

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

EVALUACION DE TRES DOSIS DE UN DIGESTOR ENZIMATICO DE
RASTROJOS PARA LA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO
A PARTIR DE ESTIERCOL DE GANADO BOVINO

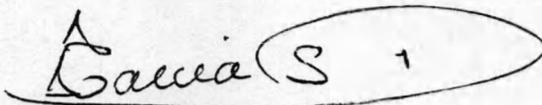
POR:

JOSE RICARDO AGUILLON MARTINEZ
JOSE RAFAEL ESCOBAR PORTILLO
ROMULO POMPILIO ROMERO TORRES

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO AGRONOMO

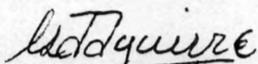
SAN SALVADOR, JULIO DE 1993

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

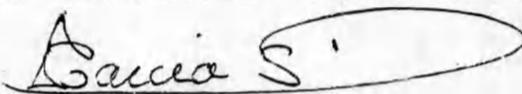


ING. AGR. RAMON ANTONIO GARCIA SALINAS

ASESORES:

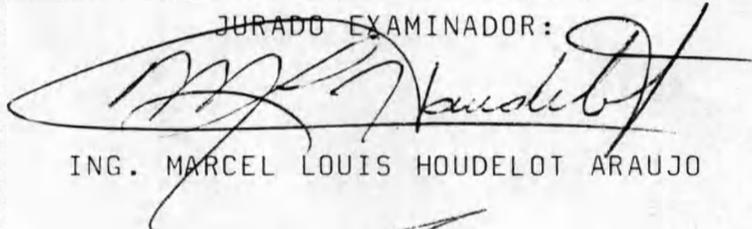


ING. AGR. GLADYS HAYDEE AGUIRRE VIGIL

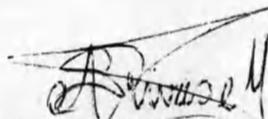


ING. AGR. RAMON ANTONIO GARCIA SALINAS

JURADO EXAMINADOR:



ING. MARCEL LOUIS HOUDELLOT ARAUJO



ING. AGR. SALOMON RIVAS MARTINEZ



ING. AGR. JACOB ISRAEL PALACIOS BRUNO

R E S U M E N

El presente estudio se realizó en la Escuela Nacional de Agricultura "Roberto Quiñónez", localizada en el Valle de San Andrés a 33,5 Km, carretera Panamericana, Ciudad Arce, Departamento de La Libertad, ubicada a 460 m.s.n.m.; con condiciones climáticas durante el ensayo de temperatura promedio 23,3°C; precipitación promedio 65,8 mm y 73% de humedad relativa promedio. Los objetivos del estudio fueron evaluar tres dosis de un digestor enzimático de rastrojos en estiércol de ganado bovino y determinar que dosis logró una mejor descomposición del estiércol.

La investigación se realizó durante el período del 28 de octubre al 27 de diciembre de 1992 (60 días), para la cual se utilizaron 3,2 toneladas métricas de estiércol de ganado bovino de doble propósito, distribuido en cantidades de 181,44 kilogramos (4 qq) las cuales constituyeron las unidades experimentales; en base al diseño estadístico completamente al azar formado por cuatro tratamientos y cuatro repeticiones: T₀ = 0cc/Ton, T₁ = 50cc/Ton, T₂ = 100cc/Ton, T₃ = 150cc/Ton, para el análisis de datos se utilizó un paquete de computadora llamado "Storm", específico para análisis probabilístico, estadístico y programación lineal.

Los parámetros de evaluación utilizados para determinar el tratamiento óptimo fueron: la temperatura, volumen,

concentración de nutrientes, color y olor; siendo el tratamiento tres el que bajo las condiciones evaluadas fue mejor que los otros tratamientos.

AGRADECIMIENTOS

- Nuestros sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que colaboraron de una u otra forma con el desarrollo de la presente investigación.

- **A NUESTROS ASESORES:**
Ingenieros Gladys Haydee Aguirre y Ramón Antonio García Salinas; por su valiosa colaboración.

- **A LA COMPAÑIA BIO-AGRO LATINOAMERICA:**
Por permitirnos utilizar su producto "Digestor Enzimático de Rastrojos" y en especial a los Ingenieros: Rodolfo Antonio Olivares M. y Marcel Louis Houdelot.

- **A LA ESCUELA NACIONAL DE AGRICULTURA "ROBERTO QUIÑONEZ", (E.N.A.):**
Por permitirnos utilizar parte de sus instalaciones y por los materiales y equipo utilizados para el desarrollo del presente trabajo.

- **AL PERSONAL DEL DEPTO. DE SERVICIOS ANALITICOS DE LA FUNDACION SALVADOREÑA PARA INVESTIGACIONES DEL CAFE (PROCAFE):**
Por su valiosa colaboración y en especial a la Dra. María Yolanda Orellana Guardado.

- A LOS MIEMBROS DEL JURADO EXAMINADOR, INGENIEROS:

Marcel Louis Houdelot

Salomón Rivas Martínez

Jacob Israel Palacios Bruno

Por sus acertadas observaciones, con el fin de mejorar
el presente documento.

DEDICATORIA

- **A DIOS TODOPODEROSO:**

Por guiarme e iluminarme el camino para llegar a obtener mi meta, como lo es mi carrera universitaria.

- **A MI PADRE:**

José Aguillón

Por su confianza, comprensión y apoyo constante, sin lo cual no hubiese sido posible la finalización de mis estudios Universitarios.

- **A MI MADRE:**

Concepción Martínez

Por su amor, lucha y dedicación en mi formación.

- **A MIS HERMANOS:**

Ana Silvia

Daysi

Walter Armando

Por su apoyo, comprensión y amor para llegar con éxito a coronar mi carrera.

- **A MIS FAMILIARES, MAESTROS, COMPAÑEROS Y AMIGOS:**

Por su amistad, cariño, conocimientos y por el mutuo apoyo en los momentos difíciles que compartimos.

JOSE RICARDO

DEDICATORIA

- **A DIOS TODOPODEROSO:**

Con toda mi devoción cristiana, por haberme permitido coronar con éxito mi carrera universitaria y guiarme e iluminarme en tantos momentos de frustración.

- **A MI PADRE:**

Saturnino Escobar (Q.E.P.D.).

- **A MI MADRE:**

Dora Angélica Portillo Vda. de Escobar

Por creer en mí, además de darme todo su apoyo, comprensión y cariño que sólo una madre nos puede dar.

- **A MIS HERMANAS:**

Nubia, Consuelo, Elsa, Dora Alicia, Flor y Anabel

Con amor fraternal y su apoyo constante.

- **A MI TIA:**

Carmen Escobar

Por su ayuda en mi formación profesional.

- **A MI CUÑADO:**

Elmer Rodríguez

Por su apoyo oportuno e incondicional durante mis estudios.

- A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO DE GRADUACION:

Al chele Aguillón

y especialmente a "Pilo" por compartir tantas noches de desvelo para lograr conquistar nuestra meta soñada.

- A MIS FAMILIARES, PROFESORES, COMPAÑEROS Y AMIGOS
Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA
ME AYUDARON EN MI FORMACION ACADEMICA.

CON ESPECIAL AGRADECIMIENTO

RAFAEL ESCOBAR

DEDICATORIA

DEDICO ESPECIALMENTE ESTE TRABAJO A:

- **DIOS TODOPODEROSO:**

Por ser mi guía e iluminarme en el camino correcto para poder coronar mi carrera universitaria.

- **MI PADRE:**

José Santos Torres (Q.E.P.D.).

- **MI MADRE:**

María de Jesús Romero, a quien le debo lo que soy y por ser la persona que más admiro en este mundo, por su dedicación, sacrificio y amor infinito en mi formación profesional.

- **A TODOS MIS HERMANOS:**

Por la confianza y apoyo constante que depositaron en mi y sin lo cual no hubiese sido posible la realización de mis estudios.

- **FAMILIARES, PROFESORES, AMIGOS, COMPAÑEROS Y TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA FORMA U OTRA CONTRIBUYERON A MI FORMACION PROFESIONAL.**

ROMULO POMPILIO

I N D I C E

	PAGINA
RESUMEN	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIAS	viii
INDICE DE CUADROS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xvi
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	2
2.1 Antecedentes Nacionales	2
2.2 Antecedentes Internacionales	3
2.3 Origen y Composición del Suelo	4
2.4 La Materia Orgánica en el Suelo	4
2.4.1 Factores que influyen sobre la minerali- zación y humificación	8
2.4.2 Efectos provechosos de la materia orgá- nica	10
2.5 El humus	11
2.6 Abonos orgánicos	12
2.7 El estiércol	13
2.7.1 El uso del estiércol	13
2.7.2 Composición del estiércol	15
2.7.3 Efectos benéficos del estiércol	17
2.7.4 Conservación del estiércol	19
2.8 Explicación de las interacciones que desarro- lla el digestor enzimático de rastros	20
2.8.1 Uso y manejo del digestor enzimático de rastrojo	21.

	PAGINA
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1 Localización	23
3.2 Condiciones de clima	23
3.3 Metodología	24
3.4 Diseño experimental	24
3.4.1 Descripción de tratamientos	25
3.5 Parámetros de evaluación	25
3.5.1 Temperatura	25
3.5.2 Volumen	26
3.5.3 Análisis químico	26
3.5.4 Color y olor	26
3.5.5 Estudio económico	26
4. RESULTADOS Y DISCUSION	28
4.1 Temperatura	28
4.2 Volumen	31
4.3 Análisis químico	33
4.4 Color y olor	38
4.5 Estudio económico	39
5. CONCLUSIONES	41
6. RECOMENDACIONES	42
7. BIBLIOGRAFIA	43
8. ANEXOS	49

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Microorganismos que participan en el <u>proce</u> so de mineralización	7
2	Composición del estiércol fresco de algu- nos animales domésticos	16
3	Características del digestor enzimático de rastros	22
4	Variaciones de temperatura, humedad <u>relati</u> va, precipitación, hora luz, nubosidad y velocidad del viento durante el desarrollo del experimento	23
5	Promedios de temperatura en los tratamien- tos	29
6	Disminución en porcentaje de las alturas en los diferentes tratamientos	31
7	Análisis químico promedio de los diferentes tratamientos	33
8	Pruebas de color según tabla de colores Munsell	38

CUADRO

PAGINA

9	Costo económico por elemento de algunos fertilizantes químicos y el tratamiento de 150cc/ Ton	40
A-1	Parámetros a evaluar en el Programa Storm	50
A-2	Resumen Final del Programa Storm	51

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Evaluación de las temperaturas de los <u>tra</u> tamientos aplicados con digestor enzimá <u>ti</u> co y testigo	30
2	Evaluación de las alturas de los tratamien <u>to</u> s aplicados con digestor enzimático y testigo	32
3	Evaluación del pH en estiércol tratado con digestor enzimático	34
4	Evaluación del "C/N" en estiércol tratado con digestor enzimático	35
5	Análisis "C/N" y porcentaje de materia or- gánica en estiércol tratado con digestor enzimático	37
A-1	Diagrama esquemático de la descomposición de la materia orgánica y de la circulación de nutrientes	52
A-2	Relación entre el pH y la relación C/N	53
A-3	Diagrama esquemático de la cantidad de sus <u>tu</u> rato mineralizado en relación a la tempe- ratura	54

FIGURA		PAGINA
A-4	Ubicación de los cuatro tratamientos con sus cuatro repeticiones aplicando el diseño completamente al azar	55
A-5	Evaluación del Nitrógeno en estiércol tratado con digestor enzimático	56
A-6	Evaluación del fósforo en estiércol tratado con digestor enzimático	57
A-7	Evaluación del potasio en estiércol tratado con digestor enzimático	58
A-8	Evaluación del calcio en estiércol tratado con digestor enzimático	59
A-9	Evaluación del magnesio en estiércol tratado con digestor enzimático	60
A-10	Evaluación del hierro en estiércol tratado con digestor enzimático	61
A-11	Evaluación del porcentaje de materia orgánica en estiércol tratado con digestor enzimático	62

1. INTRODUCCION

En El Salvador, en los últimos años los fertilizantes químicos han aumentado de precio en forma continua; estos aumentos son tan frecuentes que casi pasan inadvertidos.

Es indudable que al igual que hoy, en el futuro los fertilizantes químicos serán un insumo agrícola costoso; razón por la cual es necesario la búsqueda de técnicas que ayuden a mejorar la fertilidad de los suelos e incrementar la producción de los cultivos a un bajo costo; siendo una buena alternativa el uso de abonos orgánicos.

En el grupo de abonos orgánicos, los de mejor calidad son los de origen animal, tal es el caso del estiércol de bovino que al ser aplicado al suelo logra mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas; pero para obtener dichos beneficios se requiere de un período relativamente largo debido a que su proceso de degradación es muy lento y que durante el cual es un contaminante al medio ambiente; por lo que es importante hacer un mejor uso de este material con un tratamiento adecuado, el cual consiste en acelerar el proceso de degradación mediante la aplicación de un digestor enzimático de rastrosos.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Antecedentes Nacionales

Estudios realizados por OLIVARES, R.A. y MORALES, C.R.; 1986, para medir el efecto del digestor enzimático de rastros (stubble digester plus), de Cytozyme Laboratorios, Inc. en cachaza de caña de azúcar, en el ingenio El Angel, los resultados mostraron a los 60 días después de aplicado el digestor la cachaza estaba digerida; y el N se mantuvo estable y aumentó para P, Ca y Mg y disminuyó para K (20).

LARDE, G. y ALFARO, M.E.; 1986, evaluaron el digestor enzimático de rastros sobre la descomposición de la pulpa de café en el Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, y obtuvieron como resultados que el digestor enzimático de rastros multiplicó 1.6 veces la tasa de pérdida de los sólidos volátiles con relación a la pulpa de café no tratada; y a excepción del potasio en el testigo, el contenido en los elementos aumentó conforme procedía la descomposición (15).

En el año de 1987 se realizó otro estudio sobre el uso del producto por HERNANDEZ ACOSTA, J.A. en basura de mercados obteniendo como resultado que a los 90 días de aplicado en los promontorios de basura orgánica, el lote tratado con digestor redujo su volumen en un 50%, en relación con el testigo; así mismo, el color se volvió oscuro (café

tierra), y sin mal olor al compararlo con el promontorio no tratado (12).

En ese mismo año RIVERA, M.E.; PERLA, G.M. y ORELLANA, G.A. realizaron un tratamiento de pulpa de café con un digestor enzimático para su conversión en abono orgánico, obteniendo como resultado que de los 80 a los 90 días, la pulpa ya degradada presentó una gran concentración de los valores nutricionales que las plantas necesitan tales como fósforo, potasio, zinc y una disminución del pH (26).

En otro estudio realizado por OLMEDO ESCOBAR, O.A. y MORAN, D.F.; 1987, se determinó el efecto de la aplicación de un digestor enzimático de rastros para la degradación de pulpa de café; en el cual se comprobó que el digestor enzimático degradó en forma eficaz la de café en un período de 60 a 90 días y la concentración de nutrientes: N, Ca, K, Mg, S, y elementos menores, aumentaron en forma considerable (21).

2.2 Antecedentes Internacionales

En 1987 PANIAGUA, A. en Costa Rica llevó a cabo un estudio con el propósito de probar el digestor enzimático de rastros en la descomposición de la cachaza de la caña de azúcar, obteniendo como resultado que en cuanto al peso de los tratamientos no hubo diferencia estadística significativa, sin embargo, la concentración de los nutrientes aumentó con respecto al testigo (24).

En este mismo año LEIVA, J.R. en Guatemala evaluó el degradador enzimático de rastros en la descomposición de la pulpa de café; los resultados mostraron que el parámetro volumen-altura, fue el que mejor demostró la acción del degradador, en especial la dosis de 150 cc/gal. de agua/Ton de pulpa; además se pudo observar que los contenidos minerales no se alteraron en forma significativa (17).

