

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EVALUACION DEL GRADO DE DETERIORO EN PLASTICOS BIODEGRADABLES  
SOMETIDOS A DISTINTOS ECOSISTEMAS DE ESTUDIO

TESIS

QUE PRESENTA LA

Q.B.P. DIANA LIBIA ROMERO GONZALEZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

CON ESPECIALIDAD EN

MICROBIOLOGIA

MONTERREY, N. L., MEXICO.

DICIEMBRE , 1997.

TM

Z5320

FCB

1997

R65



1020120834

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EVALUACION DEL GRADO DE DETERIORO EN PLASTICOS BIODEGRADABLES  
SOMETIDOS A DISTINTOS ECOSISTEMAS DE ESTUDIO

TESIS

QUE PRESENTA LA

Q.B.P. DIANA LIBIA ROMERO GONZALEZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

CON ESPECIALIDAD EN

MICROBIOLOGIA



FONDO  
TESIS

Monterrey, N.L. México.

Diciembre, 1997.

TM  
Z5320  
FCB  
1997  
R65

010-97060

0  
2100

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO


EVALUACION DEL GRADO DE DETERIORO EN PLASTICOS BIODEGRADABLES  
SOMETIDOS A DISTINTOS ECOSISTEMAS DE ESTUDIO

TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
MICROBIOLOGIA POR

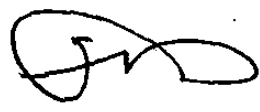
Q.B.P. DIANA LIBIA ROMERO GONZALEZ

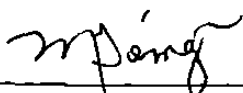
APROBADA

COMISION DE TESIS

  
\_\_\_\_\_  
DRA. KATIUSHKA AREVALO NIÑO  
DIRECTOR  
PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
DRA. LILIA HORTENSIA MORALES RAMOS  
SECRETARIO

  
\_\_\_\_\_  
DR. LUIS J. GALAN WONG  
VOCAL

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MARIVEL GOMEZ TREVIÑO  
SUPLENTE

**EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZO EN:**

**LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA INDUSTRIAL Y DEL SUELO "DR. "H. T. DULMAGE" DEL DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA E INMUNOLOGIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA U.A.N.L. BAJO LA DIRECCION DE LA DRA. KATIUSHKA AREVALO NIÑO**

**CON LA COLABORACION DE:**

**UNIDAD DE BIOPOLIMEROS DEL CENTRO NACIONAL PARA LA UTILIZACION DE LA INVESTIGACION EN AGRICULTURA, ARS/USDA/NCAUR, PEORIA, ILLINOIS, EUA.**

**LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DEL INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY.**

**PARQUE NIÑOS HEROES. SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L. MEXICO**

**RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA: SIMEPRODE**

**PLASTICOS ESPECIALIZADOS DE MONTERREY S.A. (PLEMSA)**

**LABORATORIO ESTATAL DE LA SECRETARIA DE SALUD, GUADALUPE, N.L. MEXICO**

## INDICE DE CONTENIDO

	Pagina
PÁGINA DE TÍTULO.....	i
LUGAR DE TRABAJO.....	ii
INDICE DE CONTENIDO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
PLÁSTICOS Y SU DEGRADABILIDAD.....	5
Plásticos.....	5
Degradable.....	5
Biodegradable.....	6
QUITINA.....	8
ANTECEDENTES.....	10
Experimento en composta.....	10
Experimento en agua.....	12
Experimento en suelo.....	16
Experimento en laboratorio.....	18
HIPÓTESIS.....	21
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
MATERIAL Y MÉTODO.....	22
Muestras plásticas.....	22
Experimento en composta.....	23
Experimento en agua.....	24
Experimento en suelo.....	24
Tratamientos.....	25
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	25
Análisis de la flora microbiana adherida a la muestra .....	25
Pruebas de degradación de Quitina.....	26
Pruebas Bioquímicas.....	26



