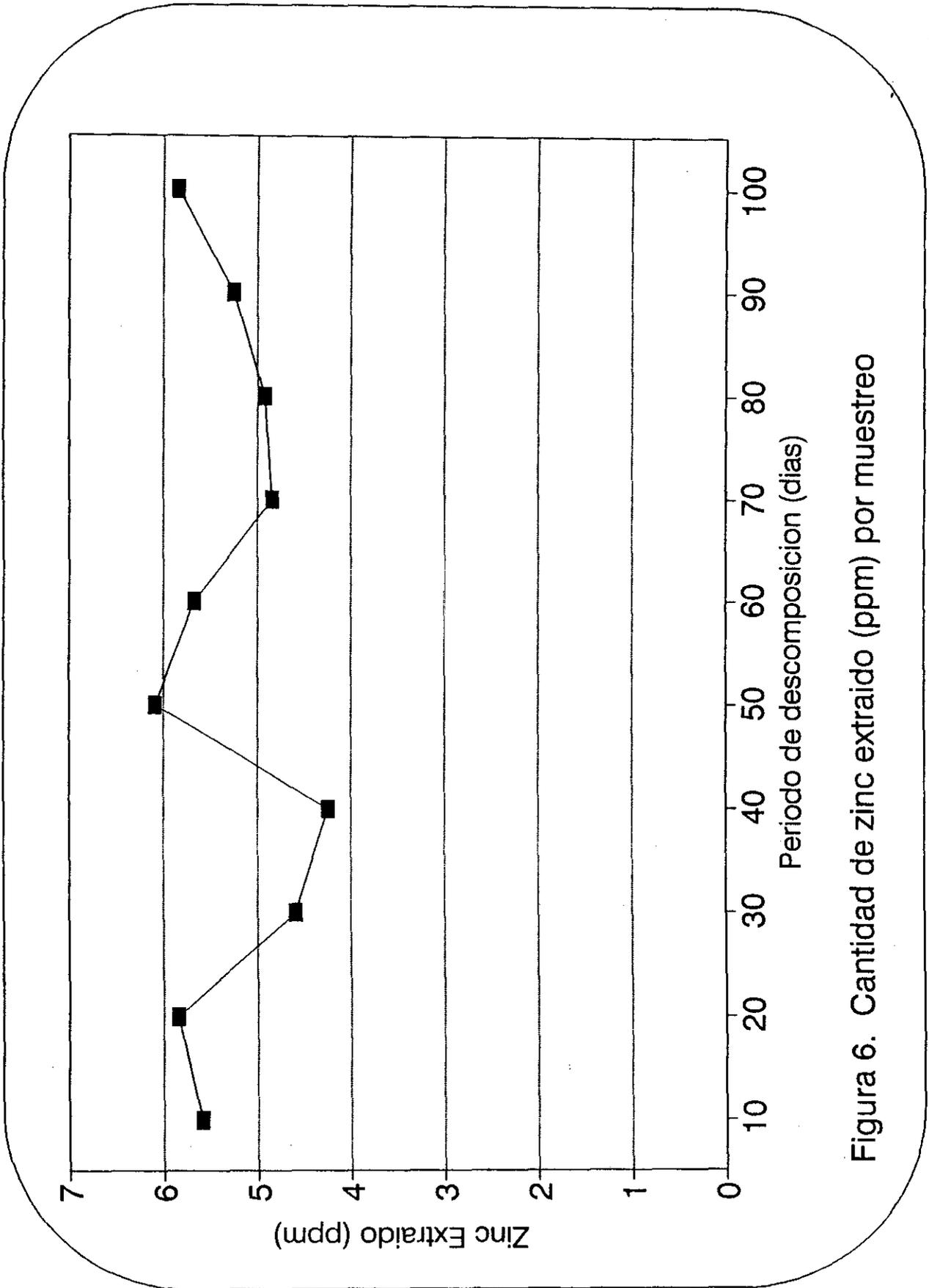


Figura 6. Cantidad de zinc extraído (ppm) por muestreo

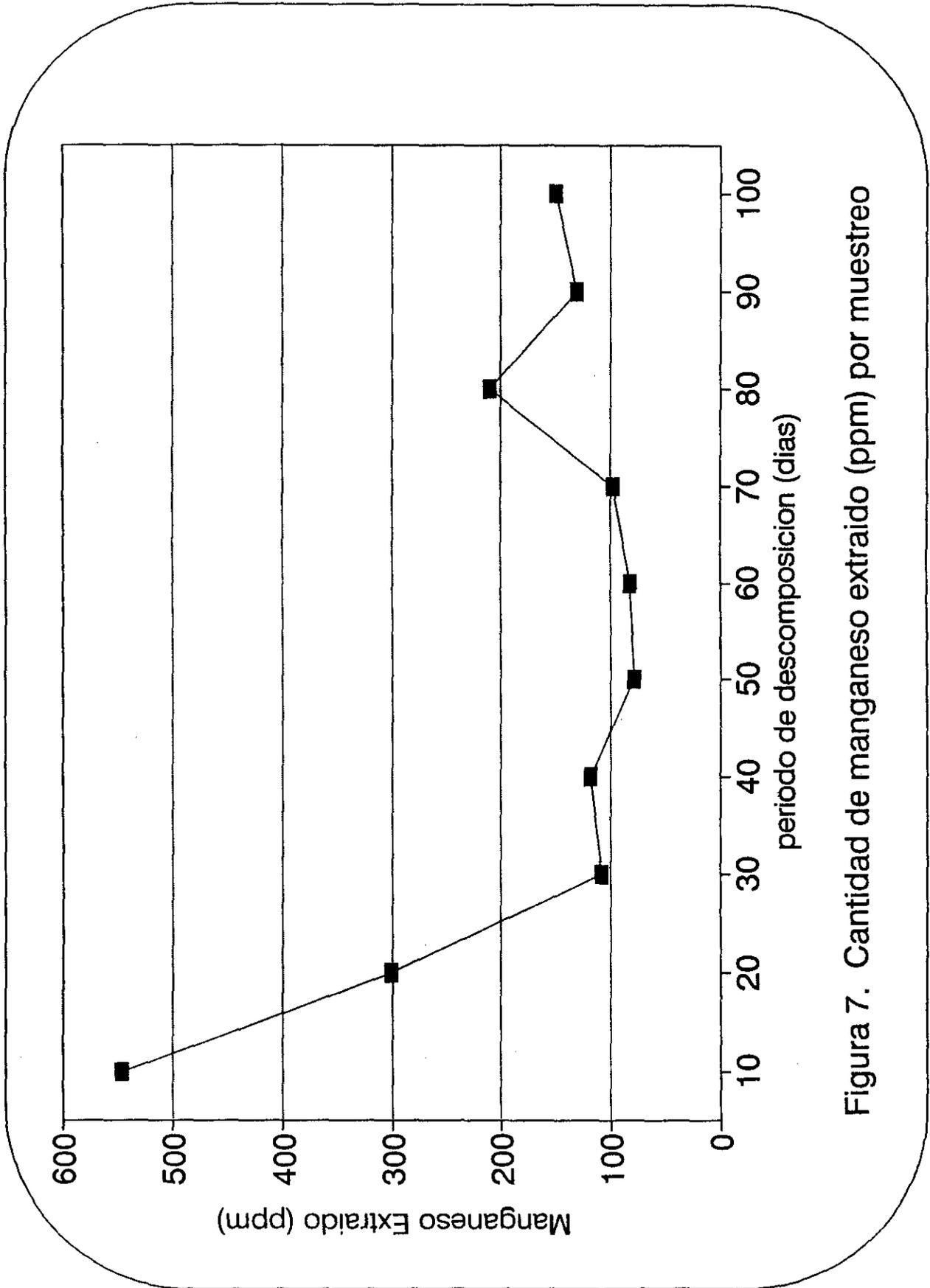


Figura 7. Cantidad de manganeso extraído (ppm) por muestreo

a 7). El propósito era encontrar el tiempo de descomposición donde se presentara la mayor solubilidad en cada elemento esencial, utilizando la solución extractora Carolina del Norte, tomándose como valor indicativo el punto mayor de cada gráfica (Figuras 1 a 7). Los valores de tiempos de descomposición donde se presentó la mayor solubilidad para cada elemento, se muestran en cuadro 5.

Cuadro 5. Tiempo de mayor solubilidad para cada elemento esencial a las plantas, utilizando la solución extractora Carolina del Norte

Elemento	Tiempo de descomposición	Valor promedio	
		(ppm)	%
Potasio	40 días	3560.42	0.35604
Calcio	50 días	4416.67	0.44167
Magnesio	30 días	1070.83	0.10708
Cobre	10 y 20 días	0.23	
Hierro	20 días	2.17	
Zinc	50 días	6.08	
Manganeso	10 días	546.67	

De acuerdo a los tiempos de descomposición del cuadro 5, no se encuentran valores similares para todos los elementos esenciales; sin embargo, para el potasio, calcio y zinc, la mayor solubilidad se presentó entre los 40 y 50 días de descomposición (figura 1, 2 y 6 respectivamente); el magnesio (figura 3) aunque no es su punto de mayor solubilidad, presenta valores que se consideran adecuados para el rango anteriormente descrito.

Mientras que el cobre, hierro y manganeso presentaron mayores concentraciones de solubilidad luego de 10 a 20 días de descomposición, cuando

cuando el material orgánico comenzaba a descomponerse. (figuras 4, 5 y 7 respectivamente).

De acuerdo a lo anterior el período de descomposición donde se obtienen las concentraciones más altas de elementos (potasio, calcio, magnesio y zinc), se presentó luego de 40 a 50 días de descomposición.

### **6.3 Mezclas evaluadas**

De acuerdo a los datos del cuadro 9A, se obtuvieron valores medios para cada elemento químico (cuadro 10A), dichos valores se graficaron y se presentan en las figuras 8 a 14. El propósito era encontrar la proporción de pulpa de café y lirio acuático que aportara la mayor concentración de los elementos evaluados, utilizando la solución extractora Carolina del Norte, por lo que se tomó como valor indicativo la mayor solubilidad de cada elemento en la gráfica correspondiente (figuras 8 a 14). Las proporciones que mejor resultado brindaron para cada elemento se presentan en el cuadro 6.

De acuerdo a las proporciones que se presentan en el cuadro 6, los elementos magnesio, cobre, hierro y zinc (figuras 10, 11, 12 y 13 respectivamente) presentaron su mayor solubilidad con la combinación 60-40% de lirio-pulpa de café. Para potasio y manganeso (figuras 8 y 14 respectivamente), la combinación 0-100% (sólo pulpa de café), proporcionó la mayor solubilidad, ocurriendo lo contrario con el calcio (figura 9), cuyas concentraciones aumentaron a medida que lo hicieron las proporciones de lirio acuático. De lo anteriormente descrito y de acuerdo al cuadro 4, se deduce que la fuente para el potasio y manganeso lo fue la pulpa de café y para el calcio el lirio acuático.