2.3 Origen y Composición del Suelo.

El suelo es el producto resultante de la desintegración y descomposición de las rocas así como de los materiales de plantas y animales. Se compone de 5 grandes componentes: 1) Material Mineral, cuya proporción es menor del 50% del volumen total que difieren en su composición mineralógica y química; 2) el agua; 3) el aire, que son los que llenan los espacios porosos del suelo; 4) la fracción orgánica (materia) que proporciona del 3-6% del volumen total y se compone de microorganismos vivos, de los residuos orgánicos de plantas, animales y microorganismos muertos, 5) la población viviente, que incluye pequeños animales y microorganismos que proporcionan menos del 1% del volumen (7).

2.4 La Materia Orgánica en el Suelo.

La materia orgánica del suelo es muy compleja; casi todas las sustancias orgánicas naturales, más pronto o más tarde van a parar al suelo. Su permanencia en

el suelo puede ser breve si son de fácil descomposición por microorganismos, pero si son resistentes pueden permanecer durante muchos años (3).

La materia orgánica está constituida de microorganismos y animales pequeños, vivos o muertos; de materiales frescos de plantas; y de materiales en descomposición y humus (10).

La materia orgánica es la base de la vida microbiana en el suelo y a la vez, el soporte y el alimento de la mayor parte de los microorganismos del suelo, que la hacen pasar en sucesivas etapas del estado de materia orgánica sin descomponer al estado mineral que es la forma en que servirá de alimento a la planta (11).

El contenido de la materia orgánica en el suelo depende del aporte de ésta y varía según los usos de éste; así tenemos que en suelos no cultivados, la materia orgánica se obtiene de los residuos de plantas silvestres; y que dicho suministro sirve para renovar la cubierta vegetal natural. En los suelos cultivados se obtiene por los residuos vegetales que favorecen la actividad de la fauna diminuta del suelo, como lombrices, caracoles y escarabajos (10).

En los pastizales la materia orgánica proviene de los residuos de plantas, por la muerte de raíces y desechos del ganado que se acumulan en la capa superficial del suelo (5).

La materia orgánica contiene cerca del 5% del nitrógeno total, sirviendo de esta manera como un depósito para el nitrógeno de reserva. El nitrógeno en la materia orgánica se encuentra en compuestos orgánicos y por lo tanto no está disponible en forma inmediata para uso de la planta, debido a que su descomposición por lo general es bastante lenta. Los residuos vegetales y animales contienen cantidades variables de elementos minerales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes; y a medida que la materia orgánica se descompone, estos elementos se vuelven disponibles para las plantas en crecimiento (25).

Se distinguen dos fases en la evolución de la materia orgánica en el suelo; mineralización y humificación.

La mineralización es la conversión de nutrimentos orgánicos a la forma mineral inorgánica; después de la destrucción mecánica y física de los restos vegetales y animales se produce el ataque por microorganismos que a base de sus jugos digestivos y enzimas llevan a la destrucción de los compuestos orgánicos y a la liberación de minerales (7).

La materia orgánica que se agrega al suelo consiste de una variedad de compuestos. Estos incluyen grasas, carbohidratos, proteínas, ligninas y otros; los cuales mediante el proceso de mineralización producen liberación de energía como calor, dióxido de carbono y agua, y la aparición de nitrógeno como amonio (NH_4^-), azufre como sulfato ($\text{SO}_4=$), fósforo como fosfato (PO_4-3) y muchos otros nutrimentos como

simples iones metálicos (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺). Es de hacer notar que los microorganismos mientras digieren los residuos orgánicos utilizan algo del carbono, nitrógeno para fabricar su proteína, energía y otros nutrimentos para su propio desarrollo (Fig. A-1) (9).

En el cuadro 1 se detallan los diferentes grupos de microorganismos que participan en el proceso de mineralización.

Cuadro 1. Microorganismos que participan en el proceso de mineralización.

MICROFLORA			MICROFAUNA	MACROFAUNA
BACTERIAS	ACTINOMICETES	HONGOS		
Micrococcus Sp.		<u>Aspersillus sp</u>	Rizópodos	Nemátodos
Bacterium Sp.	Nocardia Sp.	<u>Penicillium sp</u>	Flagelados	Lombrices
Bacillus Sp		<u>Dematiaceum sp</u>	Ciliados	Hormigas
Azotobacter Sp.		<u>Fusarium sp</u>		Termitas
Clostridium Sp.		<u>Cladosporium sp</u>		Colembolas
		<u>Hormodendrum sp</u>		
		<u>Neospura sp</u>		

FUENTE: FASSBENDER, H.W. (7).

La segunda fase en la evolución de la materia orgánica es la humificación que consiste en una síntesis o resíntesis de los productos de mineralización; esta polimerización lleva a ácidos húmicos y derivados de gran tamaño molecular. A través del proceso de humificación se forman en el suelo productos definidos, estables, de color oscuro denominados ácidos húmicos. Por ser productos sintéticos del suelo se agrupan en la fracción típica edáfica del humus. Se trata de compuestos polimerizados y su estructura aromática es complicada y variable.

Los ácidos húmicos son sustancias resultantes del metabolismo del suelo; su clasificación está basada en la consideración de su solubilidad, tamaño molecular, color; los ácidos húmicos confieren al suelo características determinadas a través de sus propiedades específicas de formación de agregados, absorción de elementos nutritivos, color, retención de agua y otros.

2.4.1 Factores que influyen sobre la mineralización y la humificación.

Se pueden dividir en factores internos y externos. Los internos están relacionados con los restos animales y vegetales que se mineralizan y humifican y los externos con características del medio en el cual ocurren estos procesos.

Entre los factores internos hay que considerar la

composición y la cantidad de restos animales y vegetales depositadas, además de la relación carbono/nitrógeno (C/N), la relación ácidos/bases, la relación lignina/celulosa y el contenido en minerales. La relación carbono/nitrógeno (C/N) varía según el pH ya que éste influye en el contenido y composición de los microorganismos debido a que bajo condiciones ácidas se limita a la acción bacteriana y de la macroflora y se favorece la reproducción de hongos, resultando una menor eficiencia en la mineralización y humificación con la consecuente acumulación de la materia orgánica; así mismo se ha encontrado que la relación carbono/nitrógeno (C/N) es más baja en suelos neutros o ligeramente alcalinos (Fig. A-2). Además la relación carbono/nitrógeno varía según el sustrato a mineralizarse, de acuerdo con las especies y la edad de las mismas. Plantas jóvenes generalmente presentan relaciones C/N alrededor de 20; al madurar un tejido baja el contenido de proteínas y minerales, aumenta el de la lignina, resultando un incremento de la relación C/N a valores mayores de 30; de esta manera decrece la susceptibilidad del sustrato a la mineralización. La relación ácidos/bases es importante, de manera especial, en medios ecológicos naturales; muchas veces un exceso de ácidos y la falta de minerales, en especial calcio y microelementos pueden limitar la mineralización. Relaciones lignina/celulosa menores de 0.4, resultan en una mineralización lenta; valores mayores que 0.5 como se hallan en plantas jóvenes facilitan la mineralización.

Siendo la mineralización un proceso microbiológico, la composición y la cantidad de la microflora y microfauna es el factor edáfico más importante. Otros factores como el pH, granulometría, riquezas y disponibilidad de nutrimentos, régimen hídrico y condiciones de aireación inciden sobre la flora y la fauna e influyen en forma indirecta sobre la mineralización.

La mayor parte de las bacterias se desarrollan mejor bajo pH neutro o ligeramente alcalino, en humedad relativa del 98% y temperaturas entre 30 y 50°C. Bajo condiciones de mala aireación sólo se produce la acumulación de restos vegetales y su mineralización es muy lenta (Fig. A-3).

Casi todos los microorganismos son heterótrofos con respecto al carbono, por lo que necesitan un sustrato de desarrollo con cantidades adecuadas de carbono. El carbono proviene de la mineralización de carbohidratos, bajo condiciones de alta proporción de lignina, la falta de carbono puede ser limitante en la mineralización (7).

2.4.2 Efectos provechosos de la materia orgánica

El contenido de materia orgánica en el suelo es un parámetro que refleja la calidad del suelo, porque influye en todas sus propiedades químicas, físicas y biológicas (29).

En las propiedades químicas suple la mayor parte del

nitrógeno, aporta elementos mayores como fósforo y potasio, crea un sistema buffer y suministra la mayor parte del intercambio catiónico; en las propiedades físicas mejoran su estructura, textura, agregación del suelo y la retención hídrica en suelos arenosos; forma complejos con los micronutrientes lo cual evita su lixiviación y las propiedades biológicas suministra energía a los microorganismos del suelo aumentando de esta manera la microflora y microfauna que son los responsables de la liberación de los componentes químicos que integran la materia orgánica (19,27).

Además se han determinado entre otros beneficios de la materia orgánica, que ésta permite el retardamiento de la fijación irreversible de nutrientes; permite la compensación de las fluctuaciones de temperatura; y el abastecimiento de sustancias orgánicas con carácter de auxinas, fomentando así el crecimiento (13).

2.5 El humus

Materia orgánica y humus no son sinónimos; humus es el compuesto final de la descomposición de la materia orgánica. El humus está compuesto de materias orgánicas de gran resistencia tales como lignina, celulosa, hemicelulosa unido al inmenso número de bacterias y hongos muertos. Los cuales forman una sustancia oscura viscosa que tiene la propiedad de ligar las partículas de tierra en migas que le dan al suelo esa textura tan especial. El humus no es

estable está aún en un estado de descomposición lenta hasta que es consumido, pero que si se agrega al suelo materia orgánica nueva, la masa de humus es constante siempre que lo que se añada iguale a lo que se va descomponiendo (18).

2.6 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos son en cierto sentido abonos universales porque se producen en todas las explotaciones agrícolas, y se caracterizan por ser de origen vegetal y animal y por disponer de sustancias nutritivas minerales. Entre los elementos nutritivos que los abonos orgánicos proporcionan se encuentran nitrógeno y fósforo, así como pequeñas cantidades de potasio y elementos menores, cuya concentración es, sin embargo, más baja que los fertilizantes minerales. A pesar de ello los abonos orgánicos no deberán valorarse sólo por su contenido en nutrientes sino también por su benéfico efecto en el suelo. La materia orgánica de ésta, activa los procesos microbiales, fomentando en forma simultánea su estructura, aireación y capacidad de retención de humedad. Junto con ello actúa como regulador de la temperatura edáfica, retarda la fijación del ácido fosfórico mineral y suministra productos de descomposición orgánica que incrementa el crecimiento de la planta. Asimismo, representa una fuente de lento y uniforme suministro de nitrógeno, ejerciendo con ello una favorable influencia sobre el contenido protéico de la planta.

En virtud de estas propiedades los abonos orgánicos crean las condiciones necesarias para la eficacia del empleo de fertilizantes minerales. La creación de condiciones locales ideales para los vegetales, es sin embargo sólo posible mediante la integración de los abonos orgánicos y los fertilizantes minerales (28,10). El aumento de sustancias orgánicas inducido por los abonos orgánicos es fundamental para que el efecto de los fertilizantes minerales sea óptimo; en otras palabras, si la sustancia orgánica es muy escasa en el suelo y no se usaran abonos orgánicos, a menudo no sería de esperar aumentos sensibles de producción aún empleando fuertes cantidades de fertilizantes químicos (32).

Entre las ventajas de hacer abono orgánico se tienen: Se aprovechan en forma racional los recursos que muchas veces se desperdician como por ejemplo los estiércoles de animales de granja y los restos de cultivos no secos, se evitan las quemas o rozas, favorece el desarrollo de microorganismos, facilita la absorción del agua por el terreno, la aireación del suelo, la absorción de nutrientes, y es producido a un menor costo: la forma más conocida para la elaboración de abono orgánico son las llamadas aboneras entre las que tenemos la de fosa o subterránea y la abonera mejorada (1).

2.7 El estiércol

2.7.1 El uso del estiércol

Desde hace siglos el estiércol se aplica en áreas de cultivo porque es fuente de nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos esenciales para las plantas (2). En la última década, los fertilizantes químicos han aumentado de precio en forma continua, en algunos países esos aumentos de precios son tan frecuentes que casi pasan inadvertidos. Es indudable que al igual que hoy, en el futuro los fertilizantes inorgánicos serán un insumo agrícola costoso, porque su elaboración requiere grandes cantidades de energía. Los agricultores que no utilizan sus fuentes naturales de abono deben comenzar a tener en cuenta y estudiar las diferentes alternativas de su disposición. En un principio, vale la pena tener una idea del valor del estiércol y de la cantidad del mismo que pueden producir las diversas clases de animales en condiciones normales (16).

El estiércol en todas sus formas, es el tipo más antiguo de fertilizante que se conoce. La razón de aplicar estos materiales se basa en la suposición de que devuelven al suelo todo aquello que el cultivo le ha quitado(30). Pero antes es necesario definir dos términos básicos usados para describir los excrementos del ganado: estiércol sólido, estiércol líquido.

El estiércol líquido está formado por el excremento y orines del ganado, vale la pena indicar que el exceso de agua en la mezcla, resultan mayores costos de almacenamiento

y la distribución en el campo porque es muy importante mantener el volumen del estiércol líquido en niveles adecuados.

El estiércol sólido presenta menos problemas de manejo, porque las heces y los orines del ganado se mezclan con el material de la cama, que absorben los líquidos (16). La aplicación de abonos orgánicos a partir del estiércol bovino representa una técnica mucho más conveniente, ya que permite tanto la pérdida de elementos minerales como, en cierta medida la mano de obra y el espacio necesario (22).

2.7.2 Composición del estiércol

El estiércol está compuesto por la íntima unión y consiguiente putrefacción de residuos vegetales, con deyecciones de animales domésticos; por su variada composición por las activas y profundas modificaciones que en él se generan en el período de la maduración y por el gran valor agronómico que tiene en el campo físico, químico y biológico, tiene y tendrá siempre la importancia de abono orgánico fundamental (32).

La composición del estiércol varía entre límites muy amplios, según los animales la naturaleza de la cama, la fertilización que haya realizado el agricultor, la forma de explotación del ganado, procedimiento de fabricación del estiércol, los cuidados proporcionados para conservarlo, su estado de descomposición, etc. (11).

A continuación en el cuadro 2 se detalla como difiere la composición del estiércol de los animales.

Cuadro 2. Composición del estiércol fresco de algunos animales domésticos.

ANIMAL	ESTIERCOL	%	ELEMENTOS %			
			AGUA	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Caballo	Sólido	80	75	0.55	0.30	0.40
	Orina	20	90	1.35	trazas	1.25
	Total		78	0.70	0.25	0.55
Vaca	Sólido	70	85	0.40	0.20	0.10
	Orina	30	92	1.00	trazas	1.35
	Total		86	0.60	0.15	0.45
Oveja	Sólido	67	60	0.75	0.50	0.45
	Orina	33	85	1.35	0.05	2.10
	Total		68	0.95	0.35	1.00
Cerdo	Sólido	60	80	0.55	0.50	0.40
	Orina	40	97	0.40	0.10	0.45
	Total		87	0.50	0.35	0.40
Gallina	Total		55	1.00	0.80	0.40

FUENTE: WORTHEN, E.L. (33).

Una tonelada de estiércol bovino contiene en promedio 4,5 Kg de N, 2,25 Kg de P₂O₅ y 4,5 Kg de K₂O.

A medida que se va produciendo la descomposición, desaparecen materiales como la celulosa y la hemicelulosa, mientras que

el porcentaje en lignina y proteína aumenta, así como el de los constituyentes minerales. Los constituyentes minerales son una buena base para determinar la desaparición o la acumulación de los demás constituyentes. Si por ejemplo, el porcentaje de minerales es tres veces superior, significa que sólo queda un tercio de la materia orgánica inicial. La lignina se acumula porque su descomposición es más lenta que la de la celulosa y la hemicelulosa (31).