<b>MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO.....</b>	<b>27</b>
<b>PRUEBAS FÍSICO-MECÁNICAS.....</b>	<b>28</b>
Determinación de Pérdida en peso.....	28
Determinación de Fuerza de tensión y Por ciento de elongación.	28
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES.....</b>	<b>28</b>
Determinación de Humedad, Temperatura y pH.....	28
<b>PRUEBAS QUÍMICAS.....</b>	<b>29</b>
Análisis por espectroscopía de Infrarrojo por Transformadas de Fourier (IRTF) .....	29
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	<b>30</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>DISCUSION.....</b>	<b>82</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>96</b>
<b>APENDICE.....</b>	<b>101</b>

## **DEDICATORIA**

**A DIOS.**

**MI PRINCIPAL MOTIVACION, GRACIAS A QUIEN HE LLEGADO HASTA AQUI  
Y POR QUIEN ESPERO CONTINUAR ADELANTE**

**A MIS PADRES**

**SR. BONIFACIO ROMERO M. Y MA. GLORIA GONZALEZ DE R. PERSONAS  
ESFORZADAS, VALIENTES Y EJEMPLARES DE QUIENES ESTOY MUY  
ORGULLOSA.**

**A MIS HERMANOS**

**SAMUEL ROMERO GZZ. Y EZEQUIEL ROMERO GZZ.  
POR SER TAN IMPORTANTES EN MI VIDA Y A QUIENES DESEO IMPULSAR A  
LOGRAR LO QUE SE PROPONGAN.**

**A MIS PRIMOS**

**ESPECIALMENTE OFELIA DE LOS SANTOS Y JOSE LUIS PALOMO  
QUIENES SIEMPRE PREGUNTAN Y ESTAN DISPUESTOS A ESCUCHAR ALGO  
RESPECTO A LA “ESCUELA”**

**A MIS FAMILIARES**

**PORQUE YO SE QUE CADA LOGRO DE ALGUN MIEMBRO ES ALEGRIA DE  
TODOS.**

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS porque sabes que sin Ti nada de lo que hasta ahora hay hubiese sido posible. Gracias por trazar sendas.

A la Dra. Katiushka Arévalo Niño por aceptar ser mi asesor de tesis y no solamente esto, sino también por contribuir en gran parte a mi desarrollo como profesionista. Gracias por confiarme parte del trabajo que tan celosamente defiende y atinadamente dirige.

A la IQ. Mónica Delgado del ITESM por su colaboración en el desarrollo del trabajo bajo el ecosistema de composta.

Al Arq. José Manuel Vázquez y el Ing. Becerra por las facilidades otorgadas para la realización del experimento en suelo.

Al personal del Parque Niños Heróes por su cooperación y las atenciones brindadas para la realización del experimento en agua.

Al M.C. Jorge Hernández del Dpto. de Microscopía Electrónica de la FCB de la UANL. por el excelente trabajo de microscopía electrónica de barrido realizado.

A la Lic. Lorena Cruz y la empresa Peñoles por su colaboración para el cubrimiento de las muestras plásticas requerido para el análisis microscópico.

Al Ing. Omar Elizondo del Dpto. de Microscopía electrónica de la División de estudios de postgrado de FIME de la UANL por su cooperación para el trabajo de microscopía electrónica de barrido.

A la Lic. Armandina Sandoval y el personal del Laboratorio de Control de Calidad de la empresa PLEMSA por permitirnos llevar a cabo los experimentos correspondientes a las pruebas físicas.

Al personal de Laboratorio Estatal de Salud Pública: QBP. Ma. Isabel Tavitas, QBP. Elizabeth Alvarado, Leticia Salas y Beatriz Ayala Garza por las facilidades otorgadas y su ayuda desinteresada en la realización de pruebas bioquímicas

A la Dra. Lilia Hortensia Morales por la revisión y los comentarios hechos para la elaboración del trabajo de tesis.

Al Dr. Luis J. Galán Wong por permitirme trabajar en el Laboratorio de Microbiología Industrial y del Suelo, así como por formar parte de mi comisión de tesis.

Al personal del Laboratorio de Microbiología Industrial y del Suelo y compañeros tesisistas especialmente: MC. Carlos Sandoval, MC. Lupita Maldonado, QBP. Lilith Villarreal, QBP. Juany Cantú, QBP. Diana Monsivais y Elodia Ruíz por su compañerismo, apoyo y amistad.