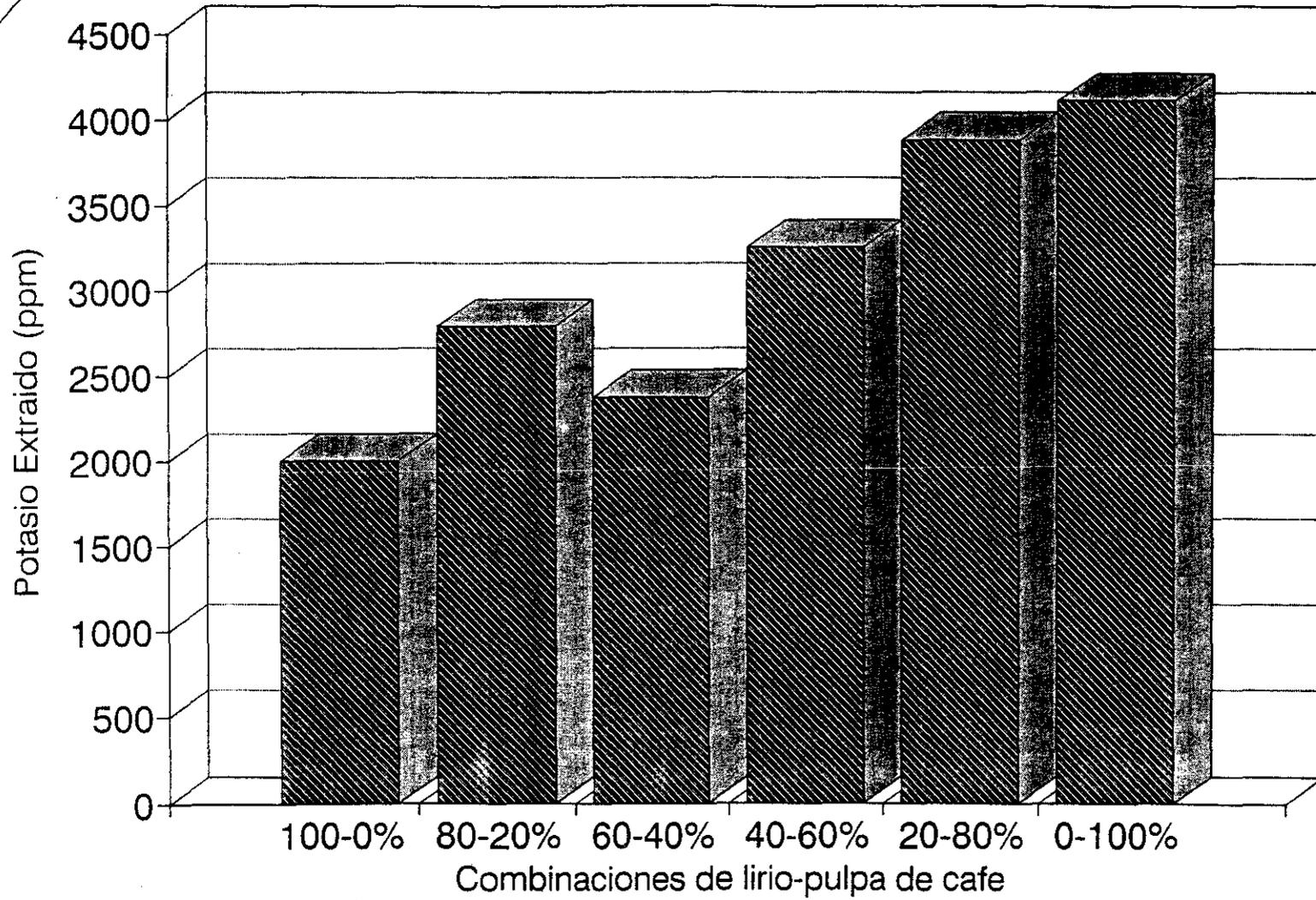


Figura 8. Cantidad de potasio extraído (ppm) por mezcla

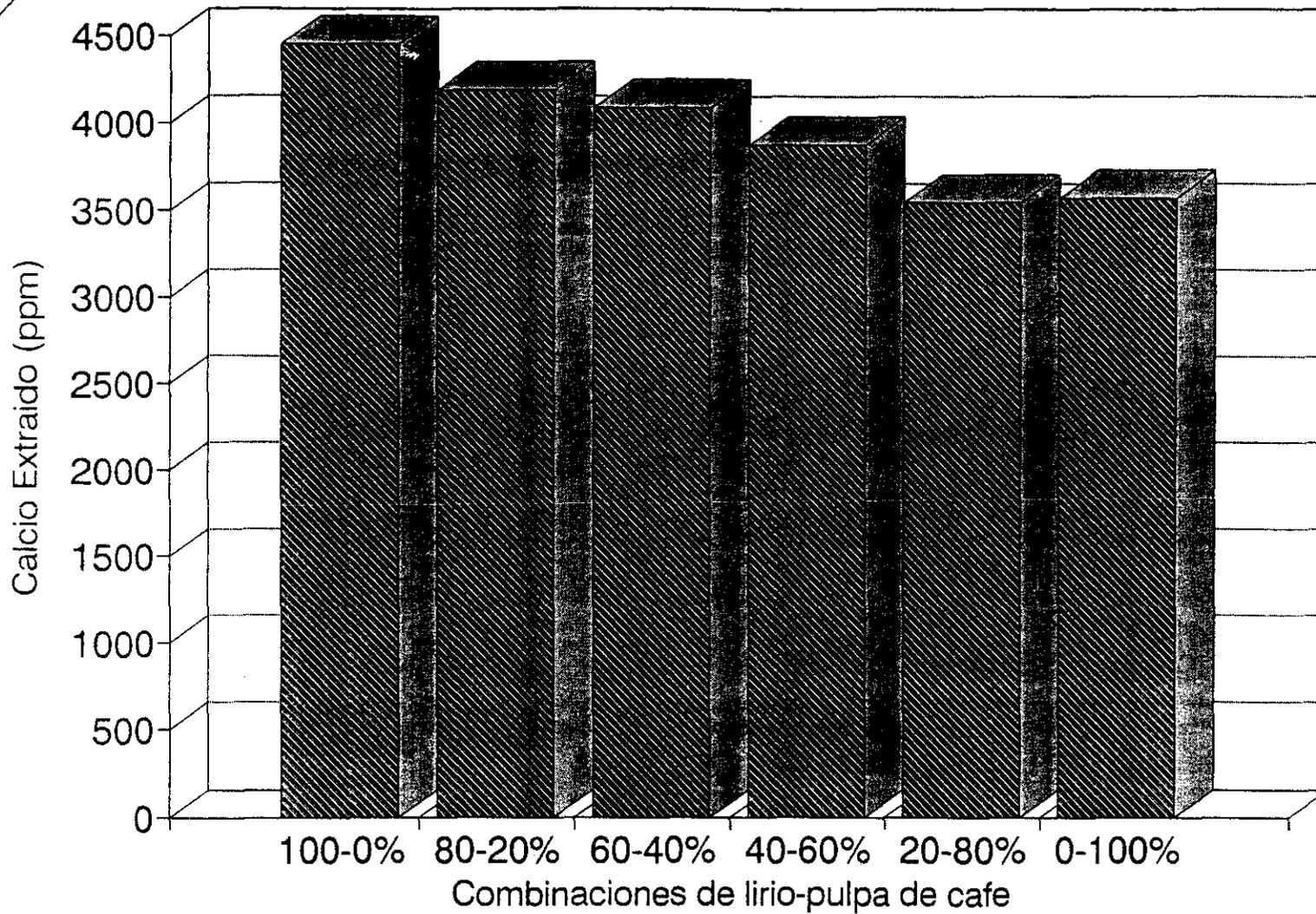


Figura 9. Cantidad de calcio extraido (ppm) por mezcla

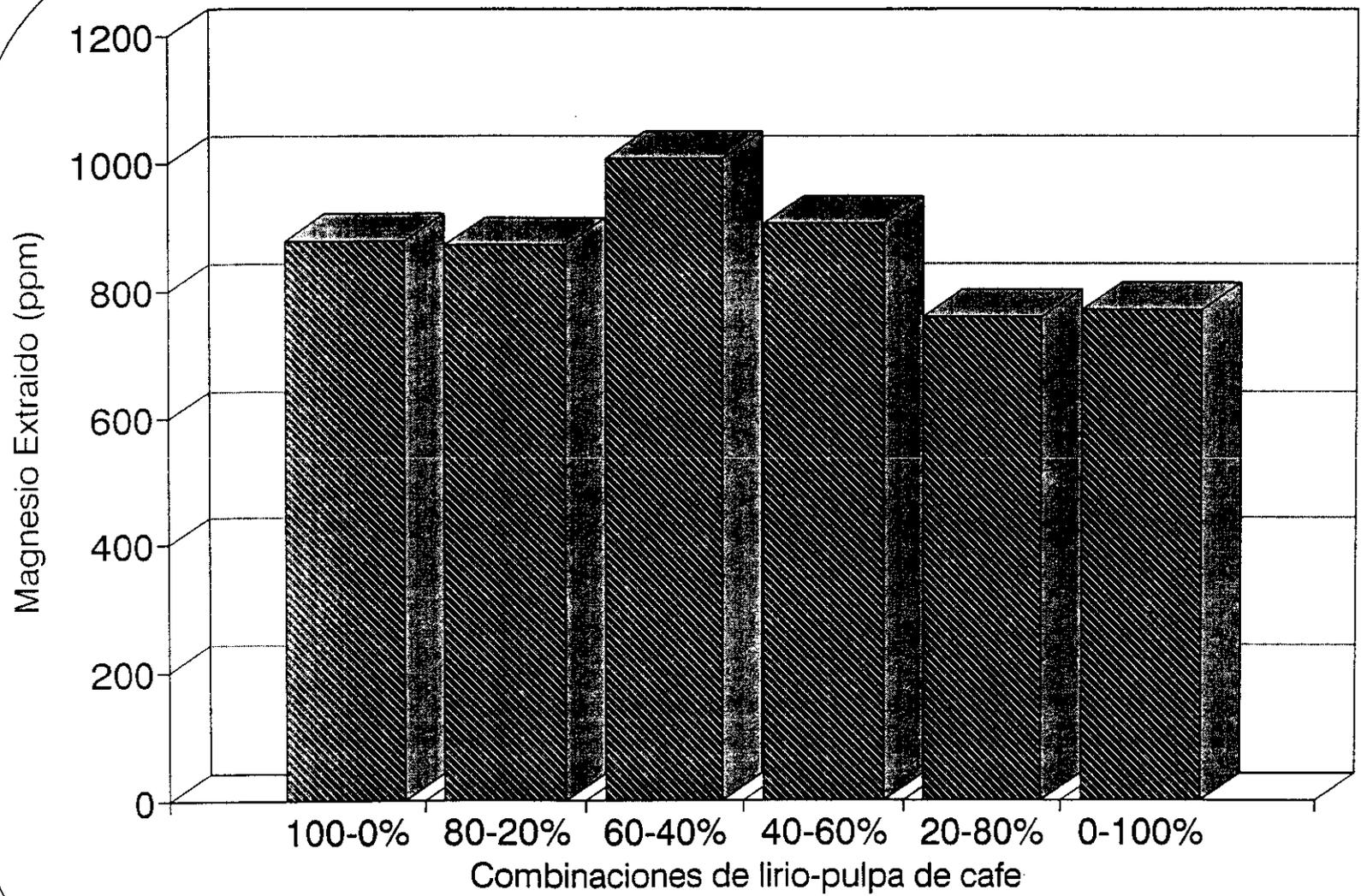


Figura 10. Cantidad de magnesio extraído (ppm) por mezcla

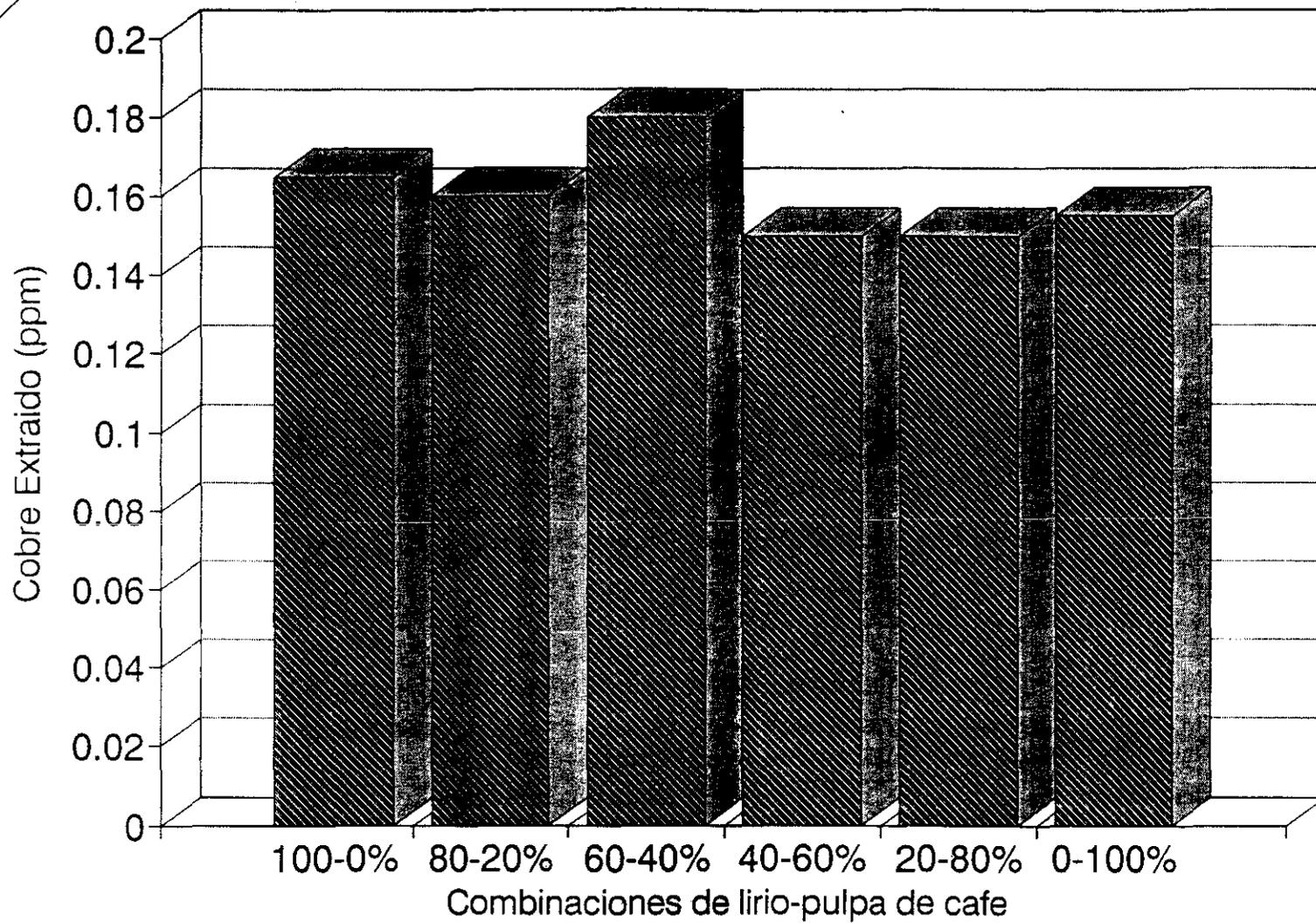


Figura 11. Cantidad de cobre extraído (ppm) por mezcla

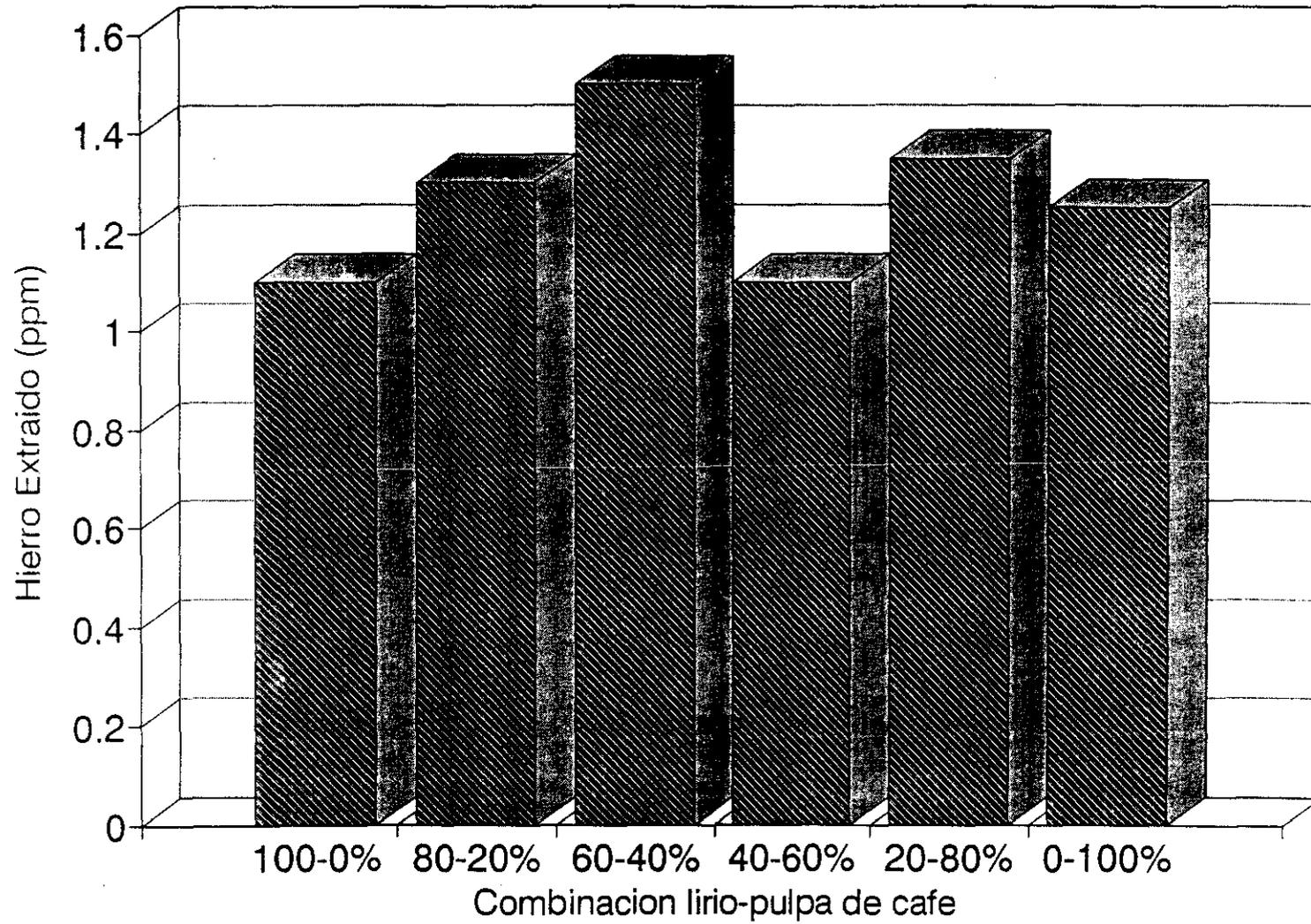


Figura 12. Cantidad de hierro extraído (ppm) por mezcla

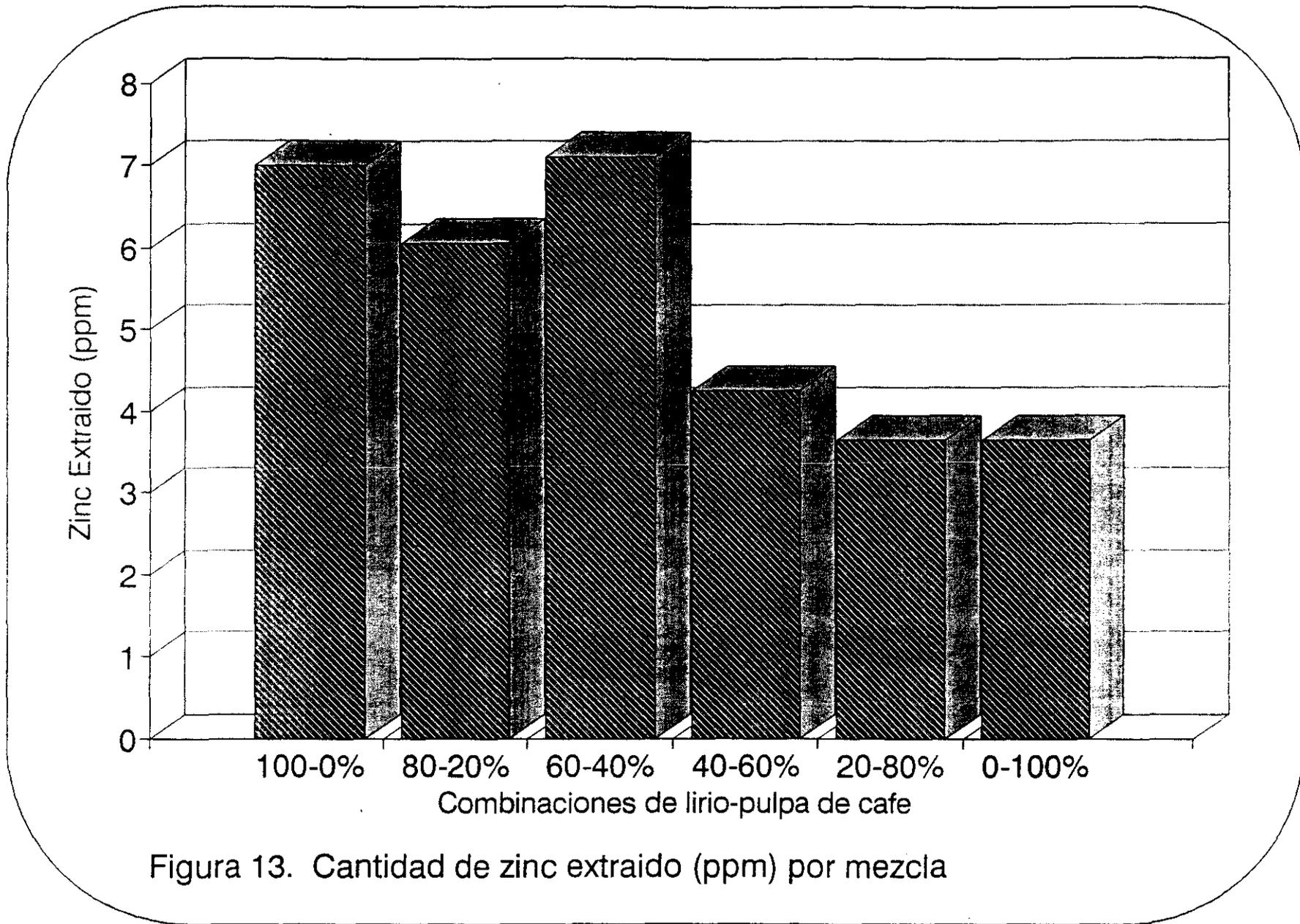


Figura 13. Cantidad de zinc extraído (ppm) por mezcla

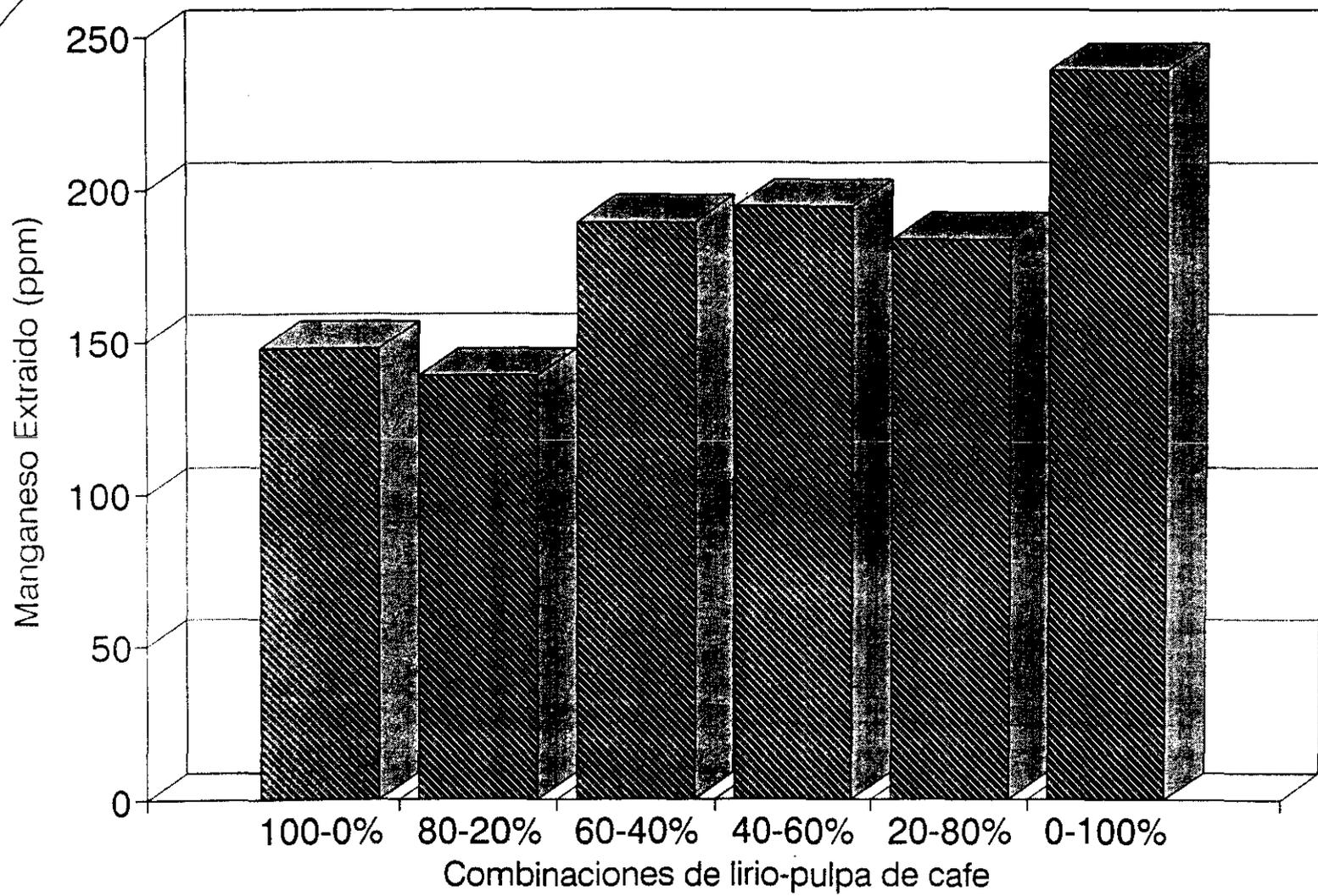


Figura 14. Cantidad de manganeso extraído (ppm) por mezcla

**Cuadro 6.** Proporción de lirio acuático y pulpa de café que aportó la mayor concentración para cada elemento, utilizando la solución extractora Carolina del Norte.

Elemento	Proporción	Valores promedios	
		<i>ppm</i>	%
Potasio	0% lirio - 100% pulpa	4103.75	0.410375
Calcio	100% lirio - 0% pulpa	4450.00	0.44500
Magnesio	60% lirio - 40% pulpa	1007.50	0.100750
Cobre	60% lirio - 40% pulpa	0.18	
Hierro	60% lirio - 40% pulpa	1.50	
Zinc	60% lirio - 40% pulpa	7.10	
Manganeso	0% lirio - 100% pulpa	239.05	