2.7.3 Efectos benéficos del estiércol

El estiércol fuente importante de materia orgánica es quizá el sub-producto agrícola de mayor valor. La influencia que ejerce como mejorador del suelo y como fertilizante, es cada día máspreciado por los agricultores (8). Entre los beneficios químicos del estiércol es que puede considerarse como un abono completo, no bien equilibrado; la parte sólida es la más rica en elementos nutritivos, pues aporta la mayor parte del nitrógeno, fósforo y potasio, además crea un sistema tampón en el suelo y mejora la capacidad de intercambio catiónico, en las propiedades biológicas aumenta la microflora y microfauna que son las responsables de la liberación de los componentes químicos que integran la materia orgánica mediante el suministro de energía a los microorganismos; en cuanto a los beneficios del estiércol sobre las características físicas del suelo podrían no ser evidentes durante la primera y hasta segunda temporada. La materia orgánica del estiércol debe descomponerse por acción de los microorga-

nismos antes que pueda tener cualquier efecto notable sobre la agregación del suelo; entre los beneficios físicos del estiércol tenemos:

- Agregación, la cantidad de un estiércol específico para alterar los agregados del suelo varía con el tipo del suelo y la fuente del estiércol, una vez que comienzan a formarse agregados del suelo más grandes, el agua y el aire penetran en forma más abundante hasta la rizofera dando como resultado un aumento en el tamaño de los poros del suelo; los agregados de suelos ricos en materia orgánica requieren un impacto mucho mayor de las gotas de lluvia para alterar su estructura.
- Porosidades, la incorporación del estiércol al suelo tiene múltiples efectos sobre la porosidad por ejemplo, 150 toneladas por hectárea durante dos años, aumentaron el 98% de la porosidad de un suelo arenoso; al mismo tiempo el número de fisuras del suelo se redujo en forma notable.
- Densidad volumétrica, la densidad de muchos suelos, disminuye en un grado que también depende del tipo de suelo y la fuente de estiércol. Dos factores principales que causan la reducción observada de la densidad, son el aumento del contenido de materia orgánica y la mejor agregación de las partículas del suelo.
- Tasa de infiltración, el estiércol mejora la tasa de infiltración del agua en muchos suelos, otros aspectos físicos

benéficos son: la reducción de la erosión y las pérdidas por evaporación (2).

2.7.4 Conservación del estiércol

El valor de un estiércol guarda una relación directa con la forma en que se haya manejado y amontonado, para conservar la materia orgánica, el nitrógeno, fósforo y potasio. Los alimentos que consumen los animales proporcionan originalmente, en el estiércol el 50% aproximadamente de la materia orgánica, el 75% del nitrógeno, 80% fósforo y 90% del potasio, estos porcentajes se ven reducidos por tres causas principales de pérdidas que son: 1) Nitrógeno y el potasio soluble que se pierden cuando no se retiene la parte líquida o cuando el estiércol es lavado por la lluvia; 2) la transformación del nitrógeno de la orina en amoníaco y su desprendimiento hacia el aire cuando se seca el estiércol. Esto puede suceder en el establo en el montón de estiércol, o después de haber distribuido el estiércol en el campo. 3) cuando parte de la materia orgánica se quema. Esta pérdida es la más importante cuando se amontona el estiércol durante varios meses (33).

Los montones de estiércol no se deben voltear, se les debe mantener lo más compacto que sea posible y deberán tener alguna protección de la lluvia, como una cubierta de pasto en la parte superior del montón, lámina galvanizada, etc. y así reducir las pérdidas de nutrientes por el lavado. Al preparar el abono, se debe usar suficiente paja como para

que absorba toda la orina; si se aplica agua para descomponer la paja adicional, la cantidad se debe restringir de tal manera que no haya escurrimiento. Cuando el estiércol es llevado al campo se debe extender e incorporar al suelo cuanto antes, ya que puede traer como resultado una pérdida de amoníaco (4).

2.8 Explicación de las interacciones que desarrolla el digestor enzimático de rastrojos.

Mediante el proceso fotosintético las plantas fijan carbón en forma de derivados de celulosa. Debido al hecho de que la celulosa es polimerizada de las sub-unidades de glucosa (una fuente universal de energía), para liberar esta energía de las fibras de celulosa de la planta después de la cosecha. La tecnología Cytozyme ha desarrollado un complejo enzimático - regulador de crecimiento microbiológico heterogéneo, teniendo en mente la segmentación específica de la celulosa y de las fibras de lignina. La mayor parte de las bacterias del suelo, como las mixobacterias, inician la degradación de la celulosa desde puntos terminales, de aquí el complejo enzimático de la celulosa del digestor enzimático de rastrojos inician la segmentación en fibras completas, iniciando así el proceso de segmentación bacterial natural en el suelo. En resumen, tres son los efectos específicos que se observan en el digestor enzimático de rastrojos: liberación de la energía carbohidratada para acelerar los procesos de crecimiento bacterial; reduce las necesidades

de aumento de nitrógeno para la digestión de los desechos residuales de la cosecha; incrementa la actividad de las bacterias del suelo. Todos estos efectos se deben a la especificidad de alta reacción del complejo regulador de crecimiento de las enzimas bacteriales celulasa, lignasa del digestor enzimático de rastrojos (14).

2.8.1 Uso y manejo del digestor enzimático de rastrojos

El uso y manejo del digestor enzimático de rastrojos es sencillo ya que con 100 cc de producto puede tratarse una tonelada de material para su descomposición usando un equipo sencillo para asperjar en la cantidad de agua equivalente a uno o dos galones.

Cuando se trata de una agroindustria que está generando material orgánico que puede ser utilizado como abono, se programa el mejor momento para rociar el material cuando está en movimiento. No se necesita de albergue para guardar el material tratado, puede quedar al sol y a la lluvia y a los quince o treinta días de tratado se puede incorporar al campo en dosis de 5 a 6 toneladas por manzana según el estado del suelo y lo que necesita la planta (7000 metros cuadrados), en las calles o bien al fondo del surco. En árboles o arbustos de trasplante se ponen 5 a 6 libras por planta en el hoyo; en café y frutales de producción se incorporan de 10 a 30 libras, en el área de fertilización o de raíces de la planta, dependiendo de la población.

En esta forma se aprovecha su proceso de transformación final con la ayuda del suelo.

Para simplificar las labores de campo, el proceso puede ser hecho distribuyendo los materiales crudos, en área abierta y surcos, en las proporciones descritas arriba y aplicando el producto en dosis de 1000 cc por hectárea, 700 cc por manzana, en el volumen adecuado de agua para cubrir esa área (19).

En el cuadro 3 se detallan las características del digestor enzimático de rastrojos.

Cuadro 3. Características del digestor enzimático de rastrojos

PROPIEDADES FISICAS	CARACTERISTICA
Estado físico	Líquido
Color	Café oscuro
Solubilidad	Soluble en agua.
pH	2.2
Densidad	1.3
<u>INGREDIENTES</u>	
Complejos vitamínicos	1.2% p/peso
Proteína	2.5% p/peso
Enzimas hidrolíticas	1.0% p/peso

FUENTE: JONES, M. (14).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización

La investigación se inició en octubre de 1992 en el área experimental del Departamento de Zootecnia de la Escuela Nacional de Agricultura "Roberto Quiñónes"; localizada en el Valle de San Andrés, a 35,5 kilómetros Carretera Panamericana, Ciudad Arce, Departamento de La Libertad, ubicada a 460 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) en las coordenadas 13°15'26" a 13°15'28" Norte y 89°24'00" a 89°25'23,9" Oeste y finalizó en el mes de diciembre del mismo año; con una duración de sesenta días.

3.2 Condiciones de clima

Para medir la respuesta de los tratamientos en estudio, se registraron las variaciones de clima durante el desarrollo del experimento, los cuales se especifican en el cuadro 4.

Cuadro 4. Variaciones de temperatura, humedad relativa, precipitación, hora luz, nubosidad y velocidad del viento durante el desarrollo del experimento. ENA. Oct. a Dic. /92.

MES	TEMPERATURA (°C)				PRECIPITACION (mm)	NUBOSIDAD	HORA LUZ	VELOCIDAD/VIENTO (Km/h)
	MAX	MIN	MEDIA	HR(%)				
OCT	31,2	18,7	24,8	70	151,5	6,7	7,0	4,1
NOV	31,1	16,5	22,8	77	38,0	4,4	8,2	4,6
DIC	30,8	14,7	22,2	72	8,0	3,2	9,2	5,4

FUENTE: Estación agrometeorológica, San Andrés, La Libertad, 1992 (6).

3.3 Metodología

Se utilizaron 3,2 toneladas de estiércol de ganado bovino de doble propósito recolectado de los establos los cuales son de piso encementado; el estiércol fue transportado y pesado en cantidades de 181,44 kilogramos (4 qq); ubicándolos en el lugar correspondiente de acuerdo al diseño estadístico utilizado.

El área total que ocupó el ensayo fue de 30,25 metros cuadrados; cada unidad experimental ocupó un área de 1,0 metro cuadrado, delimitada en sus cuatro lados por una hilera de ladrillo de obra y separadas por calles de 0,5 metros.

Las aplicaciones del digestor enzimático de rastrojos se realizó con una bomba de mochila con capacidad de 5 galones, utilizando boquilla de abanico, diluyendo cada dosis en dos galones de agua; para que la aplicación del producto fuera uniforme sobre el estiércol ésta se hizo al momento de distribuirlo en sus respectivas unidades experimentales.

3.4 Diseño experimental

La distribución de las unidades experimentales se hizo en base al diseño estadístico completamente al azar o randomizado, debido a que la variación del material experimental era pequeña y uniformemente repartido (Fig. A-4). Para

el análisis de datos se utilizó un paquete de computadora llamado "STORM", específico para análisis probabilístico, estadístico, control de calidad y programación lineal para concluir con la "solución óptima" o "tratamiento óptimo" tomando el promedio de las repeticiones y sus respectivos costos.

3.4.1 Descripción de tratamientos

El digestor enzimático de rastros fue aplicado en forma uniforme sobre 181,44 kilogramos de estiércol bovino en tres diferentes dosis: 50; 100 y 150 centímetros cúbicos por tonelada denominados como tratamiento uno (T_1), tratamiento dos (T_2) y tratamiento tres (T_3), respectivamente y un testigo al cual no se le aplicó el producto enzimático denominado tratamiento cero (T_0). Se hicieron cuatro repeticiones por cada tratamiento.

3.5 Parámetros de evaluación

En el proceso de descomposición de un material orgánico tanto la temperatura, como el volumen, concentración de nutrientes, color y olor son indicadores de que el proceso de descomposición se está llevando a cabo, también se incluye un estudio económico; por lo que a estos parámetros se les llevó un registro continuo.

3.5.1 Temperatura

La temperatura se tomó cada dos días, con un termómetro de mercurio de 200°C de capacidad y a una profundidad aproximada de 25 a 30 centímetros para cada tratamiento y sus respectivas réplicas; la medición de esta variable se hizo para verificar la liberación de energía calorífica que tiene el estiércol durante su proceso de descomposición.

3.5.2 Volumen

El propósito de medir la altura fue para observar la reducción de volumen que tuvo el estiércol; ésta se tomó cada ocho días, utilizando dos reglas de un metro cada una, para todos los tratamientos y sus repeticiones.

3.5.3 Análisis químico

El análisis químico es necesario para saber la composición química del estiércol ya que será utilizado como abono orgánico y así poder dar recomendaciones, se procedió de la siguiente manera: a los cero días se tomó una muestra general del estiércol antes de la aplicación del producto enzimático, para determinar nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, pH, relación carbono-nitrógeno (C/N) y porcentaje de materia orgánica. Los métodos empleados fueron los siguientes: nitrógeno por el método Kjeldahl; fósforo por el método colorimétrico vanadato molibdato; potasio, calcio, magnesio y hierro por el método de espectrometría

de absorción atómica; el porcentaje de materia orgánica y la relación carbono nitrógeno por el método gravimétrico y el pH por el método potenciométrico.

A los sesenta días se tomaron cuatro muestras representativas, una por cada tratamiento; para determinar de esta manera el comportamiento de los componentes del estiércol en el proceso de descomposición.

3.5.4 Color y olor

El color del estiércol se observó al inicio y al final de la investigación haciendo uso de tabla de colores Munsell y el olor se determinó por una prueba organoléptica.

3.5.5 Estudio económico

Este parámetro se determinó haciendo una comparación de costos entre el nivel de fertilidad obtenido con el tratamiento óptimo del ensayo y el costo de algunos fertilizantes químicos.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Temperatura

Los resultados de temperatura obtenidos durante el período experimental se muestran en el cuadro 5.

Analizando los datos de la Fig. 1, se observa que todos los tratamientos tuvieron un aumento significativo durante los primeros diez días debido a una mayor actividad enzimática por parte de los microorganismos que son los responsables del proceso de mineralización el cual produce liberación de energía como calor (9) manteniéndose estable hasta los quince días y es a partir de esta fecha que se experimenta un descenso en la temperatura de los tratamientos tres, dos y uno, no siendo así en el tratamiento cero donde se mantuvo estable lo que indica que a los sesenta días que dura el experimento el tratamiento cero aún presentaba actividad enzimática.

Según Fassbender las enzimas se desarrollan mejor en un rango de temperatura que oscila entre 30 y 50°C (7). En general, todos los tratamientos estuvieron dentro de este rango; siendo el tratamiento dos y el tratamiento tres los que tuvieron similar comportamiento ya que a los 45 días su temperatura descendió por debajo del límite del rango lo que se puede explicar como una disminución en ese tiempo de la actividad enzimática.

Cuadro 5. Promedios de temperatura en los tratamientos.