Agradezco también a mis compañeros del Lab. de Genética de Microorganismos y Bioquímica Microbiana que de alguna u otra forma intercambiaron ideas, sugerencias palabras de apoyo y consejos durante este tiempo de estudio.

A todos mis compañeros de Maestría y Doctorado con los cuales he compartido experiencias muy agradables especialmente: QFB. Genoveva Ancer y QBP Gerardo García.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

## LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Métodos
ARS	Servicio de Investigación Agrícola
°C	Grados centígrados
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DDT	1.1 di(p-clorofenil)-2,2,2-tricloroetano
%E	Por ciento de Elongación
EAA	Coplímero de etileno y ácido acrílico
ECO	Copolímero de Etileno y Monóxido de Carbono
EDTA	Acido Etilendiaminotetracetico
EUA	Estados Unidos de América
FCB	Facultad de Ciencias Biológicas
Fig.	Figura (s)
FIME	Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
FT	Fuerza de Tensión
g	gramo (s)
GPC	Cromatografía de Permeación en Gel
IR	Infrarrojo
IRTF	Infrarrojo con Transformadas de Fourier
Kbr	Bromuro de Potasio
l.	Litro
ml	mililitro
MEB	Microscopía Electrónica de Barrido
mg.	Miligramo
min.	Minuto

Mpa	Megapascal
MO	Micoscopio óptico
NaCl	Cloruro de Sodio
NCAUR	Centro Nacional para la Utilización de la Investigación en Agricultura
New	Newtons
pH	Logaritmo recíproco de la concentración de ion hidrógeno
PE	Polietileno
PEBD	Polietileno de baja densidad
PEBDL	Polietileno de baja densidad lineal
PEG	Polietilenglicol
PEO	Oxido de polietileno
PHB	Polihidroxibutirato
PHB-co-HV	Polihidroxibutirato-covalerato
PLEMSA	Plásticos Especializados de Monterrey, S.A.
PMA	Polimetilacrilato
p/p	Peso-peso
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Cloruro de polivinilo
rpm.	Revoluciones por minuto
S.A.	Sociedad Anónima
seg.	Segundo
SIMEPRODE	Sistema Metropolitano para el Procesamiento de Desechos Sólidos
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
UFC.	Unidades formadoras de colonia
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos
UV	Ultravioleta

## LISTA DE TABLAS

Tabla No.	Título	Página
1	COMPOSICION QUIMICA DE LOS DIFERENTES FORMULADOS	22
2	CUENTA MICROBIANA EN PLACA DE LOS MICROORGANISMOS ADHERIDOS A LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	40
3	CUENTA MICROBIANA EN PLACA DE LOS MICROORGANISMOS ADHERIDOS A LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	40
4	CUENTA MICROBIANA EN PLACA DE LOS MICROORGANISMOS ADHERIDOS A LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	40
5	GENEROS IDENTIFICADOS CON ACTIVIDAD QUITINASA RECUPERADOS DE PLASTICOS BIODEGRADABLES EXPUESTOS A LOS AMBIENTES DE COMPOSTA, AGUA Y SUELO	43
6	PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PROMEDIO PARA LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES ANALIZADOS BAJO EL TOTAL DE TRATAMIENTOS	50
7	ANALISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA EN PESO DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	51
8	DIFERENCIA EN PESO DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	51
9	ANALISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA EN PESO DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	52
10	DIFERENCIA EN PESO DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	52
11	ANALISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA EN PESO DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	53
12	DIFERENCIA EN PESO DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	53

13	FUERZA DE TENSION PROMEDIO Y PORCIENTO DE CAMBIO PARA LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES AL INICIO Y FINAL DE CADA TRATAMIENTO	57
14	ANALISIS DE VARIANZA DE LA FUERZA DE TENSION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	61
15	DIFERENCIA EN LA FUERZA DE TENSION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	61
16	ANALISIS DE VARIANZA DE LA FUERZA DE TENSION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	62
17	DIFERENCIA EN LA FUERZA DE TENSION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	62
18	ANALISIS DE VARIANZA DE LA FUERZA DE TENSION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	63
19	DIFERENCIA EN LA FUERZA DE TENSION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	63
20	PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO Y PORCIENTO DE CAMBIO PARA LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES AL INICIO Y FINAL DE CADA TRATAMIENTO	64
21	ANALISIS DE VARIANZA DEL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	68
22	DIFERENCIA EN EL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	68
23	ANALISIS DE VARIANZA DEL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	69
24	DIFERENCIA EN EL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	69
25	ANALISIS DE VARIANZA DEL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	70