Los elementos magnesio, cobre, hierro y zinc presentaron mayor solubilidad cuando la combinación de los materiales contenía porcentajes intermedios (60-40% lirio-pulpa de café, respectivamente). Dichas proporciones intermedias son adecuadas para disponer de un mayor número de elementos metálicos, en forma disponible.

#### 6.4 Porcentajes de solubilidad

De acuerdo a los resultados del cuadro 4 y 10A, de elementos totales y promedios por proporción respectivamente, para cada elemento se calculó el porcentaje de solubilidad, tanto en el lirio acuático como en la pulpa de café. De acuerdo al cuadro 7, para los elementos potasio, calcio, magnesio y manganeso, los porcentajes fueron altos en ambos materiales orgánicos, comparado con los elementos restantes, que presentaron valores bajos.

**Cuadro 7. Porcentaje de solubilidad de los elementos evaluados para los dos materiales orgánicos.**

Material	%						
	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
Lirio acuático	23.53	28.48	17.57	1.65	0.44	8.35	>100
Pulpa de café	21.18	57.20	27.38	7.75	0.09	6.64	8.26

En el análisis químico de elementos totales mostrado en el cuadro 4, el calcio presentó un valor mayor de concentración en el lirio acuático, pero su porcentaje de solubilidad fue menor con respecto a la pulpa de café en un determinado tiempo, haciéndose más rápidamente soluble en ésta última; no ocurre lo mismo para el potasio, el cual presentó igual porcentaje de solubilidad en ambos materiales orgánicos, aunque el valor total sea mayor para la pulpa de café.

### 6.5 Comportamiento de la Materia orgánica

De acuerdo a la información de cuadro 9A, se graficaron los valores obtenidos de materia orgánica (%) para cada proporción de material orgánico, con respecto al período de descomposición, presentándose el comportamiento de la materia orgánica en los diferentes tiempos de composición en las figuras 15, 16 y 17.

En las figuras 15, 16 y 17, se puede observar que los valores de materia orgánica en todas las proporciones disminuyen a medida que el tiempo de descomposición aumenta, presentándose una marcada disminución hasta los 30 y 40 días de descomposición, que es donde se presentó la mayor actividad biológica. Sin embargo, si se compara el comportamiento de la gráficas de las figuras antes mencionadas, se puede observar que a partir del cuarto muestreo, se estabilizan los valores de materia orgánica, dando lugar a la transformación de humus, que es la