PARCELA	TRATA- MIENTO	F E C H A															
		28-10-92	30-10-92	01-11-92	03-11-92	05-11-92	07-11-92	09-11-92	11-11-92	13-11-92	15-11-92	17-11-92	19-11-92	21-11-92	23-11-92	25-11-92	27-11-92
1	T ₁ R ₁	41.3	44.7	45.3	46.0	46.3	45.7	45.0	43.3	41.7	40.3	41.3	41.0	39.7	39.7	39.3	39.0
2	T ₀ R ₁	43.0	45.3	46.3	47.0	45.3	44.7	44.3	42.3	41.7	40.3	41.7	41.0	39.7	39.3	42.6	40.0
3	T ₃ R ₁	40.3	41.7	43.7	45.0	45.7	45.3	45.0	44.0	43.3	42.0	41.3	40.0	39.3	38.3	37.7	36.0
4	T ₁ R ₂	40	43.3	45.7	46.3	46.7	46.0	46.3	45.7	44.7	43.7	43.0	42.3	41.7	41.3	40.7	39.7
5	T ₂ R ₂	39	41.3	42.7	43.0	43.3	42.7	41.7	40.3	40.0	39.7	38.7	37.7	36.0	35.3	34.3	35.0
6	T ₃ R ₂	40.7	42.7	44.0	44.7	45.0	44.3	43.7	43.0	42.3	41.0	40.7	40.0	39.3	38.7	37.0	36.3
7	T ₂ R ₁	40.3	41.7	43.0	44.7	45.3	45.7	45.3	45.0	44.7	43.7	42.0	40.7	38.3	37.3	37.0	36.3
8	T ₀ R ₂	40.0	47.3	46.7	47.7	47.7	47.3	46.3	47.3	47.7	48.0	48.3	47.7	47.3	48.7	47.7	46.3
9	T ₁ R ₃	40.0	42.7	43.0	44.3	45.0	44.7	44.7	44.0	44.3	43.7	43.0	43.0	42.3	41.7	40.7	40.0
10	T ₀ R ₃	47.7	48.3	48.7	47.7	48.3	47.7	48.0	48.0	48.3	47.7	47.3	47.7	48.3	47.7	47.3	47.3
11	T ₂ R ₃	39.7	41.3	44.0	44.3	45.3	46.0	45.3	41.7	42.7	42.3	41.3	41.3	41.0	40.7	39.3	38.0
12	T ₃ R ₃	43	45.3	46.3	46.0	45.3	44.0	43.7	41.7	40.0	40.7	40.3	39.7	39.0	38.3	38.7	37.3
13	T ₂ R ₄	42.7	43.7	45.3	46.0	44.7	44.3	43.7	43.0	41.7	40.7	40.0	39.7	40.7	40.7	39.3	39.0
14	T ₀ R ₄	46.7	45.3	47.0	46.7	45.3	46.7	46.0	45.3	45.7	44.0	44.7	44.3	44.0	43.7	44.3	44.7
15	T ₁ R ₄	39	43.7	44.7	45.0	45.0	45.3	44.7	44.3	44.7	44.0	44.3	43.7	44.0	42.7	42.3	41.7
16	T ₃ R ₄	45	46.3	46.7	46.3	46.0	46.3	45.0	43.3	42.0	41.7	40.0	41.3	40.7	39.7	39.0	37.7

PARCELA	TRATA- MIENTO	F E C H A															
		29-11-92	01-12-92	03-12-92	05-12-92	07-12-92	09-12-92	11-12-92	13-12-92	15-12-92	17-12-92	19-12-92	21-12-92	23-12-92	25-12-92	27-12-92	
1	T ₁ R ₁	39.3	39.0	38.7	39.0	39.3	38.7	38.3	38.0	37.3	36.3	35.3	35.3	35.7	34.3	34.0	
2	T ₀ R ₁	41.7	41.7	42.3	40.3	41.0	39.7	39.3	39.7	40.3	41.3	40.0	39.3	41.0	39.7	39.0	
3	T ₃ R ₁	32.3	31.7	31.3	30.0	30.7	30.3	29.3	29.0	29.3	28.7	27.3	27.0	26.3	27.0	27.0	
4	T ₁ R ₂	40.0	39.7	38.7	38.0	37.7	37.3	37.0	37.3	36.3	36.0	36.7	36.3	36.0	35.7	35.7	
5	T ₂ R ₂	34.7	33.0	32.7	32.7	32.3	33.0	32.0	31.7	31.3	30.0	29.7	29.3	28.0	27.3	27.0	
6	T ₃ R ₂	35.7	34.0	34.3	33.7	33.0	33.3	32.7	32.3	31.3	30.3	29.3	29.7	29.0	27.3	26.3	
7	T ₂ R ₁	35.0	35.3	34.3	32.7	31.0	31.7	31.0	30.3	29.7	29.7	29.3	28.7	28.3	28.0	27.3	
8	T ₀ R ₂	46.3	45.7	44.7	45.0	44.3	44.0	44.3	43.7	44.3	43.7	43.3	42.7	42.0	42.3	41.3	
9	T ₁ R ₃	40.3	39.7	39.0	38.3	37.7	37.0	36.3	35.0	35.3	34.7	34.0	34.0	33.7	33.0	32.3	
10	T ₀ R ₃	47.7	47.3	47.0	46.7	46.7	46.0	45.3	45.0	45.7	44.7	44.3	44.0	44.3	43.3	42.7	
11	T ₂ R ₃	37.3	36.0	34.7	33.0	32.3	31.7	30.0	30.3	29.7	29.0	28.3	27.7	27.0	26.3	26.0	
12	T ₃ R ₃	36.0	37.0	36.3	35.7	35.3	34.3	32.7	31.3	29.7	29.0	28.3	27.3	26.7	25.0	25.3	
13	T ₂ R ₄	37.3	37.0	36.3	35.0	34.7	35.0	34.3	31.0	30.3	29.3	28.7	28.0	27.3	27.0	27.3	
14	T ₀ R ₄	44.7	44.0	43.3	43.0	42.3	42.0	41.3	41.0	41.3	40.7	40.0	40.3	40.7	41.0	41.7	
15	T ₁ R ₄	40.3	40.0	39.7	39.7	38.0	37.3	36.7	36.3	37.0	36.7	36.0	35.3	35.0	34.3	34.0	
16	T ₃ R ₄	37.0	37.7	37.0	36.3	35.7	34.7	35.0	33.7	33.3	31.7	31.0	28.3	27.7	26.3	25.7	

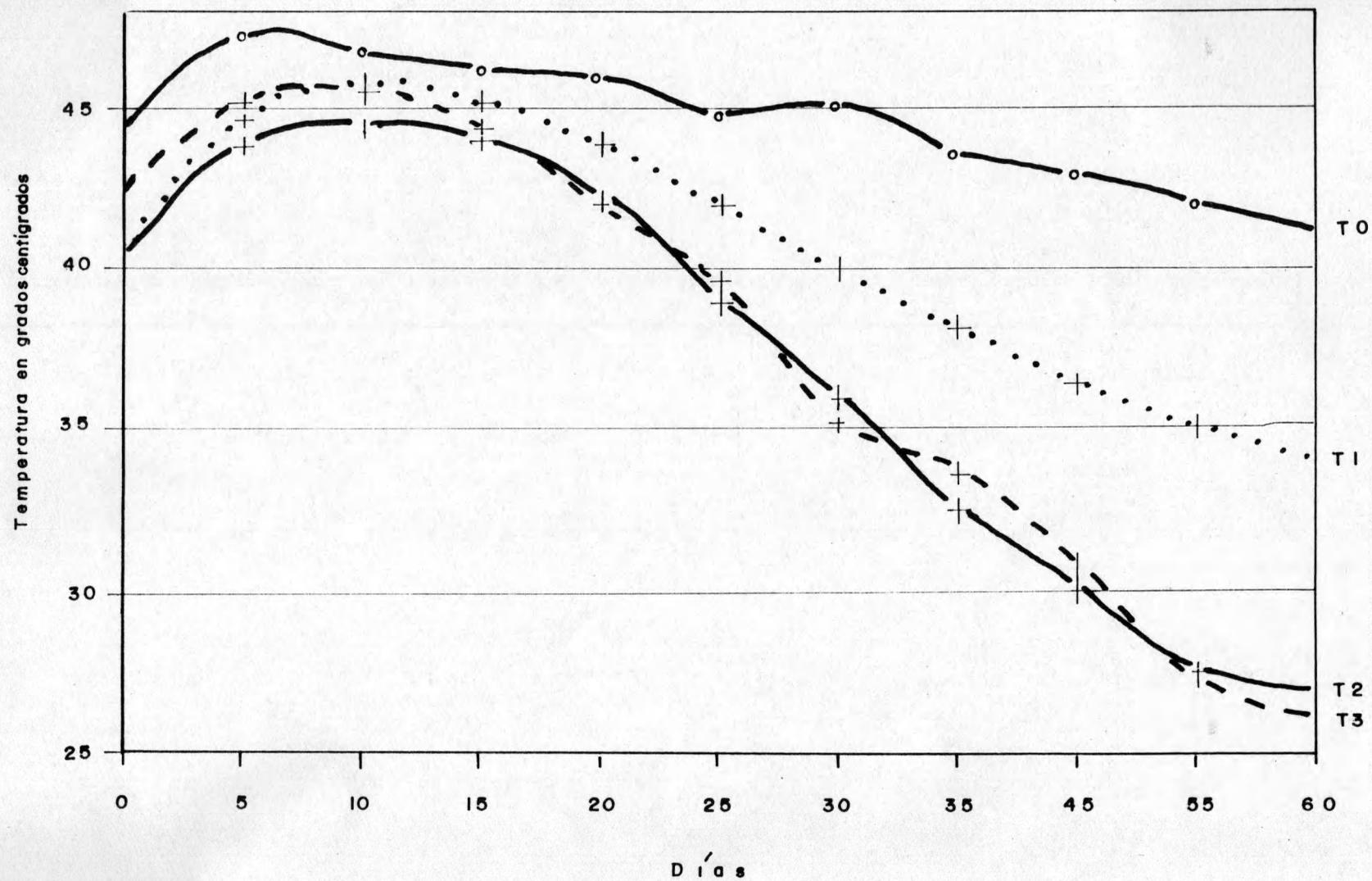


Fig. 1 - Variación de la temperatura en el estiércol con las diferentes concentraciones del digestor enzimático y testigo.



4.2 Volumen

En el cuadro 6, se presentan los resultados de las alturas obtenidas durante la fase experimental.

Después de analizar la Fig. 2, se determinó que durante el ensayo hubo diferencias bien marcadas en los tratamientos en cuanto a la reducción de volumen como se demuestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Disminución en porcentaje de las alturas en los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	ALTURA INICIAL (cms)	ALTURA FINAL (cms)	DISMINUCION %
T ₀	38.83	26.82	30.9
T ₁	39.15	23.25	40.6
T ₂	39.08	18.80	51.9
T ₃	39.40	17.72	55.0

Se puede observar que el tratamiento dos y el tres tuvieron una mayor reducción de volumen, ésto fue debido a una mayor cantidad de producto, lo cual induce a una mayor concentración de las enzimas responsables de la mineralización del estiércol.

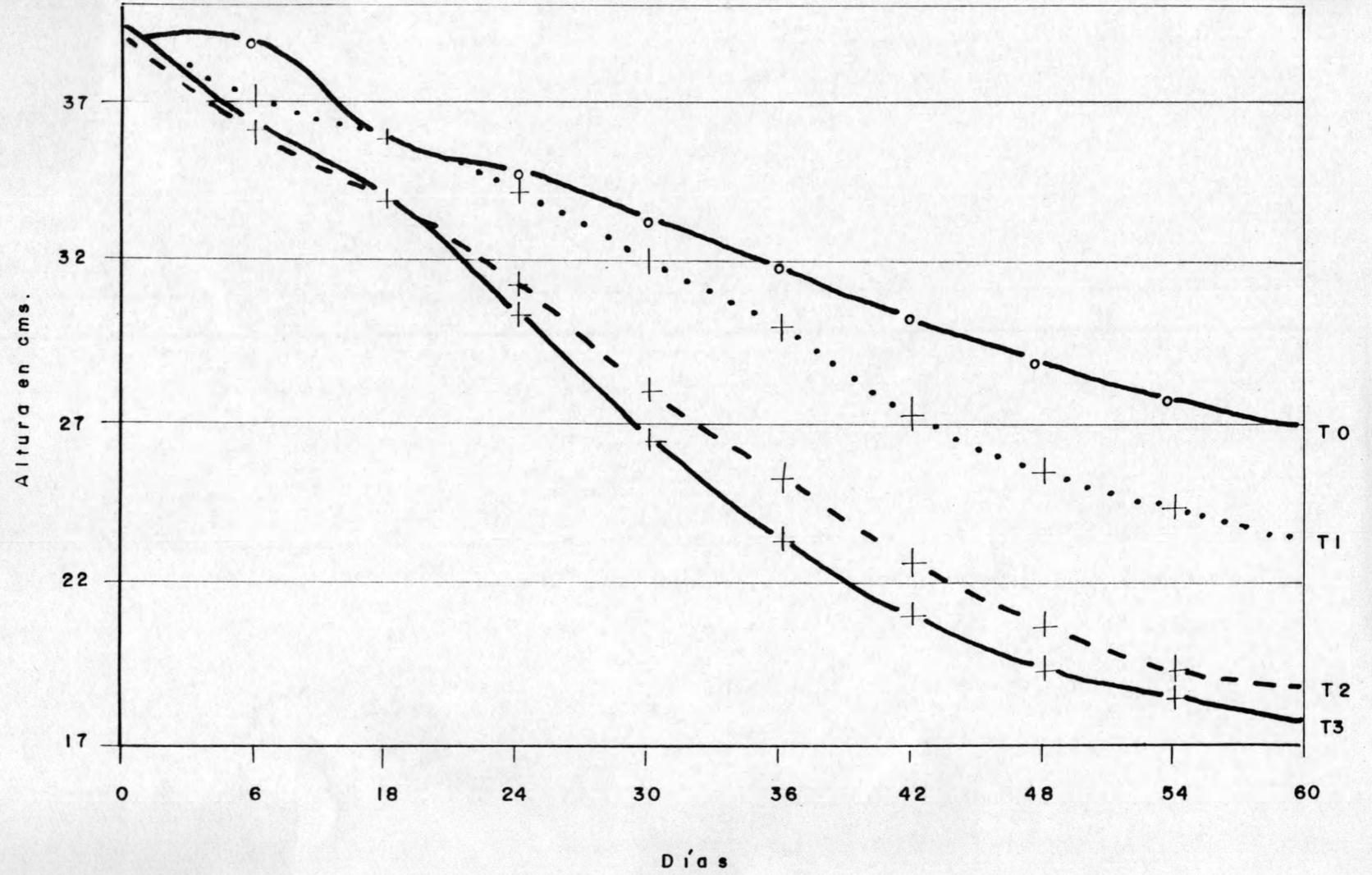


Fig. 2 - Variación de las alturas de los diferentes tratamientos aplicados con digester enzimático y testigo.

4.3 Análisis químico

El cuadro siguiente muestra los resultados obtenidos del análisis químico del estiércol al inicio y al final de la fase experimental.

Cuadro 7. Análisis químico promedio de los diferentes tratamientos.

	ELEMENTO								
	N(%)	P(%)	K.(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe(ppm)	pH	C/N	Mo(%)
Análisis Inicial	2.61	0.478	0.44	1.35	0.364	1662.2	6.1	17.47	78.61
<u>TRATAMIENTOS</u>									
T ₀ (0,0 cc/Ton)	2.02	0.58075	1.5175	1.1725	1.37425	6145.475	8.2	13.78	48.10
T ₁ (50 cc/Ton)	1.65	0.53775	1.425	1.055	1.35775	5943.775	8.4	14.29	40.54
T ₂ (100 cc/Ton)	1.405	0.49175	0.845	1.1025	0.33875	6976.475	7.8	11.94	28.96
T ₃ (150 cc/Ton)	1.67	0.53625	0.04	1.165	0.3445	5987.45	8.3	10.91	31.27

Tomando en consideración los parámetros pH, relación C/N, temperatura y altura (Cuadro A-1); los cuales inciden en forma directa con los resultados obtenidos en el Cuadro A-2 en donde se determinó que durante la fase experimental hubo diferencias entre los tratamientos; así tenemos que el tratamiento tres resultó ser 6,3723 veces más óptimo que el tratamiento cero; 4,3777 veces más óptimo que el tratamiento uno y 1,7614 veces más óptimo que el tratamiento dos.

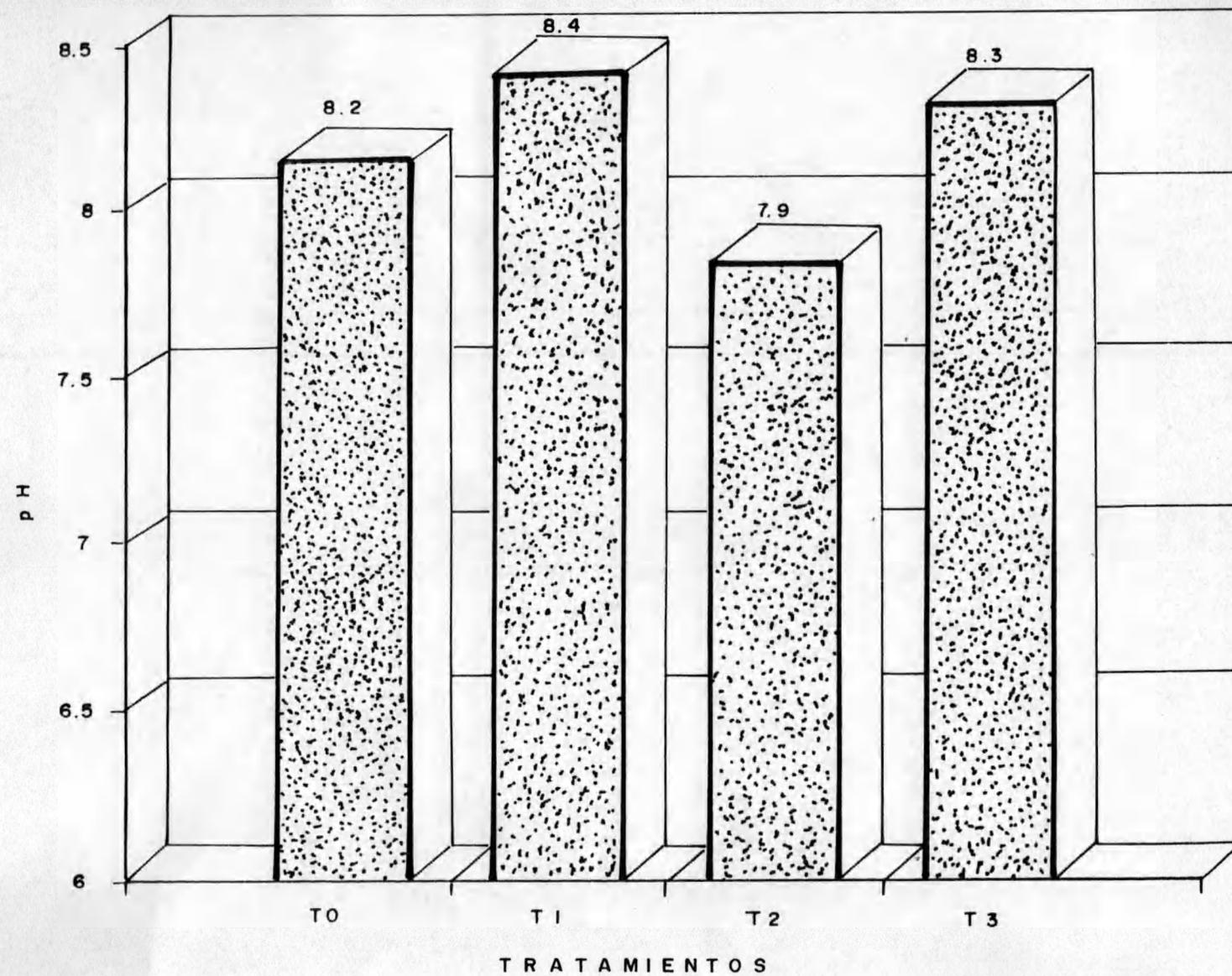


Fig. 3. Evaluación del pH en estiércol tratado con digestor enzimático.

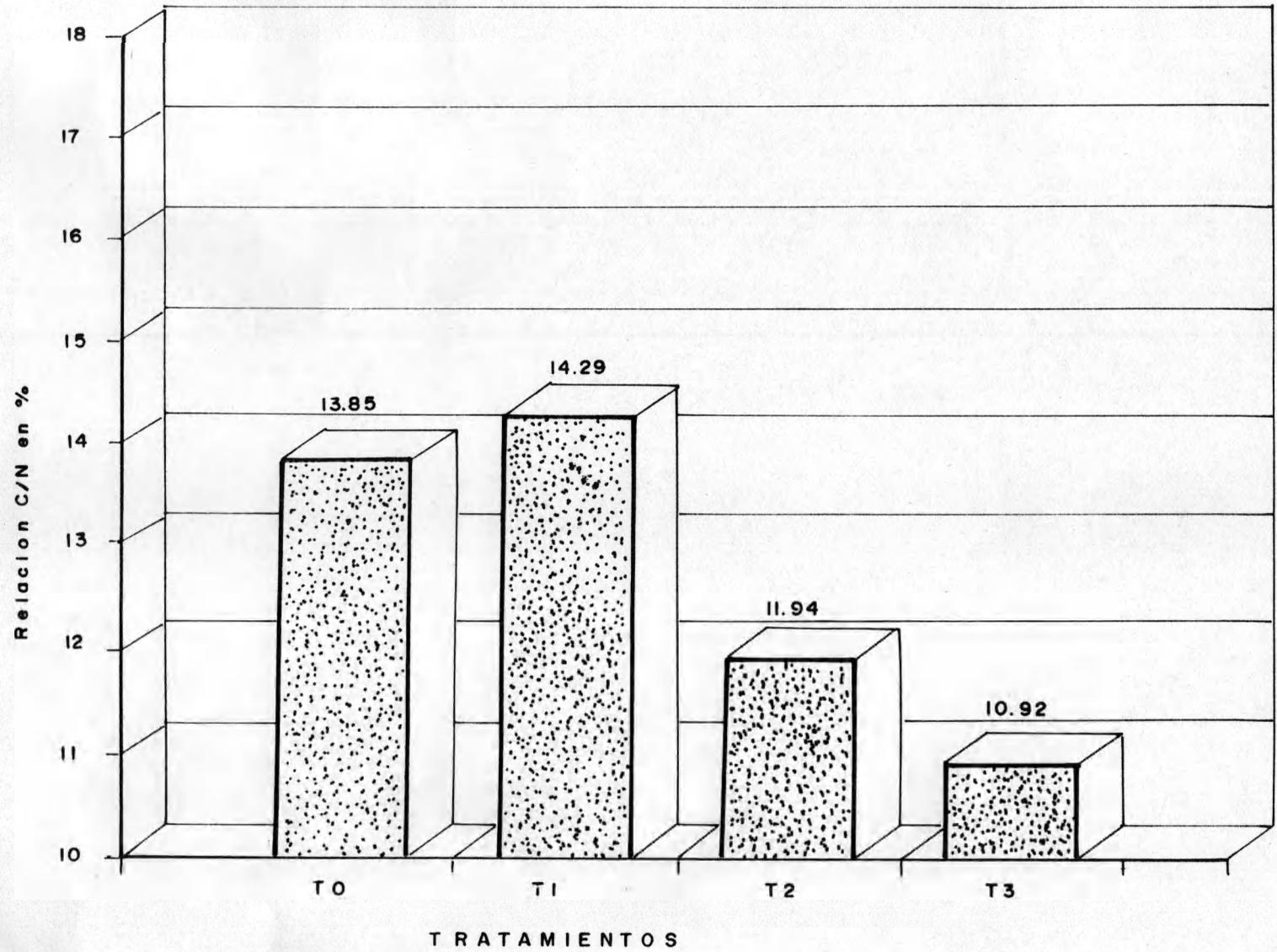
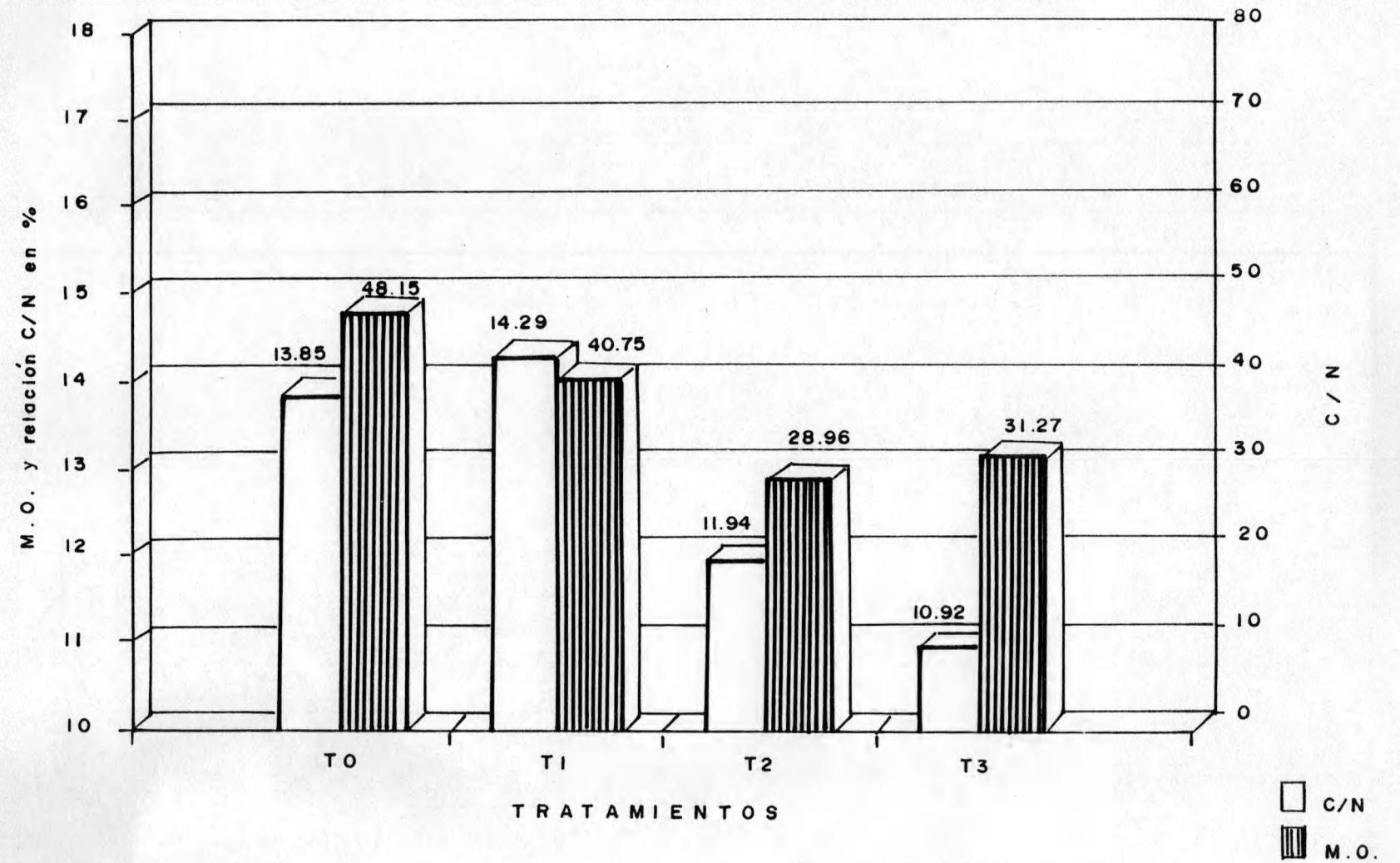


Fig. 4. Evaluación del "C/N" en estiércol tratado con digester enzimático.

de mineralización se favorece a valores de pH ligeramente alcalinos y a relaciones C/N bajas (7).

Analizando la Fig. 5 y el Cuadro A-1 se determinó que el tratamiento tres presentó una mejor conversión de nutrimentos orgánicos a la forma mineral inorgánica es decir, que a mayor descomposición de la materia orgánica, existe mayor disponibilidad de elementos nutricionales, tomando en cuenta la relación carbono/nitrógeno (C/N) que en el tratamiento tres es la más baja (10,92) en comparación con el testigo (13.78) lo cual coincide con lo reportado por Fassbender que entre más alto sea el valor de la relación carbono nitrógeno decrece la susceptibilidad del sustrato a mineralizarse (7).

En las Figs. de la A-5 a la A-11 se ilustran las concentraciones de los diferentes elementos y el porcentaje de materia orgánica en las muestras analizadas en los que se observa que el tratamiento cero presenta las concentraciones más altas en comparación con los tratamientos uno, dos y tres; ésto se debe a que el tratamiento cero no ha sufrido pérdidas considerables de elementos que ocurren cuando el proceso de mineralización se ha llevado a cabo, lo que indica que no ha existido un consumo considerable de materia orgánica como ha ocurrido en los tratamientos dos y tres en donde los microorganismos a base de sus jugos digestivos y enzimas llevan la destrucción de los compuestos orgánicos y a la liberación de minerales, aumentando de esta manera



37

Fig.5 . Analisis "C/N" y % M.O.en estiércol tratado con digestor enzimático.

la disponibilidad de pérdidas por volatilización o por lixiviación a causa de las lluvias; en base a lo anterior se concluye que a mayor cantidad de enzimas empleadas, la descomposición del estiércol se logra en un menor tiempo pero también se aumenta la disponibilidad de elementos a pérdidas.

4.4 Color y olor

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de las pruebas de color realizadas a los diferentes tratamientos.

Cuadro 8. Pruebas de color según tabla de colores Munsell.

TRATAMIENTO	COLOR	
<u>Testigo Inicial</u>		
T ₀ R ₁	Hue 2,5 y 5/4	Amarillento pardo
T ₀ R ₂	Hue 2,5 y 4/2	Amarrillo pardo
T ₀ R ₃	Hue 2,5 y 4/3	Café olivo
T ₀ R ₄	Hue 2,5 y 4/4	Café olivo
T ₁ R ₁	Hue 5 y 3/2	Negro olivo
T ₁ R ₂	Hue 5 y 3/2	Negro olivo
T ₁ R ₃	Hue 2,5 y	Café oscuro
T ₁ R ₄	Hue 2,5 y 3/3	Olivo castaño oscuro
T ₂ R ₁	Hue 5 y 3/2	Negro olivo
T ₂ R ₂	Hue 5 y 2/1	Negro
T ₂ R ₃	Hue 5 y 2/1	Negro
T ₂ R ₄	Hue 5 y 2/2	Negro olivo
T ₃ R ₁	Hue 5 y 2/1	Negro
T ₃ R ₂	Hue 5 y 2/2	Negro olivo
T ₃ R ₃	Hue 5 y 2/1	Negro
T ₃ R ₄	Hue 2,5 y 2/1	Negro

FUENTE: OYAMA, M.; TAKEHARA, H. (23).

Se observa en el cuadro anterior que los tratamientos dos y tres presentan las características de color que según Fassbender es el color característico (oscuro) que presenta la segunda fase en la evolución de la materia orgánica llamada humificación (7).

En cuanto al olor al inicio de la investigación todos los tratamientos presentaban un olor característico a estiércol fresco de bovino, a los treinta días se notó un cambio en los tratamientos dos y tres, el mal olor había desaparecido por completo no siendo así con el tratamiento cero que presentaba un olor fétido característico de un material polutante en estado de descomposición; mientras que el tratamiento uno presentaba mal olor en un menor grado en comparación con el tratamiento cero, estas características de olor se mantuvieron hasta el final del experimento.

4.5 Estudio económico

En el siguiente cuadro se presentan los costos del tratamiento óptimo (T_3) y algunos fertilizantes químicos.

Según el Cuadro 9, se observa que el estiércol de bovino tratado con 150 cc/Ton de digestor enzimático de rastros presenta un menor costo en los elementos nitrógeno y potasio en comparación con los fertilizantes químicos, no ocurriendo así con el elemento fósforo que su costo es mayor debido a la concentración que éste presenta en el estiércol, lo cual coincide con lo reportado por Worthen que la concentra-

ción de fósforo es menor que el nitrógeno y el potasio (33).

Cuadro 9. Costo económico por elemento de algunos fertilizantes químicos y el tratamiento con 150 cc/Ton.

FERTILIZANTE QUIMICO	N (Costo/Lb)	P (Costo/Lb)	K (Costo/Lb)
- Sulfato de amonio	Ø 2,66	-	-
- Urea	Ø 2,42	-	-
- Fórmula 16-20-0	Ø 2,75	Ø 2,75	-
- Fórmula 15-15-15	Ø 2,44	Ø 2,44	Ø 2,44
	$\bar{x} = 2,57$	$\bar{x} = 2,6$	$\bar{x} = 2,44$
<hr/>			
ABONO ORGANICO (Estiércol de ganado bovino, dosis 150 cc/ton).	Ø 1,14	Ø 3,56	Ø 1,84
<hr/>			
DIFERENCIA ECONOMICA	Ø 1,43	Ø -0,96	Ø 0,6

Por ejemplo si comparamos el costo promedio por unidad de nitrógeno de cualquier fertilizante (Ø 2,57) con el costo por unidad de nitrógeno del abono orgánico (Ø 1,14) se estaría ahorrando Ø 1,43.

Es de hacer notar que el beneficio del estiércol bovino utilizado como abono orgánico es mayor debido al aporte que éste hace de otros elementos sumado a los beneficios físicos y biológicos.