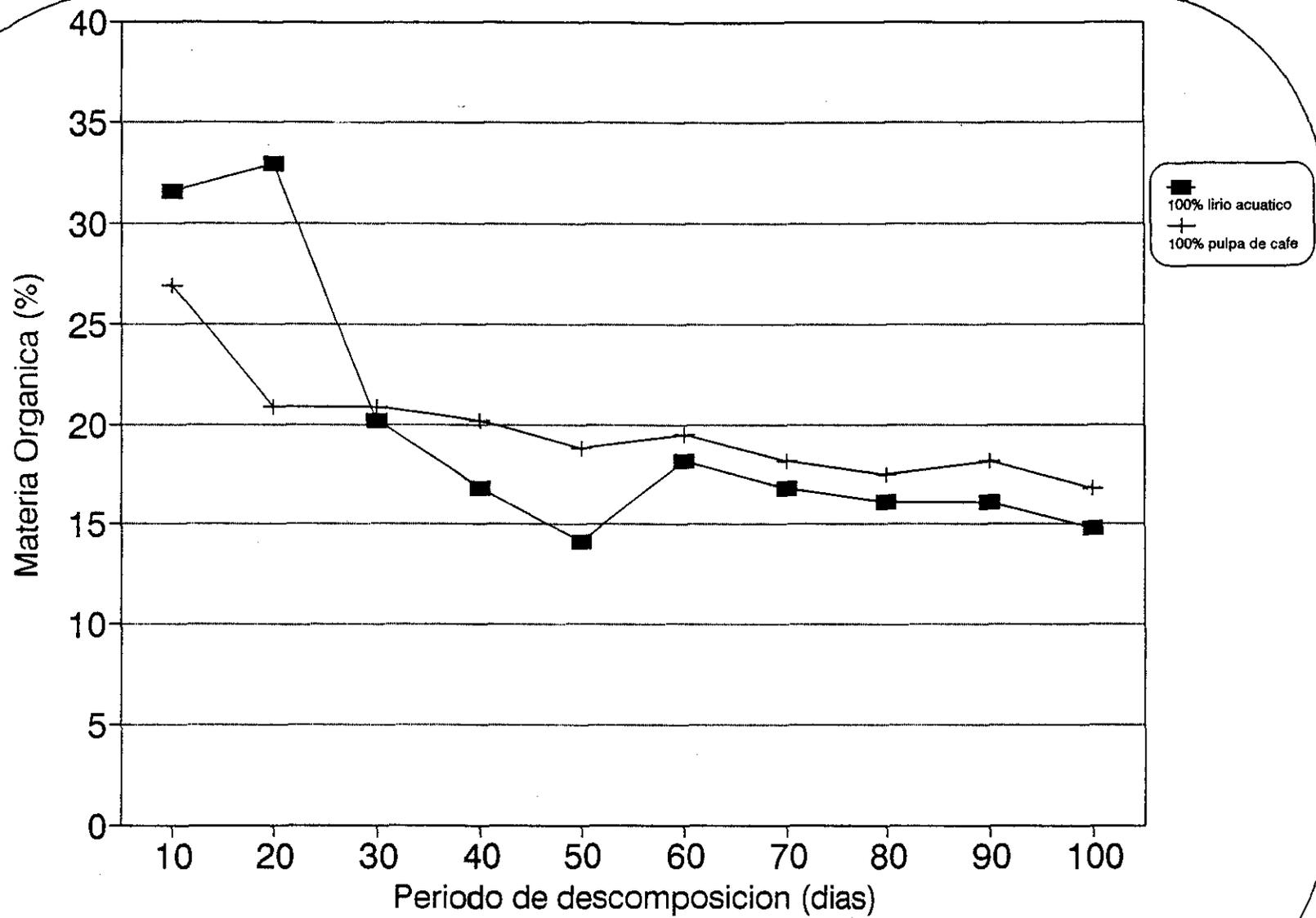


Figura 15. Contenido de materia organica (%) por muestreo

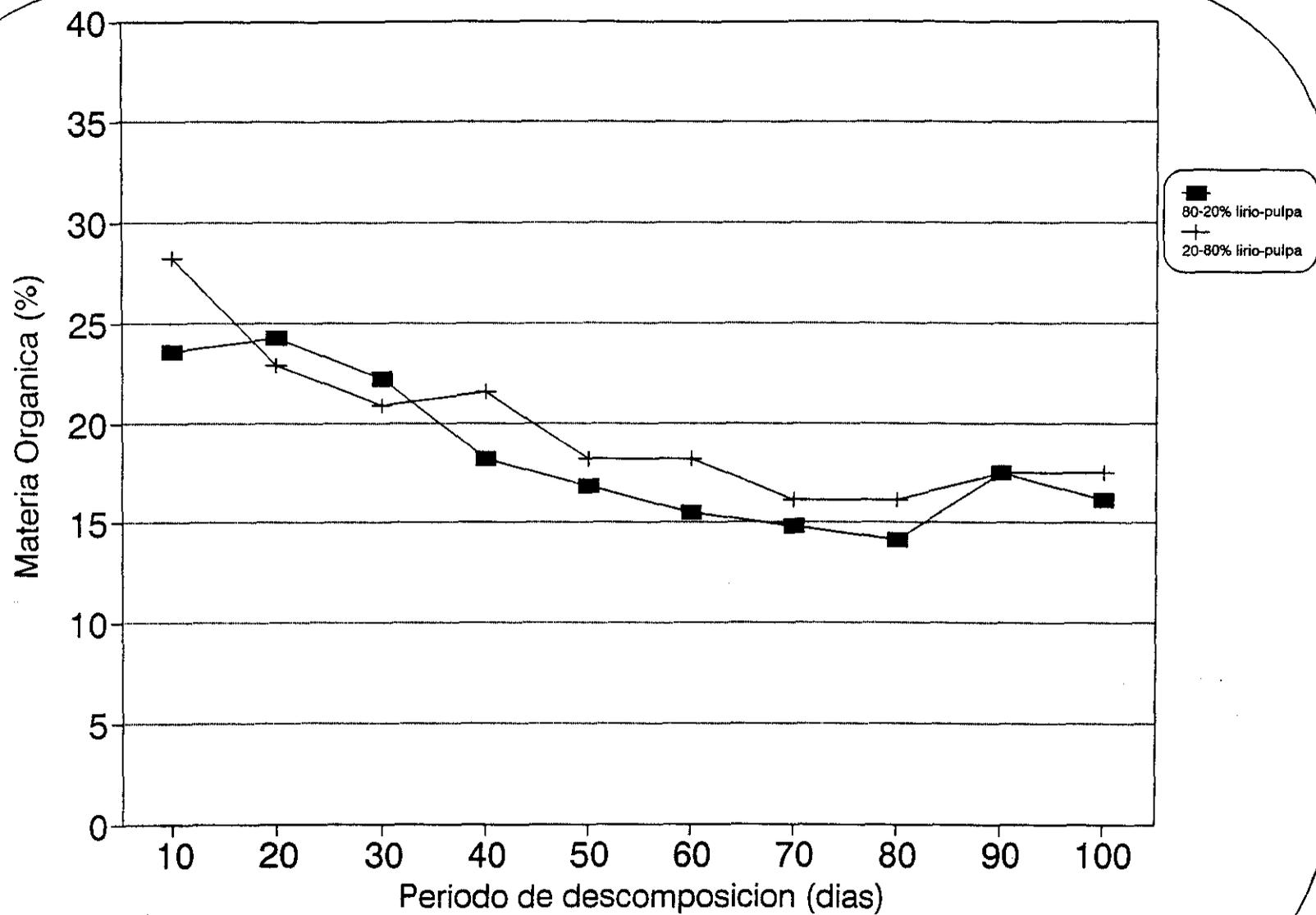


Figura 16. Contenidos de materia organica (%) por muestreo

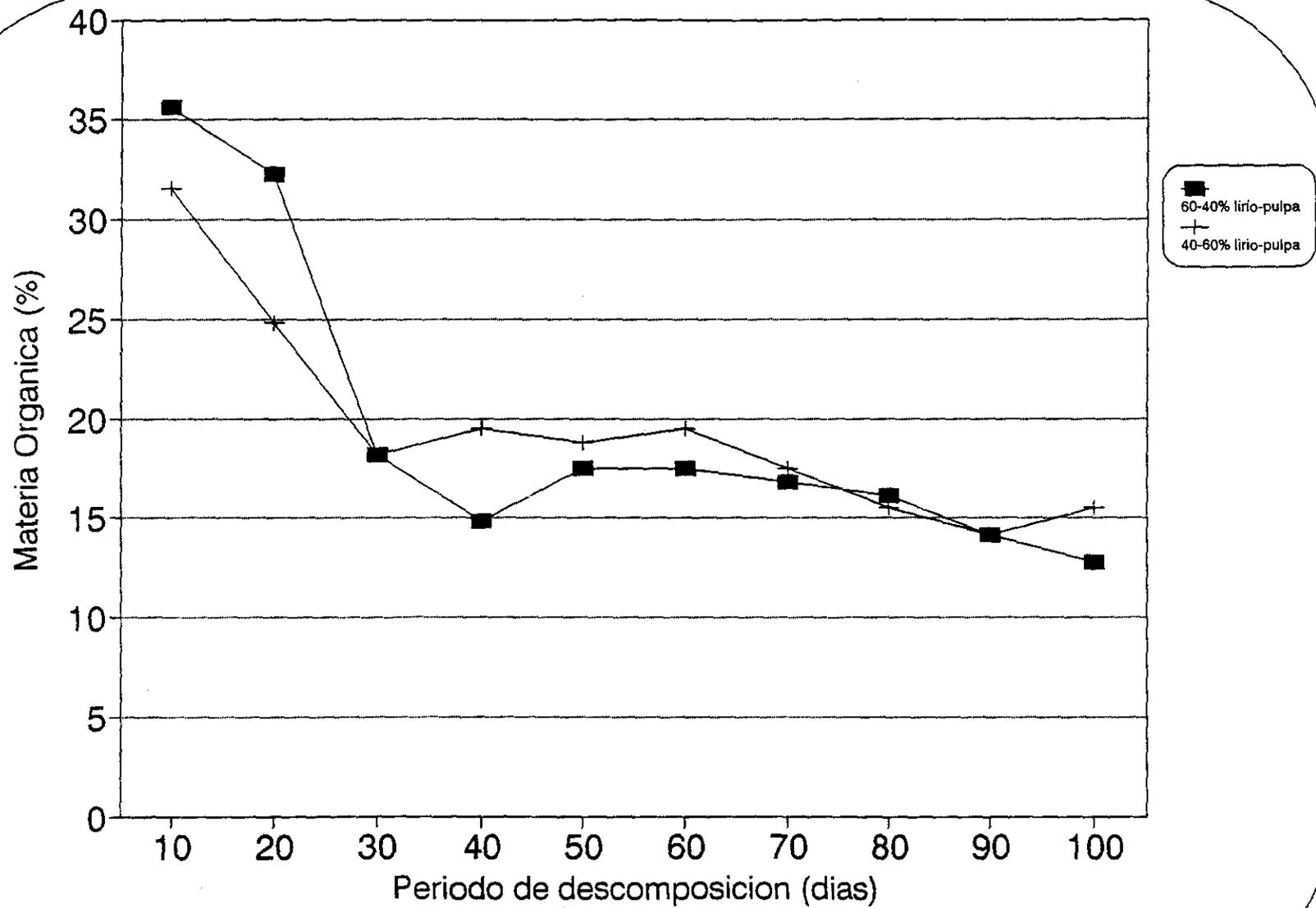


Figura 17. Contenido de materia organica (%) por muestreo

fracción más o menos estable de la materia orgánica, que permanece después de que la mayor parte de los residuos vegetales y animales se han descompuesto. Los complejos estables formados en estos puntos son resistentes a la acción de los microorganismos, disminuyendo su actividad y por consiguiente se tiene una mineralización lenta.

### **6.6 Comportamiento del p<sup>H</sup>**

De acuerdo a la información del cuadro 10A, se graficaron los valores obtenidos para cada proporción con respecto al período de descomposición, presentándose el comportamiento del p<sup>H</sup> de las diferentes proporciones en las figuras 18, 19 y 20.

De acuerdo a las figuras antes mencionadas, a medida que transcurrió el tiempo de descomposición la materia orgánica y el p<sup>H</sup> disminuyeron; dichos valores fueron más estables para las proporciones con mayor contenido de pulpa de café.

Al inicio los valores eran mayores y disminuyeron conforme el tiempo de descomposición aumentó, debido a la formación de ácidos orgánicos, estabilizándose a partir del muestreo 4.

### **6.7 Comportamiento de la temperatura en las aboneras**

El cuadro 8 contiene los valores de temperatura para cada mezcla analizada, valores que provienen de promedios de 5 días, procedentes de tres lecturas diarias. Con dichos valores se elaboraron gráficas que se presentan en la figura 21, donde se muestra el comportamiento de la temperatura por mezcla durante la fase de campo. A medida que aumentó el porcentaje de pulpa de café lo hizo la temperatura, presentando como valor mayor 30.5 °C en la mezcla de 100% pulpa de café. La

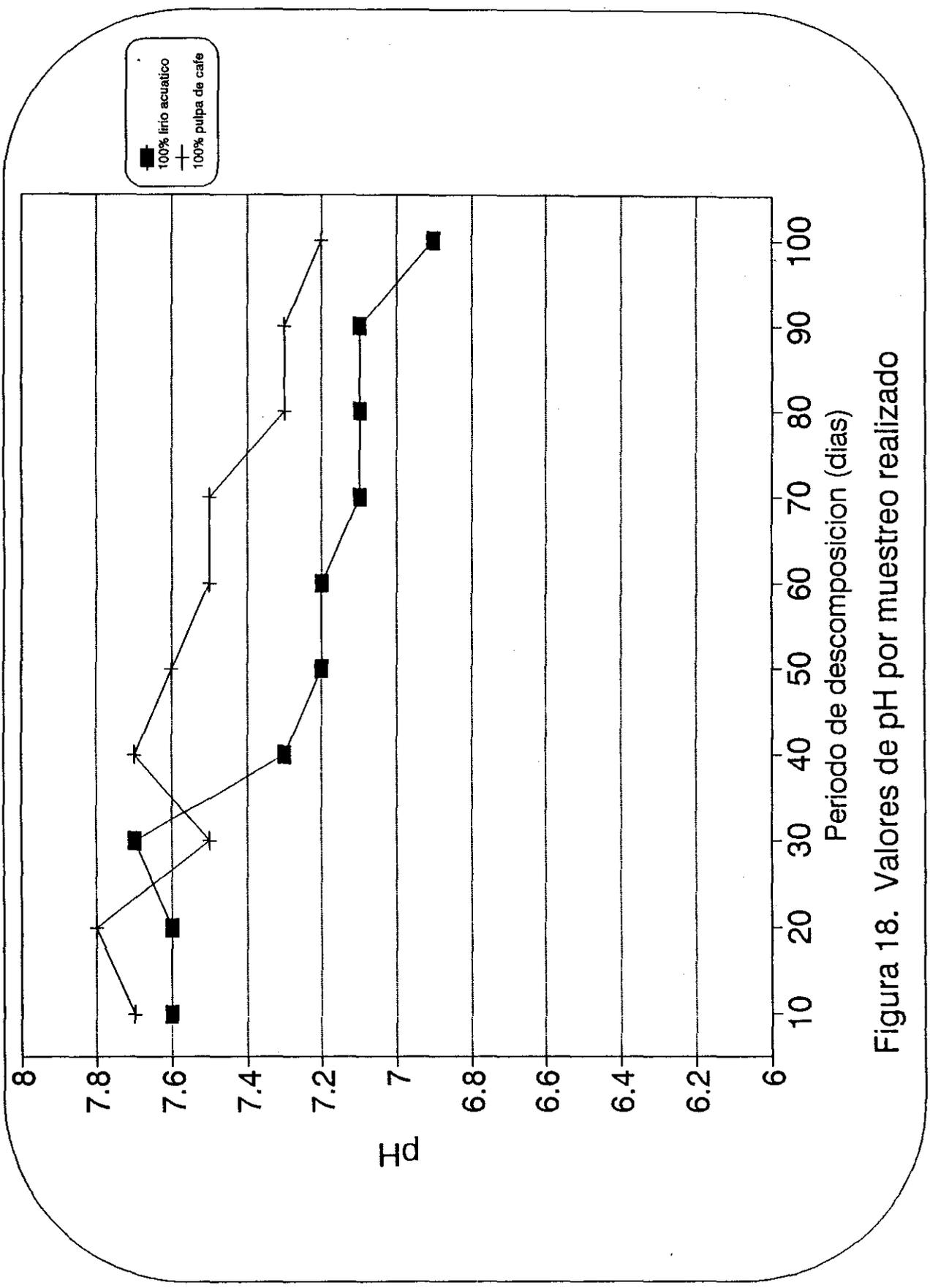


Figura 18. Valores de pH por muestreo realizado

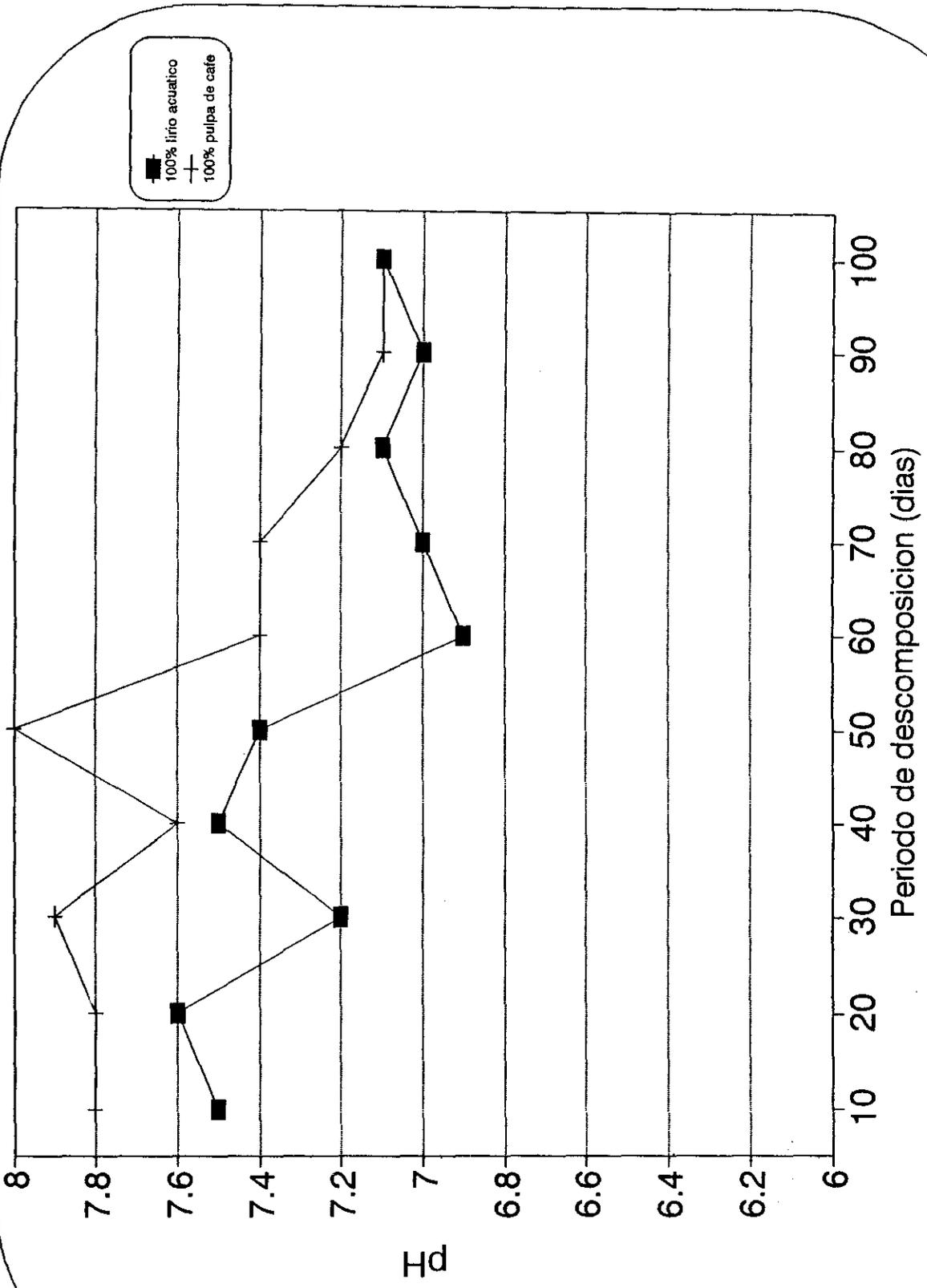


Figura 19. Valores de pH por muestreo realizado

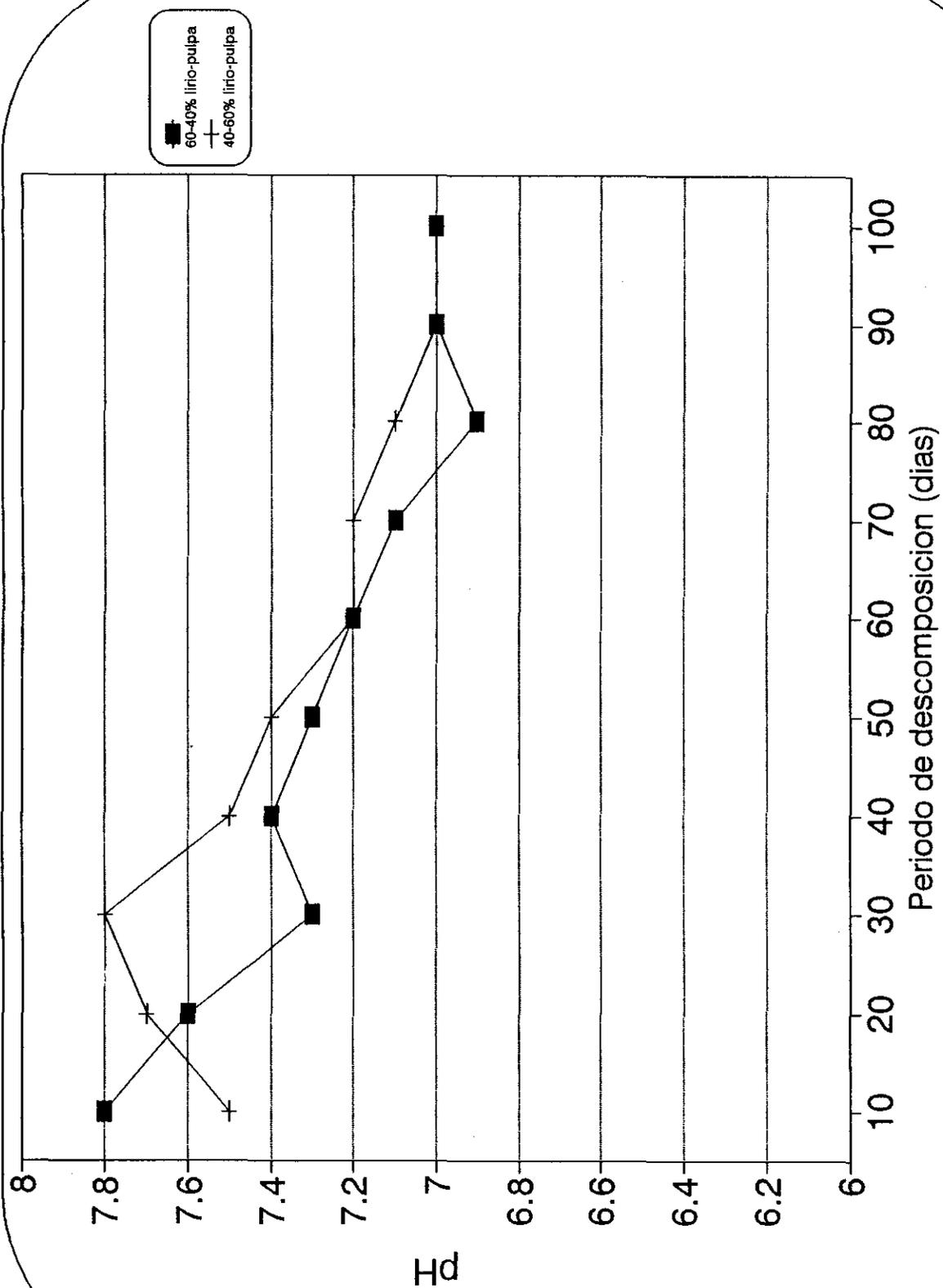


Figura 20. Valores de pH por muestreo realizado

literatura recomienda que al iniciar la actividad de descomposición del material orgánico por parte de los microorganismos, la temperatura se eleva a valores arriba de los 60 °C, por lo que se hace necesario aplicar líquidos (generalmente agua) que permitan disminuir la misma para evitar un mal proceso de descomposición (14).

Para las condiciones en que se evaluó las mezclas, la temperatura interna de las aboneras no aumentó a valores tan elevados a los mencionados en la literatura; sin embargo al comparar los valores con la temperatura ambiente (cuadro 12A), se presentó un aumento significativo en los primeros 50 días de descomposición, luego fueron similares a la temperatura ambiente.

Al inicio del experimento, por su propia naturaleza, el lirio contenía gran cantidad de humedad, tal como lo indica Boyd citado por Robles (24) al referirse al contenido de humedad del lirio, indicando que dicho valor es del 90%. Lo anterior hizo que la temperatura no presentará mayores variaciones en la fase de campo, en las aboneras con mayor porcentaje del dicho material (tratamientos 1, 2); esto también provocó que se presentaran pequeñas pérdidas líquidas al momento de realizar los volteos.

## **6.8 El lirio acuático como fuente de abono orgánico**

El lirio acuático es un indicador de contaminación, ya sea por un proceso natural o artificial y es un buen competidor en sistemas eutróficos. Dentro de los cuerpos de agua a nivel del país, que presentan dicha planta se encuentran: Canal de Chiquimulilla, Laguna Chichoj, Lago de Amatitlán, Laguna de San Antonio Ilotenango,

Cuadro 8. Temperatura (promedio de 5 días) para cada proporción, durante la fase de campo.

Tiempo (promedio de 5 días)	Mezclas evaluadas (tratamientos)					
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
5	20	21	23	25	27	29
10	20	22	24	25.5	27.5	29
15	21	22	24.5	26	28	30
20	21	21.5	25	26.5	28	30.5
25	20.5	21.5	25.5	27	27.5	30
30	20.5	21.5	25	26	27	30
35	20	21	24.5	26	26.5	28.5
40	20	21	24.5	25.5	26.5	28
45	20	21	24	25	26	27.5
50	20	20.5	24	25	25.5	27.5
55	20	20.5	23.5	24.5	25	26.5
60	19.5	20.5	23.5	24	25	26
65	19.5	20.5	23	24	24.5	25.5
70	19.5	20	22.5	23	24	24.5
75	19.5	20	22	23	23.5	24
80	19.5	20	22	22.5	23	24
85	19	19.5	22	22.5	23	23.5
90	19	19.5	21	22	22.5	23
95	19	19.5	20	21	22	23
100	19	19	19.5	20	21	22