5. CONCLUSIONES

1. La aplicación del digestor enzimático de rastros acelera el proceso de descomposición del estiércol de ganado bovino, hasta un tiempo máximo de sesenta días.
2. La dosis de 150 cc/Ton del digestor enzimático de rastros fue la que presentó mejores resultados; en base a los parámetros indicadores: temperatura, volumen, concentración de nutrientes, color y olor.
3. Comparando el costo de obtención de unidades de nutrimentos; el del abono orgánico (estiércol) es menor que el de cualquier fertilizante comercial.
4. A mayor cantidad de enzimas empleadas, la descomposición del estiércol se logra en un menor tiempo; pero también se aumenta la posibilidad de pérdidas de los elementos nutrientes.

6. RECOMENDACIONES

1. Tomando en cuenta el grado de descomposición logrado por el digestor enzimático de rastros sobre el estiércol de ganado bovino a los sesenta días, se recomienda la dosis de 150 cc/Ton.
2. El estiércol de ganado bovino tratado con digestor enzimático de rastros debe ser aprovechado como abono orgánico para evitar la contaminación ambiental en la zona; además que éste favorece más al suelo que los fertilizantes químicos.
3. Evaluar la función del digestor enzimático de rastros en otros sustratos de origen animal como es el caso de la gallinaza, estiércol de porcinos, etc. que con su descomposición natural contaminan el ambiente; evaluando también la efectividad de la aplicación del abono orgánico obtenido en cultivos.
4. En futuras investigaciones similares, realizar los análisis químicos cada veinte días para observar mejor el comportamiento de los componentes del sustrato y de esta manera determinar si estos componentes se estandarizan antes de los sesenta días.

5. El tratamiento dos y el tratamiento tres tuvieron similar comportamiento pero si se desea principalmente reducir costos del proceso de descomposición del estiércol se recomienda el tratamiento dos ($T_2 = 100$ cc/Ton); pero si se desea principalmente reducir tiempo de descomposición del estiércol, entonces se recomienda el tratamiento tres ($T_3 = 150$ cc/Ton) para el mejor aprovechamiento del digester enzimático de rastrojos.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ASOCIACION DE AMIGOS DEL PAIS DE GUATEMALA. 1988. Cómo hacer abono orgánico; abonera en fosa o subterránea. E.E.U.U., RIAC II. P. 1-9.
2. BOWEN, J.E.; KRATKY, P.A. 1986. El estiércol y el suelo. Revista Agricultura de las Américas (E.E.U.U.). 35(9): 11-15.
3. BURGES, A. 1971. Biología del suelo. Trad. por José Luis Mengua Fernández y Xavier, Llimona Pagés. Barcelona, España, OMEGA. P. 16-23.
4. COOKE, G.W. 1964. Fertilizantes y sus usos. Trad. por Alonso Blackaller Valdez. México, D.F., CECSA. P. 46-73.
5. DEPARTAMENTO DE OPERACIONES, BANCO DE FOMENTO AGROPECUARIO. 1977. Materia Orgánica del Suelo. Revista Suelos, Fertilizantes y Minerales (El Salv.), B.F.A. Publicación Nº 14. P. 7-10.
6. EL SALVADOR. Servicio de meteorología e hidrología. 1992. Almanaque Salvadoreño. San Andrés, El Salvador, MAG. P. 52,83-92.
7. FASSBENDER, H.W. 1986. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. 5ª edic. San José Co

- ta Rica. IICA. P. 66-104.
8. FLORES MENENDEZ, J.A. 1975. Bromatología Animal. México, D.F., LIMUSA. P. 95-97.
 9. FOTH, H.D. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. por Antonio Marino Ambrosio. 3ª edic. México, D.F., CONTINENTAL. P. 133-162.
 10. GROETE, H.A. 1982. Suelos y Fertilización. Trad. por F. Orozco Luna. 2ª edic. México, D.F. TRILLAS. P. 23-30.
 11. GROS, A. 1967. Abonos. Guía Práctica de la fertilización. Trad. por Ramón Olalquiaga Soriano y Juan I. de la Vega Duque. 4ª edic. Madrid, España. Mundi Prensa. P. 78-111.
 12. HERNANDEZ ACOSTA, J.A. 1987. Aplicación de digestores enzimáticos en basura de mercados. Alcaldía Municipal de San Salvador, El Salvador. P. 3-4.
 13. JACOB, A.; UEXKULL, H.V. 1964. Fertilización, Nutrición y Abonado de los Cultivos Tropicales y Subtropicales. Trad. L. López Martínez de Alva. 2ª edic. Verlagsqellschaf Für Ackerbau Mbh. Hannover. P. 65-82.
 14. JONES, M. 1977. Sumario Técnico de los Productos Cytozyme Laboratories. 31 p.

15. LARDE, G.; Alfaro, J.E. 1986. Tratamiento de la Pulpa de Café con Digestor Enzimático de Rastrojos. La Libertad, El Salvador, ISIC. P. 1-3.
16. LEES, P. 1985. Aproveche el estiércol. Revista Agricultura de las Américas (E.E.U.U.). 34(11):28-32.
17. LEIVA PEREZ, J.R. 1987. Evaluación del degradador enzimático de rastrojos en la descomposición de la pulpa de café. Escuintla, Guatemala, PAC. P. 9-18.
18. MARTINEZ, A.C. 1952. Elementos de Tecnología de Suelos. S.N.T. P. 345-692.
19. MENA, L.A.; NUÑEZ, E. 1991. Principios de Microbiología Edáfica, Aprovechamiento de desechos vegetales y ventajas del Digestor Enzimático. San Salvador, El Salvador, BIO-AGRO Latinoamérica. P. 7-12.
20. MORALES, C.R. 1988. Transformación Biológica de Cachaza de caña de azúcar. Revista Zafra (El Salv.). 5(8):32-34.
21. OLMEDO ESCOBAR, O.A.; MORAN ZAMORA, P.F. 1987. Determinación del efecto de la aplicación de un digestor enzimático de rastrojos para la degradación de pulpa de Café. Tesis Lic. en Tecnología Agro-Industrial, San Salvador,

El Salvador. Universidad Dr. José Matías Delgado, Escuela de Investigación Agrícola, Julia Hill de O'Sullivan. P. 11-15.

22. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. 1976. La Utilización de Materia Orgánica como Fertilizante. Roma, Italia, FAO. P. 10-12.
23. OYAMA, M.; TAKEHARA, H. 1967. Standard soil color charts. s.n.t. P. irr.
24. PANIAGUA, A. 1986. Prueba Preliminar del Producto Digestor Enzimático de Rastrojos Aplicado en Cachaza de Caña de Azúcar. C.R., DIECA. P. 108-113.
25. PHOSPHATE INSTITUTE. 1988. Manual de fertilidad de los suelos. Atlanta, Georgia, USA. P. 9-14.
26. RIVERA, M.E.; PERLA, G.M.; ORELLANA, G.A. 1991. Tratamiento de la Pulpa de Café con un Digestor Enzimático para su Conversión en Abono Orgánico. Revista Abecafé (El Salv.). Nov. 22-26.
27. SANCHEZ, P.A. 1981. Suelos del Trópico; Características y Manejo. Trad. por Edilberto Camacho. San José, Costa Rica, IICA. P. 167-183.

28. SELKE, W. 1968. Los abonos. Trad. por Ortwin Gunther
León. León, España, ACADEMIA. P. 124-126.
29. STAUDER, N. 1991. Materia Orgánica. Agri-lab Boletín
Informativo (El Salv.). 1(3):2.
30. TEUSCHER, H.; ADLER, R. 1965. El Suelo y su Fertilidad.
Trad. por Rodolfo Vera y Zapata. México, D.F., CECSA.
P. 303-320.
31. THOMPSON, L.M. 1966. El Suelo y su Fertilidad. Trad. por
Ricardo Clará Comprubi. 3a. edic. Barcelona, España,
OMEGA. P. 284-295.
32. TRAVES SOLER, G. 1962. Abonos. Barcelona, España, SINTES.
P. 114-181.
33. WORTHEN, E.L. 1967. Suelos Agrícolas; su conservación y
fertilización. Trad. por José Luis de La Loma. 2a.
edic. México, D.F. UTEHA. P. 206-219.

8. A N E X O S

Cuadro A-1. Parámetros a evaluar en el Programa "Storm".

STORM DATA SET LISTING
DETAILED PROBLEM DATA LISTING FOR
DIGESTOR ENZIMATICO A DIFERENTES DOSIS (ESTIERCOL BOVINOS)

<u>ROW LABEL</u>	<u>pH</u>	<u>C/N</u>	<u>TEMPERAT</u>	<u>ALTURA CONST</u>	<u>TYPE</u>
OBJ COEFF	0.	0.	0.	0.	XXXX
T0	8.2	13.78	44.52	32.74	=
T1	8.4	14.29	40.47	30.89	=
T2	7.8	11.94	37.03	27.54	=
T3	8.3	10.91	37.46	26.7	=
VARBL TYPE	+	-	-		XXXX
LOWR BOUND	-Infinity	-Infinity	-Infinity	-Infinity	XXXX
UPPR BOUND	Infinity	Infinity	Infinity	Infinity	XXXX
INIT SOLN	0.	0.	0.	0.	XXXX

Cuadro A-2. Resumen final del Programa "Storm".

DIGESTOR ENZIMATICO A DIFERENTES DOSIS (ESTIERCOL BOVINOS)

OPTIMAL SOLUTION

DETAILED REPORT

	<u>CONSTRAINT</u>	<u>TYPE</u>	<u>RHS</u>	<u>SLACK</u>	<u>SHADOW PRICE</u>
1	T0	=	0.0000	6.3723	0.0000
2	T1	=	2.1500	4.3777	0.0000
3	T2	=	4.3000	1.7614	0.0000
4	T3	=	6.4500	0.0000	4.2169
OBJETIVE FUNCTION VALUE			=	27.19879	

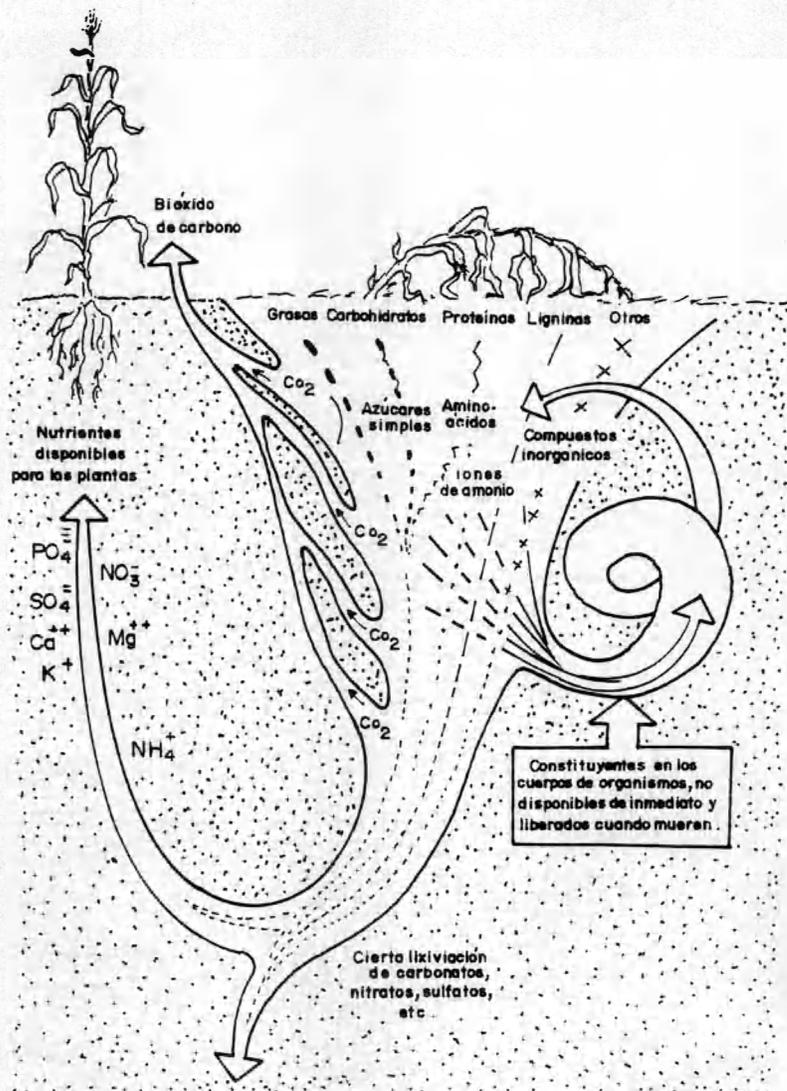


Fig. A-1 . Diagrama esquemático de la descomposición de la materia orgánica y de la circulación de nutrientes.

Fuente : FOTH , H.D. (9).

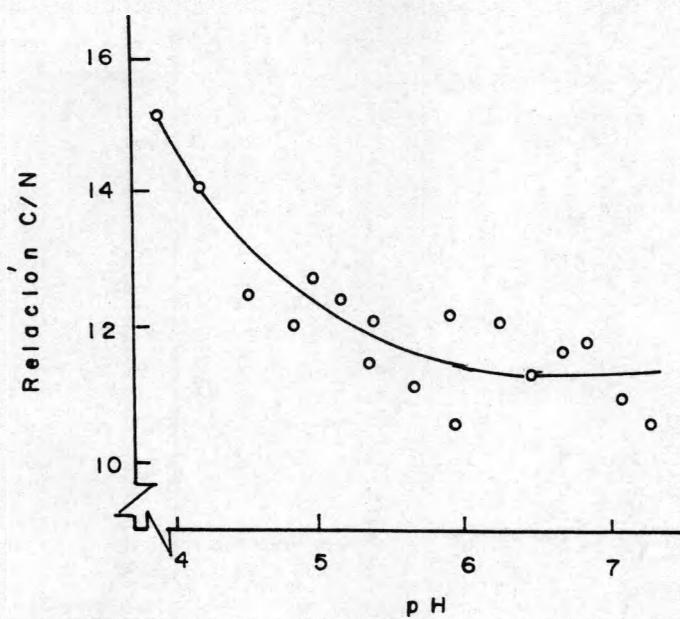


Fig. A-2. Relación entre el pH y la relación C/N.

Fuente: FASSBENDER, H. W. (7)

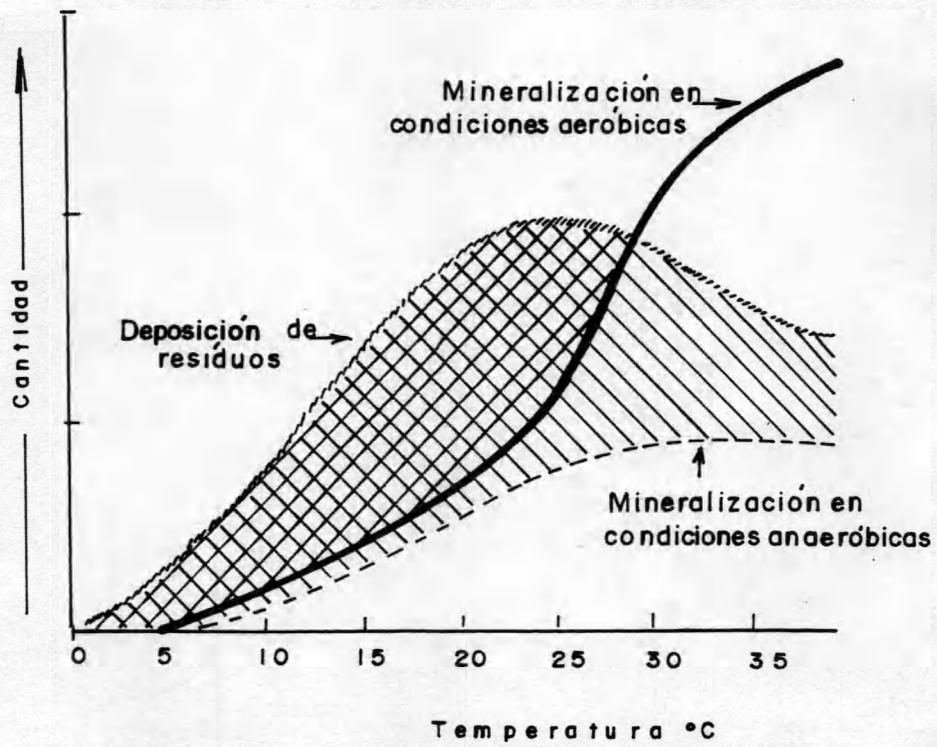


Fig. A-3 . Diagrama esquemático de la cantidad de Sustrato mineralizado en relación a la temperatura .

Fuente : FASSBENDER, H. W. (7)

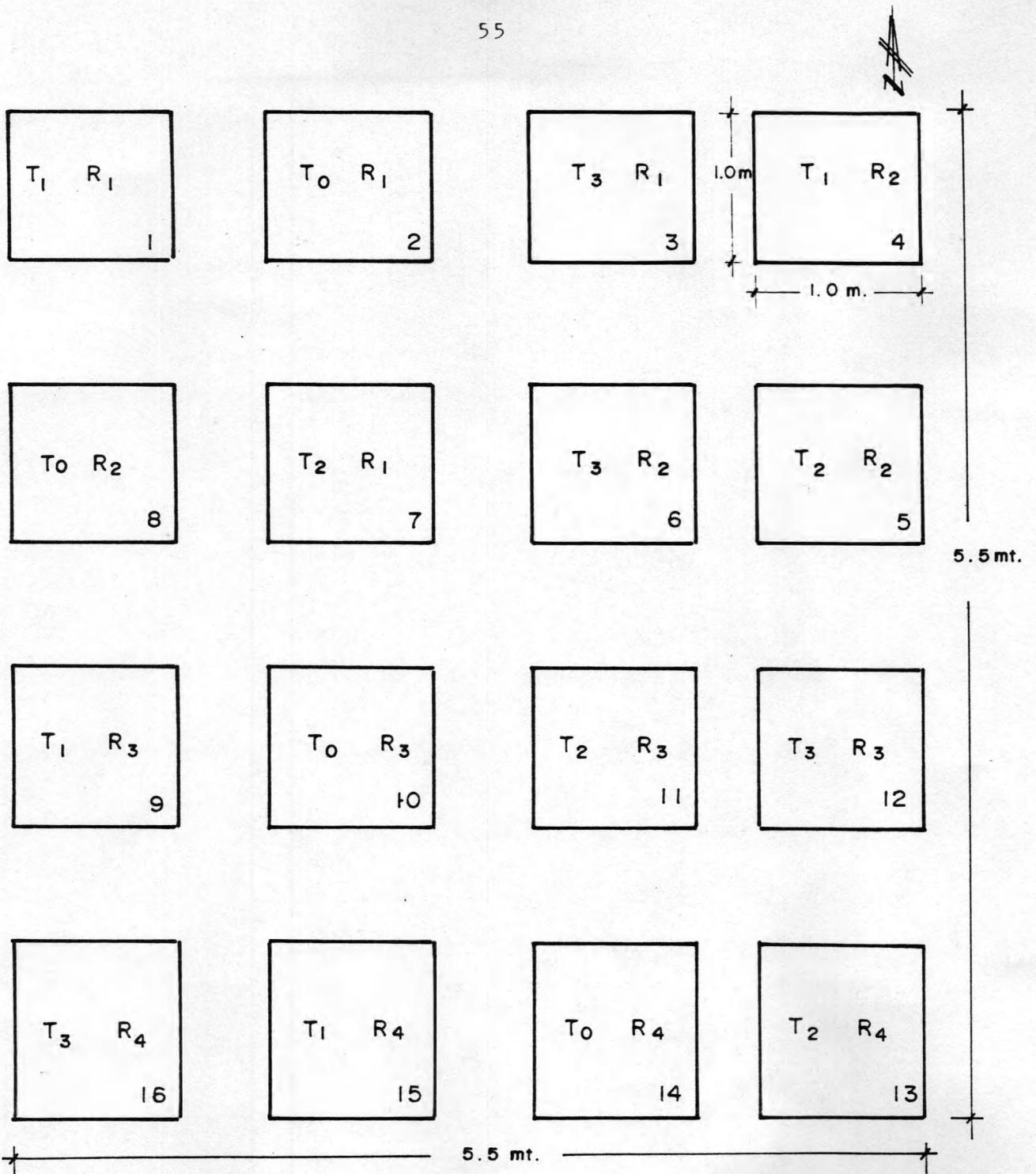


Fig. A-4. Ubicación de los cuatro tratamientos con sus cuatro repeticiones aplicando el diseño completamente al azar.

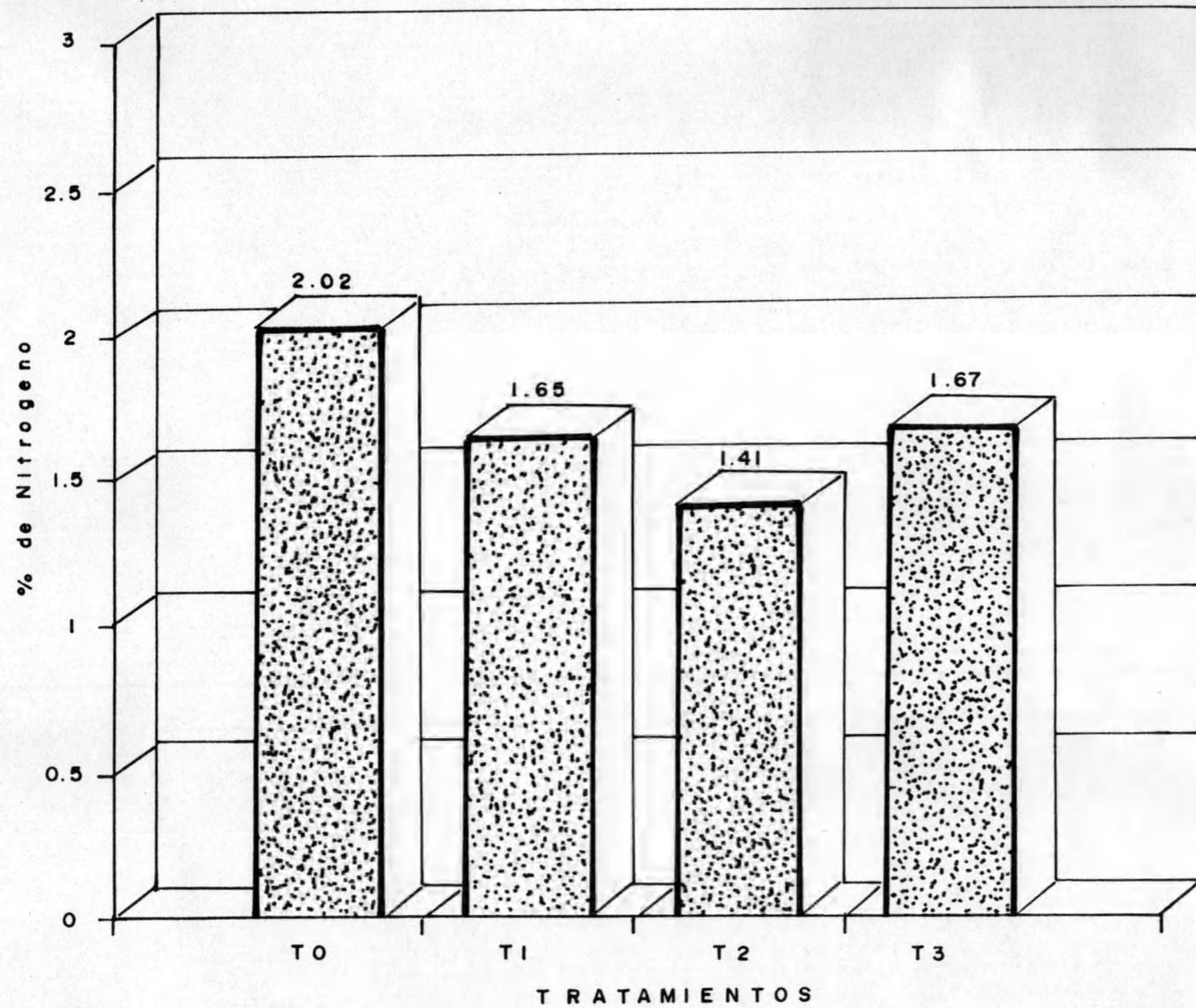


Fig. A-5. Evaluación del Nitrógeno en estiércol tratado con digester enzimático.

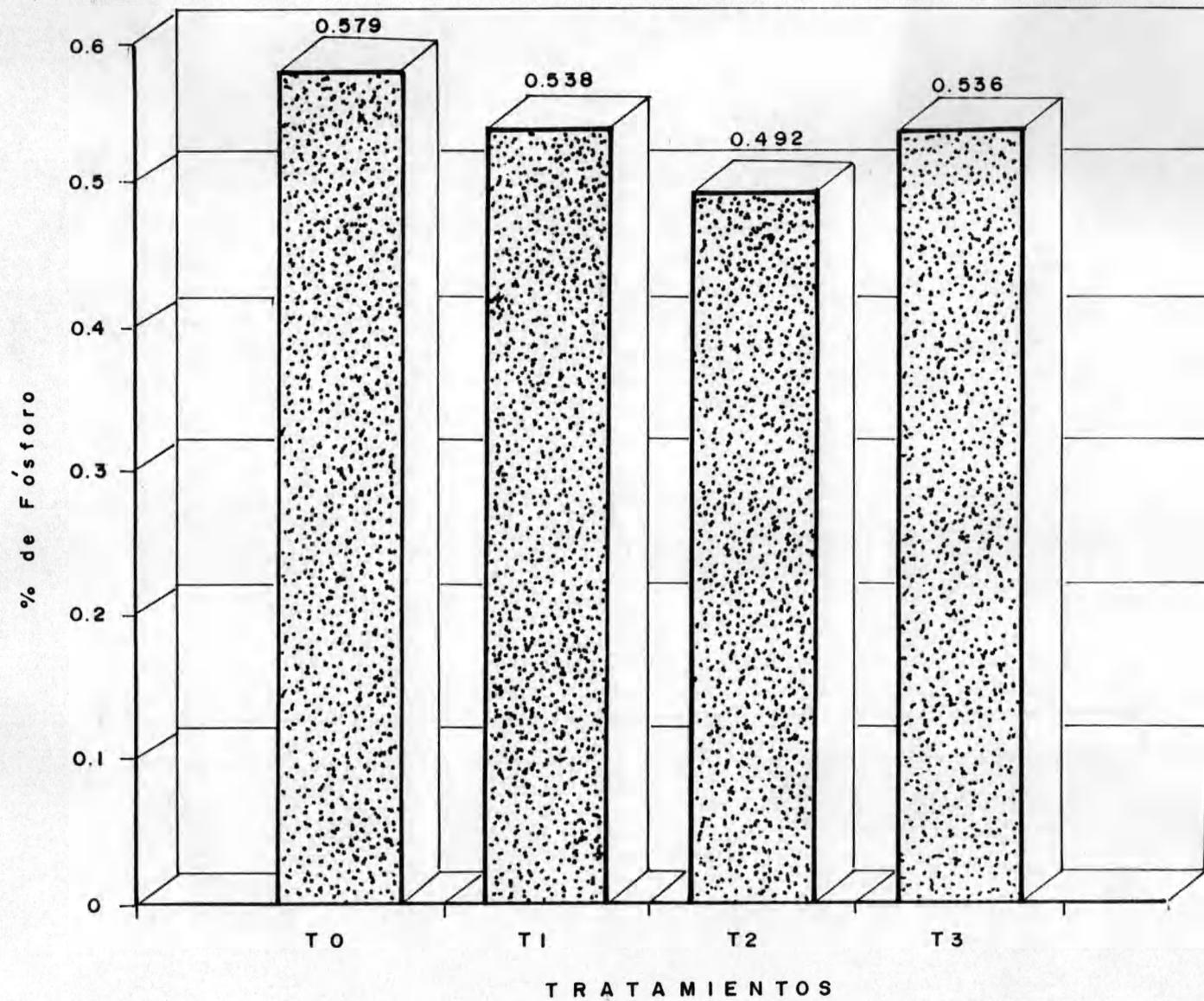


Fig. A-6. Evaluación del Fósforo en estiércol tratado con digester enzimático.

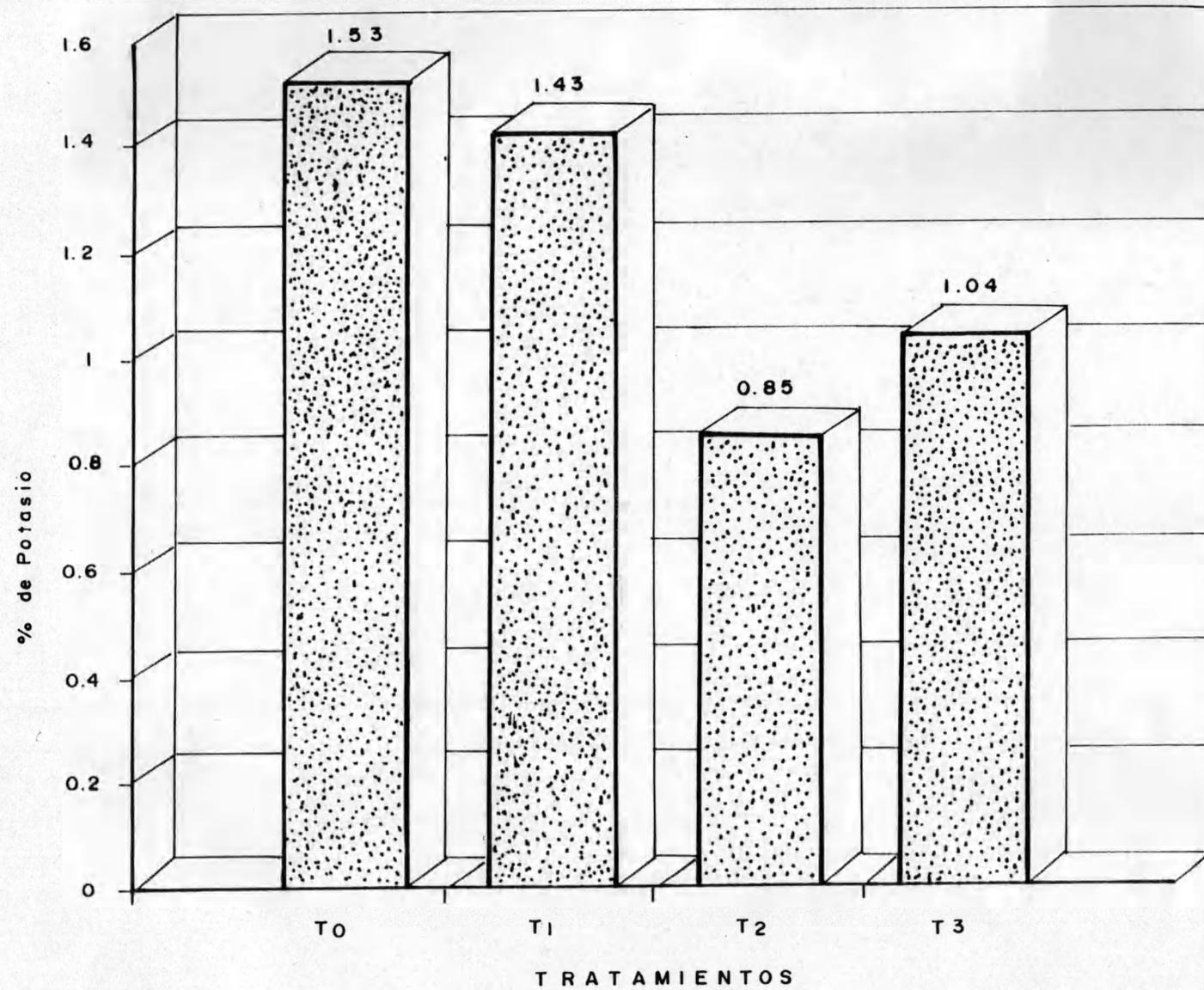


Fig. A-7. Evaluación del Potasio en estiércol tratado con digestor enzimático.