T<sub>1</sub> = lirio acuático en un 100%

T<sub>2</sub> = lirio acuático en un 80% + pulpa de café en un 20%

T<sub>3</sub> = lirio acuático en un 60% + pulpa de café en un 40%

T<sub>4</sub> = lirio acuático en un 40% + pulpa de café en un 60%

T<sub>5</sub> = lirio acuático en un 20% + pulpa de café en un 80%

T<sub>6</sub> = pulpa de café en un 100%

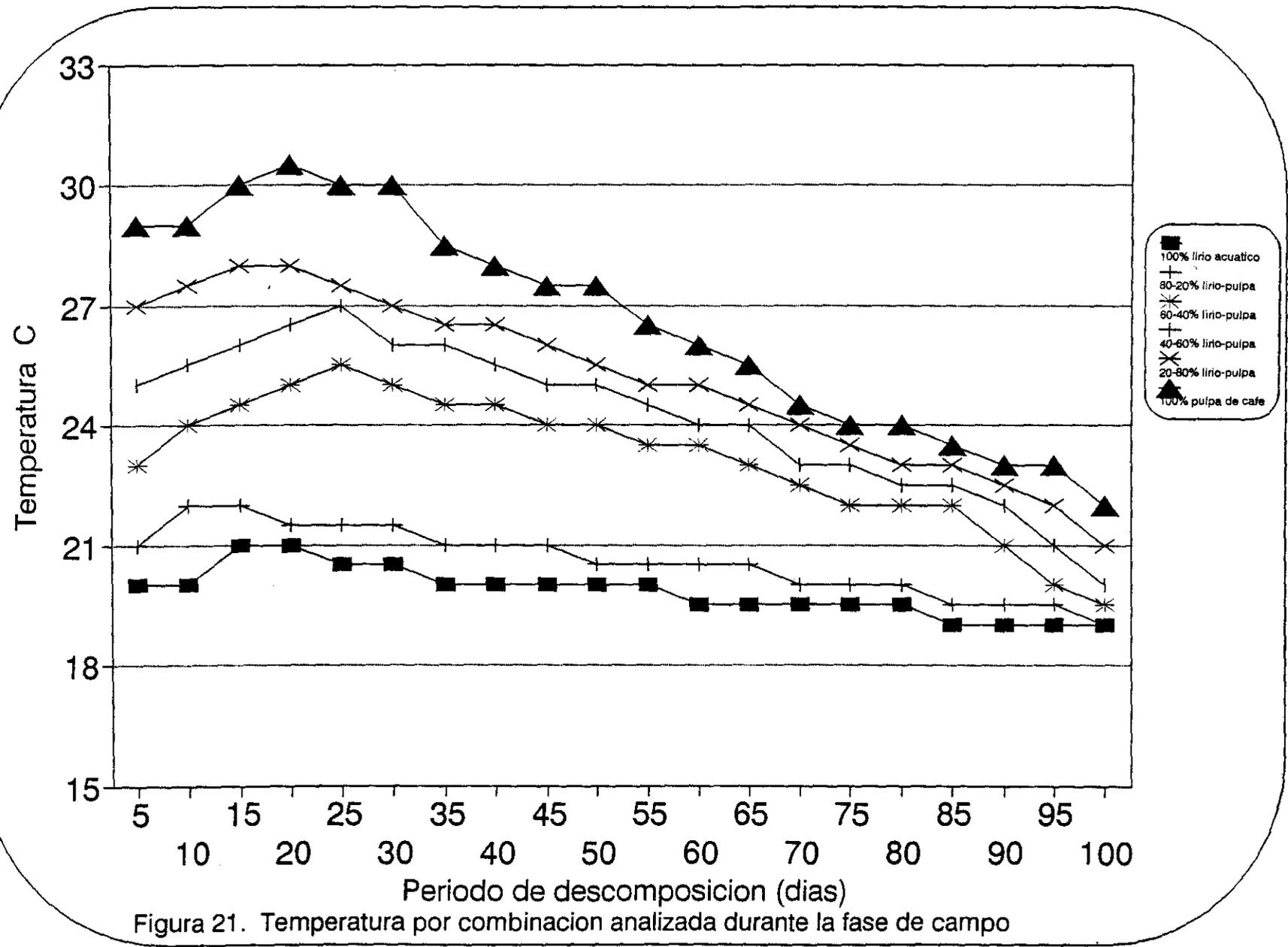


Figura 21. Temperatura por combinacion analizada durante la fase de campo

### Lago Petén Itza y Laguna del Pino.<sup>1</sup>

En nuestro país la mayoría de poblados e industrias localizados en cuenca de lagos, eliminan sus desechos sin ningún tratamiento a pequeños ríos, originándose así su contaminación. Estos desechos incrementan el proceso de eutroficación, provocando un acelerado crecimiento vegetal que produce biomasa en cantidades mayor a la que la fauna puede consumir, provocando un desequilibrio en dichos cuerpos de agua. Esto sucede en el Lago de Amatitlán (1188 msnm), Lago Petén Itzá (110 msnm), Laguna Chichoj (1389 msnm.). (4, 32)

La contaminación comienza en los ríos, al recibir agua servida de centros urbanos e industrias y por el acarreo de sedimentos que las lluvias erosionan en la cuenca deforestadas. Ejemplo de ello lo constituye el río Motagua que recibe las aguas servidas (aproximadamente 80%) de la capital. (4, 32)

De acuerdo con la literatura, el crecimiento del lirio acuático tiene una tendencia exponencial (17, 24, 25,), pues en pocos días, se logran tasas de crecimiento elevadas y con ello una producción de materia seca que bajo condiciones adecuadas, se ha llegado a estimar en aproximadamente 600 kg/ha/año.

En lo que se refiere a la laguna Chichoj, según el cuadro 13A, ha sufrido una reducción de 12 ha. en aproximadamente 37 años. El acelerado proceso de reducción se debe principalmente a: 1) al crecimiento poblacional urbano, aumentando con ello las descargas domésticas (drenaje, desechos sólidos, etc.); 2) el aumento de producción de tenerías y beneficios de café en la periferia de la laguna; 3) la fábrica

---

<sup>1</sup> Ing. Agr. César Castañeda Salguero. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Comunicación personal.

58

de Calzado Cobán a aumentado su producción. Actualmente la laguna, esta cubierta aproximadamente en un 10% de su espejo de agua por el lirio, con aproximadamente 48 ton. de materia seca. (1, 31).

## 7 CONCLUSIONES

1. De los elementos evaluados el potasio, calcio, magnesio y zinc presentaron sus concentraciones más altas de solubilidad luego de 40 y 50 días de descomposición. El cobre, hierro y manganeso presentaron sus concentraciones altas de solubilidad entre 10 y 20 días de descomposición.
2. La proporción 60% de lirio acuático y 40% pulpa de café, presentó concentraciones altas de solubilidad para magnesio, cobre, hierro y zinc. La proporción 100-0% lirio acuático-pulpa de café presentó concentraciones altas de solubilidad para el calcio y la proporción 0-100% para el potasio y manganeso.
3. La materia orgánica disminuyó conforme aumentó el tiempo de descomposición, estabilizándose a partir de los 40 días de descomposición, con un valor promedio de 18.49%.
4. El  $p^h$  presentó al inicio valores altos, disminuyendo conforme aumentaron los días de descomposición, estabilizándose a partir de los 40 días, con un valor promedio de 7.50.

## 8. RECOMENDACIONES

1. Realizar una prueba biológica a nivel de invernadero, con la proporción 60-40% de lirio acuático-pulpa de café luego de 40 a 50 días de descomposición. Dentro de dicho proceso de descomposición se recomienda realizar el manejo de material orgánico, tal como se describe en la metodología.
2. Con base en la composición química de los elementos totales de los materiales orgánicos, definir las proporciones a evaluar.
3. Realizar éste tipo de investigaciones utilizando otras fuentes orgánicas, con distinta composición química de elementos, bajo condiciones climáticas diferentes.

**9. BIBLIOGRAFIA**

1. ALBIZURES P., J.R. 1978. Estudio ecológico de la laguna Chichoj. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 63 p.
2. ALFARO, R. 1990. Evaluación de métodos de siembra de almácigo en bolsas en el cultivo de café (*Coffea arabica*). Revista REDCAFE (C.R.) 3(1):13-14.
3. BASTERRECHEA, M. *et al.* 1992. Determinación de la calidad del agua para evaluar la contaminación y eutroficación de la laguna Chichoj. Guatemala, Asociación Cristiana de Jóvenes. 12 p.
4. CASTAÑEDA SALGUERO, C.A. 1991. Interacción naturaleza y sociedad guatemalteca; introducción a su conocimiento. Guatemala. Editorial Universitaria. Colección Editorial Universitaria no. 85. 148 p.
5. -----, 1993. Distribución y origen geológico de sistemas lacustres de Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios Urbanos y Regionales. 9 p.
6. CHEVEZ, O.; GUHARAY, F. 1991. Efecto de la pulpa de café como abono sobre la incidencia de *Cercospora coffeicola* en viveros de café. Revista REDCAFE (C.R.) 3(3):27.
7. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. DIAZ ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba, C. R., CATIE. 62 P.
9. FAO (Italia). 1978. Suelos y fertilizantes. México, D. F., Dirección General de Educación y Tecnología Agropecuaria. p 15-18.
10. -----, 1983. El reciclaje de materia orgánica en la agricultura de América Latina. Roma, Italia. p 12-13, 67, 77.

11. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION. Tarjetas de control de temperatura promedio para la estación San Cristóbal Verapaz, período 1993-1994. Guatemala.  
  
Sin publicar
12. HERNANDEZ PAZ, M. 1988. Manual de caficultura. Guatemala, Asociación Nacional del Café. 247 p.
13. JACKSON, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Wisconsin, EE. UU, Editorial Universitaria. p. 126-132, 282-290.
14. KRASNY, E.M. 1984. Estudio multidisciplinario en un contexto aplicado. New York, EE. UU, Cornell University, Departamento Recursos Naturales. 45 p.
15. LITTLE, T.M.; HILLS, F.J. 1989. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México, D. F, Trillas. 270 p.
16. MARTIN MARTINEZ, I. 1989. Depuración de aguas con plantas emergentes. Madrid, España, Universidad Complutense. Boletín no. 16. p. 2-23.
17. MEXICO. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. s. f. El problema del lirio acuático en el manejo de almacenamientos de cauces. [video]. México, Dirección de Control de Ríos y Dirección General de Irrigación. 1 video (36 min.), son., color.
18. MORALES M., J.O. 1983. Manual de conservación de suelos. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas, Unidad de Comunicación Social. 71 p.
19. MORALES O., J.J. 1989. Tratamiento de aguas residuales, neutralización y prensado de pulpa en el beneficio de café. Revista REDCAFE (C.R.) 2(2):68.
20. OBIOLS DEL CID, R. 1975. Mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala, según el sistema de Trhornthwaite. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Esc.1:1.000,000. color.

21. POS, J. 1990. General composting-teory and methods. Guelph, Ontario, Canada, Jack Pos & Associates. 26 p.
22. QUIROZ FLORES, A. 1981. Ninfceas indicadoras del contenido de fósforo asimilable en los sedimentos. *Revista Biótica (Méx.)* 6:1,99-100.
23. REYES, C.P. 1978. Diseños en experimentos agrícolas. México, D. F., Trillas. 195 p.
24. ROBLES AGNEW, S.E. 1979. Estudio preliminar del tratamiento de las aguas de lavado de café con jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*). Tesis Ing. Quim. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 46 p.
25. SANCHEZ MONTUFAR, J.M. 1993. Determinación de nitrógeno total, fósforo total y metales pesados en macrofitas acuáticas de la especie *Eichhornia crassipes* de la laguna Chichoj, Alta Verapaz. Proyecto de tesis. Guatemala, Universidad de San carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 45 p.
27. SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE TECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA CAFETALERA (1989, México). Memorias. Xalapa, México, Universidad Autónoma Metropolitana, Instituto Mexicano del Café. 680 p.
28. SIMMONS, C; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
29. STANDLEY, P.C.; STEYERMARK, J.A. 1952. Flora of Guatemala. Chicago, EE. UU. Chicago Natural History Museum, Fieldiana Botany. v. 24, pt.3 p 45-47.
30. SUAREZ DE CASTRO, F. 1960. El valor de la pulpa de café como abono orgánico. *Revista Cafetalera (Salv.)* no. 5:6-14.

31. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, España, Ed. Montaner y Simon. 760 p.
31. TOLEDO GONZALEZ, J.A.; *et al.* 1993. Caracterización de la microcuenca laguna Chichoj, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz. CES Estudios de Sistemas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 76 p.
32. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, CENTRO DE ESTUDIOS URBANOS Y REGIONALES. 1989. Deterioro y desaparición de lagos y lagunas de Guatemala. Boletín Informativo (Gua.) 4:1-12 p.

*No. Bo. William de la Roca*



**10. APENDICE**

Cuadro 9A. Resultados de laboratorio para elementos esenciales a las plantas (ppm), materia organica y pH, para cada muestreo realizado y mezcla evaluada.