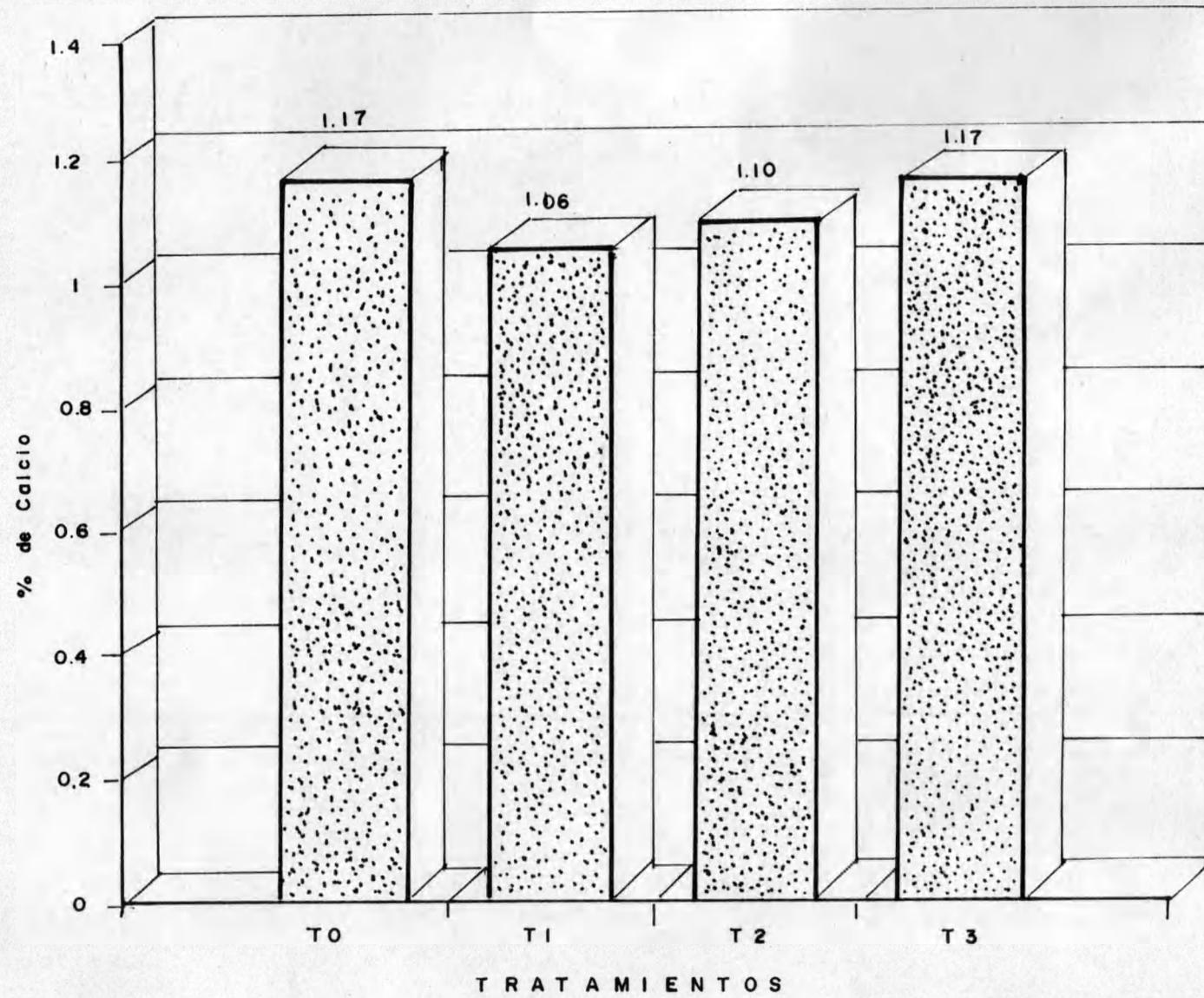


Fig. A-8. Evaluación del Calcio en estiércol tratado con digestor enzimático.

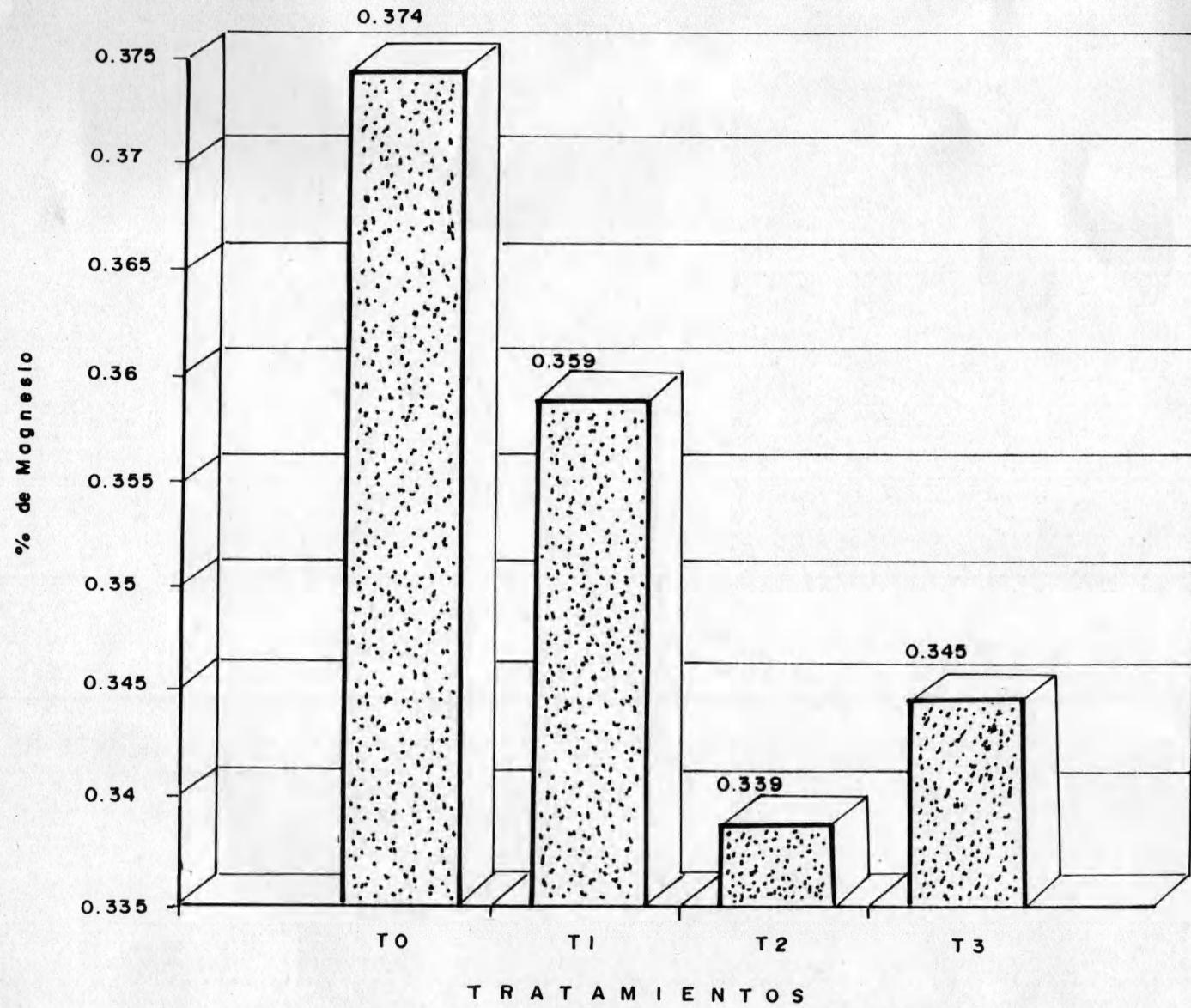


Fig. A-9 . Evaluación del Magnesio en estiércol tratado con digestor enzimático.

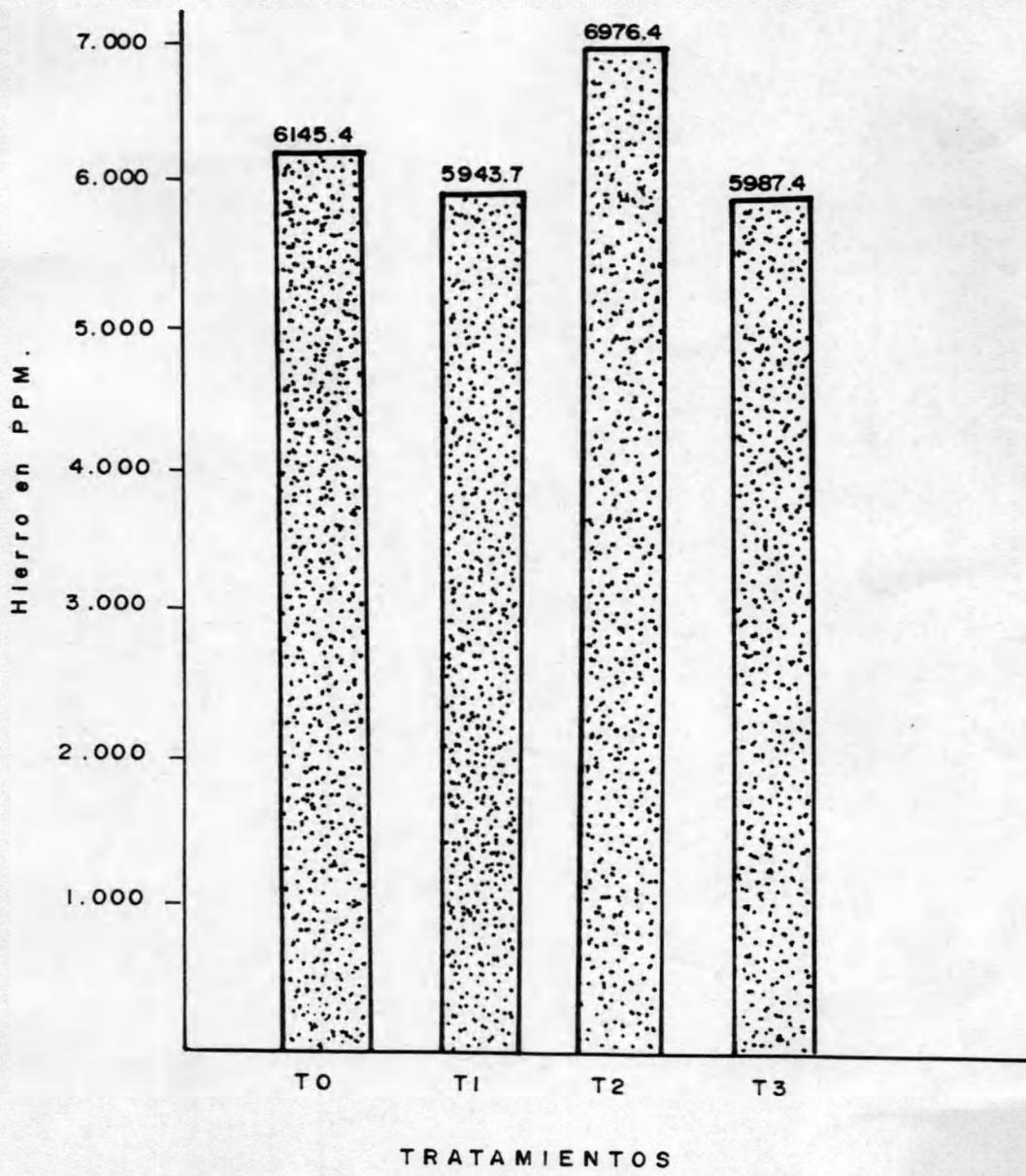


Fig. A-10 . Evaluación del Hierro en estiércol tratado con digestor enzimático.

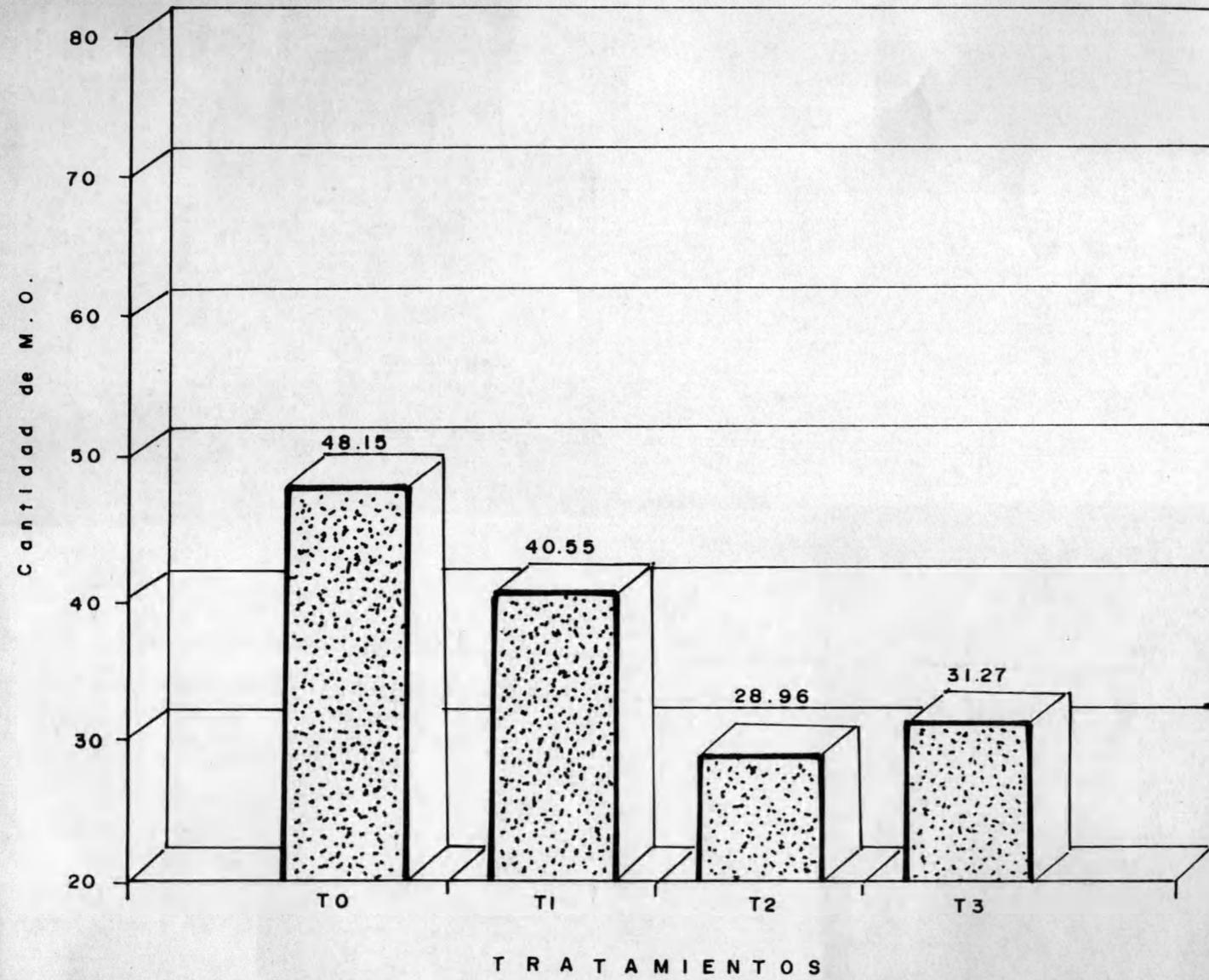


Fig. A- II. Cantidad de M.O. obtenida con estiércol de bovino, tratado con digestor enzimático.