Muestra	Mezcla	N	Ca	Mg	Cu	Zn	Pb	Mn	As	P	pH	MO
1	1	1787.5	4375	850	0.25	1	8.5	210	325		7.6	31.60
2	1	2112.5	4875	800	0.25	1.5	10	205	350	6.92	7.6	32.95
3	1	2262.5	4375	825	0.15	1	6	100	325		7.7	20.17
4	1	2287.5	4250	837.5	0.25	1	6	105	312.5		7.3	16.81
5	1	2200	4125	912.5	0.15	1.5	7	74.5	275		7.2	14.12
6	1	2062.5	4625	1012.5	0.15	1	7	71.5	287.5		7.2	18.15
7	1	1875	3875	850	0.15	1	6.5	140	337.5		7.1	16.81
8	1	1762.5	4000	837.5	0.1	1	6	360	325	1.15	7.1	16.14
9	1	1937.5	5000	950	0.1	1	6.5	87.5	275		7.1	16.14
10	1	1712.5	5000	912.5	0.1	1	6.5	122.5	250		6.9	14.79
1	2	2125	3875	737.5	0.25	1.5	6	340	275		7.5	23.53
2	2	2375	3875	712.5	0.2	2	7.5	180	287.5		7.6	24.21
3	2	2612.5	4500	875	0.2	1	6	110	350		7.2	22.19
4	2	3325	4375	850	0.2	1	6	120	337.5		7.5	18.15
5	2	3175	4375	987.5	0.15	1.5	5	73	275		7.4	16.81
6	2	3112.5	4875	1050	0.1	1.5	6.5	67	275		6.9	15.47
7	2	2925	4500	1012.5	0.15	1.5	6	68	275		7	14.79
8	2	2837.5	3875	900	0.15	0.5	5.5	120	350	0.5	7.1	14.12
9	2	2725	3500	750	0.1	1	5	245	325	0.5	7	17.48
10	2	2700	4125	837.5	0.1	1.5	7	65	262.5		7.1	16.14
1	3	2500	3750	750	0.2	2	7	705	300		7.8	35.64
2	3	2750	3875	700	0.25	4.5	7	225	287.5		7.6	32.28
3	3	2912.5	3875	2500	0.25	1	5	34	337.5		7.3	18.15
4	3	3000	4125	787.5	0.2	1.5	6	120	300		7.4	14.79
5	3	2375	4875	1087.5	0.15	1	10.5	75	287.5		7.3	17.48
6	3	2350	4375	950	0.15	1	7.5	93	262.5		7.2	17.48
7	3	1925	3375	725	0.15	0.5	6	120	300		7.1	16.81
8	3	1900	3625	712.5	0.15	1	5.5	330	300	2.43	6.9	16.14
9	3	2100	4000	850	0.15	1	7.5	105.5	250	0.5	7	14.12
10	3	1875	5000	1012.5	0.15	1.5	9	82.5	312.5		7	12.78
1	4	3000	3375	725	0.2	2	4.5	780	262.5		7.5	31.60
2	4	3062.5	3500	650	0.25	1.5	4.5	260	250		7.7	24.88
3	4	3312.5	3625	825	0.15	1	4	110	350		7.8	18.15
4	4	3687.5	4250	875	0.2	1	3	115	325		7.5	19.50
5	4	3425	4625	1125	0.1	1	4.5	82	275		7.4	18.83
6	4	3350	4500	1062.5	0.1	1.5	4	73	287.5		7.2	19.50
7	4	3300	3625	975	0.1	0	2.5	105	337.5		7.2	17.48
8	4	2837.5	2875	725	0.1	0.5	2.5	265	775		7.1	15.47
9	4	3325	3875	1150	0.15	1	7	73.5	300		7	14.12
10	4	3187.5	4500	950	0.15	1.5	6	80.5	275		7	15.47
1	5	3750	3375	650	0.25	1.5	4	440	237.5		7.8	28.24
2	5	3850	3375	675	0.2	2	3	455	275		7.8	22.86
3	5	4375	3375	725	0.15	1	4	140	362.5		7.9	20.84
4	5	4450	3750	812.5	0.15	1	2.5	125	337.5		7.6	21.52
5	5	4062.5	4125	975	0.1	1.5	4	77.5	337.5		8	18.15
6	5	4025	3750	837.5	0.1	1.5	4.5	87.5	237.5		7.4	18.15
7	5	3912.5	3750	762.5	0.15	2	4	75.5	212.5	0.5	7.4	16.14
8	5	3550	4000	812.5	0.15	1.5	5	90	287.5	0.5	7.2	16.14
9	5	3400	2875	687.5	0.15	0.5	2.5	135	262.5		7.1	17.48
10	5	3437.5	3125	662.5	0.1	1	3	210	350		7.1	17.48
1	6	3787.5	3125	612.5	0.25	2.5	3.5	805	200		7.7	26.90
2	6	3912.5	3250	550	0.25	1.5	3	480	187.5		7.8	20.84
3	6	4400	3125	675	0.1	1	2.5	150	312.5		7.5	20.84
4	6	4612.5	3500	687.5	0.15	0.5	2	125	275		7.7	20.17
5	6	4575	4375	1012.5	0.1	1.5	5.5	90	312.5		7.6	18.83
6	6	4450	4125	962.5	0.15	1	4.5	98	225		7.5	19.50
7	6	4200	4250	1000	0.1	1	4	77.5	312.5		7.5	18.15
8	6	4025	4125	887.5	0.15	1.5	5	95	200		7.3	17.48
9	6	3675	3125	725	0.15	0.5	3	135	362.5	3.07	7.3	18.15
10	6	3400	2750	587.5	0.15	1.5	3.5	335	250		7.2	16.81

Cuadro 10A. Promedios para cada elemento esencial (ppm), pH y materia organica (%), correspondientes a tiempos de muestreo y proporciones de lirio- pulpa de cafe.

Muestreo y proporciones	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn	P	pH	% M.O
1	2825.00	3645.83	720.83	0.23	1.75	5.58	546.67	0.00	7.65	29.59
2	3010.42	3791.67	681.25	0.23	2.17	5.83	300.83	1.15	7.68	26.34
3	3312.50	3812.50	1070.83	0.17	1.00	4.58	107.33	0.00	7.57	20.06
4	3560.42	4041.67	808.33	0.19	1.00	4.25	118.33	0.00	7.50	18.49
5	3302.08	4416.67	1016.67	0.13	1.33	6.08	78.67	0.00	7.48	17.37
6	3225.00	4375.00	979.17	0.13	1.25	5.67	81.67	0.00	7.23	18.04
7	3022.92	3895.83	887.50	0.13	1.00	4.83	97.67	0.08	7.22	16.70
8	2818.75	3750.00	812.50	0.13	1.00	4.92	210.00	0.76	7.12	15.91
9	2860.42	3729.17	852.08	0.13	0.83	5.25	130.25	0.68	7.08	16.25
10	2718.75	4083.33	827.08	0.13	1.33	5.83	149.25	0.00	7.05	15.58
100-0%	2000.00	4450.00	878.75	0.17	1.10	7.00	147.60	0.81	7.28	19.77
80-20%	2791.25	4187.50	871.25	0.16	1.30	6.05	138.80	0.10	7.23	18.96
60-40%	2368.75	4087.50	1007.50	0.18	1.50	7.10	189.00	0.29	7.26	18.09
40-60%	3248.75	3875.00	906.25	0.15	1.10	4.25	194.40	0.00	7.34	18.29
20-80%	3881.25	3550.00	760.00	0.15	1.35	3.65	183.55	0.10	7.53	18.42
0-100%	4103.75	3575.00	770.00	0.16	1.25	3.65	239.05	0.31	7.51	18.69

Cuadro 11A. Temperatura ambiental promedio diaria (°C), para la estación metereológica San Cristóbal, del 18 de diciembre de 1993 al 28 de marzo de 1994.

16.7	15.9	16.7	17.0	17.8	16.9	17.7	20.6	20.3	19.9
16.2	15.7	16.1	16.9	18.9	17.5	18.2	21.1	18.6	21.4
15.8	14.6	15.9	16.2	18.6	18.5	17.5	19.4	19.2	20.6
16.1	17.3	16.8	17.1	18.3	18.1	18.4	19.2	19.1	19.9
17.8	16.1	17.2	17.4	17.9	17.6	16.7	20.8	19.5	19.7
16.8	17.6	16.0	17.3	18.8	16.9	18.9	18.4	18.9	20.1
17.7	17.0	15.2	17.5	17.5	17.1	19.1	18.9	19.1	21.4
17.4	16.2	16.4	18.4	18.8	18.0	19.5	19.7	18.4	21.1
15.4	16.7	16.7	17.0	18.4	17.6	19.4	20.2	19.7	20.6
15.9	17.3	16.5	16.7	17.3	15.9	19.1	20.1	20.8	20.4

Fuente: INDE.

Cuadro 12A. Datos de reducción (Ha.) de la laguna Chichoj, de 1954 a 1991.

Año	Area de la laguna (Ha.)	Reducción (Ha.)
1954	49.0	
1964	46.0	3.0
1968	45.0	1.0
1973	43.5	1.5
1987	38.5	5.0
1991	37.0	1.5

Fuente: (31).

Cuadro 13A. Programa para realizar el análisis de correlación, utilizando SAS.

```
SAS Version Number: 6.04
```

```
Customer Name: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
```

```
Customer Number: 25467001
```

```
OPTIONS PS=60;
```

```
DATA TESIS;
```

```
INFILE 'a:\aboneras.prn';
```

```
INPUT k ca mg cu fe zn mn ph mo;
```

```
run;
```

```
PROC CORR PEARSON;
```

```
RUN;
```

100

100



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 AGRONOMICAS**

Ref. Sem.049-94

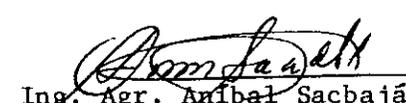
LA TESIS TITULADA: "ESTUDIO DE LA SOLUBILIDAD DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES PARA LAS PLANTAS (P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn), PROVENIENTES DE MEZCLAS DE PULPA DE CAFE (Coffea arabiga) Y LIRIO ACUATICO (Eichhornia crassipes) MEDIANTE LA SOLUCION EXTRACTORA CAROLINA DEL NORTE. SAN CRISTOBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ".

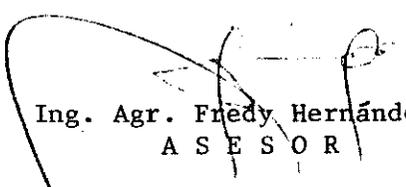
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JOHNNY AYENDI TOLEDO GONZALEZ

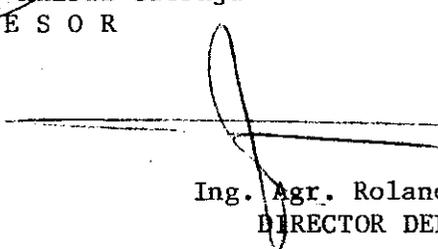
CARNET No.: 89-13735

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Raúl Escobar  
 Ing. Agr. José Jesús Chonay  
 Ing. Agr. Roderico Estrada

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

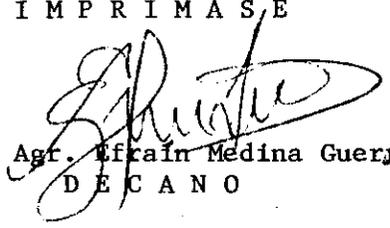
  
 Ing. Agr. Anibal Sacbajá  
 ASESOR

  
 Ing. Agr. Friedy Hernández Ola  
 ASESOR

  
 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio  
 DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A S E

  
 Ing. Agr. Efraín Medina Guerra  
 DECANO



c.c. Control Académico  
 Archivo  
 /pr

APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770