26	DIFERENCIA EN EL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	70
27	ANALISIS DE pH, TEMPERATURA Y HUMEDAD PROMEDIO EN LAS DIFERENTES FECHAS DE COLECTA PARA EL EXPERIMENTO EN COMPOSTA	71
28	ANALISIS DE pH Y TEMPERATURA PROMEDIO EN LAS DIFERENTES FECHAS DE COLECTA PARA EL EXPERIMENTO EN AGUA	71
29	ANALISIS DE pH Y HUMEDAD PROMEDIO EN LAS DIFERENTES FECHAS DE COLECTA PARA EL EXPERIMENTO EN SUELO	72
30	ANALISIS DE SUELO DEL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA, N.L.	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Título	Página
1	FOTOGRAFIA QUE MUESTRA LOS RESULTADOS DE PRUEBAS BIOQUIMICAS PARA LA IDENTIFICACION DE MICROORGANISMOS CON CAPACIDAD QUITINASA, AISLADOS DE COMPOSTA, AGUA Y SUELO.	42
2	FOTOGRAFIA DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO MOSTRANDO LA ADHESION DE MICROORGANISMOS EN FORMULADOS BIODEGRADABLES (F3 Y F7) Y SINTETICOS (F9 Y F10) A LOS 7 DIAS (A) Y 28 DIAS (B) DE EXPOSICION AL AMBIENTE DE COMPOSTA	44
3	FOTOGRAFIA DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO MOSTRANDO LA ADHESION DE MICROORGANISMOS EN FORMULADOS BIODEGRADABLES (F3 Y F7) Y SINTETICOS (F9 Y F10) A LOS 7 DIAS (A) Y 45 DIAS (B) DE EXPOSICION AL AMBIENTE DE AGUA	46
4	FOTOGRAFIA DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO MOSTRANDO LA ADHESION DE MICROORGANISMOS EN FORMULADOS BIODEGRADABLES (F3 Y F7) Y SINTETICOS (F9 Y F10) A LOS 18 DIAS (A) Y 99 DIAS (B) DE EXPOSICION AL AMBIENTE DE SUELO	48
5	PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS BAJO EL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	54
6	PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS BAJO EL TRATAMIENTO EN AGUA	55
7	PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS BAJO EL TRATAMIENTO EN SUELO	56
8	FUERZA DE TENSION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	58
9	FUERZA DE TENSION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	59
10	FUERZA DE TENSION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	60
11	PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA	65

12	PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA	66
13	PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO	67
14	ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F3 A LOS 0 DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA (B) Y SUELO (C)	74
15	ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F7 A LOS 0 DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA (B) Y SUELO (C)	76
16	ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F9 A LOS 0 DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA (B) Y SUELO (C)	78
17	ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F10 A LOS 0 DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA (B) AGUA (C) Y SUELO (D)	80

## RESUMEN

Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas (pérdida en peso, Fuerza de Tensión y % de Elongación), químicas (IRTF) y análisis microbiológico de plásticos biodegradables (F3 y F7) hechos de mezclas quitina-almidón-PE -EAA y materiales 100% sintéticos (F9 y F10) en 3 ambientes (composta, agua y suelo). Dentro de las propiedades físicas el F7 mostró mayor porcentaje de pérdida en peso con un promedio de 33.17, 17.92 y 10.52 seguido por el F3 con 35.24, 8.87 y 3.66% para los ambientes citados. La ganancia en peso fue de 2.12, 0.83 y 3.17% para el F9 y 3.91 y 0.55% para el F10 excepto en suelo donde el F10 perdió peso en un 0.23%. El promedio de disminución en la FT para los mismos ambientes fue de 91.75, 42.85 y 61.64% (F3); 66.6, 49.57 y 13.84% (F7); 17.78 (F9) y 16.12, 53.82 y 47.29 % (F10). El F9 aumentó su FT en 23.32% en agua y 10.89% en suelo. Los porcentajes de disminución promedio en el %E fueron 30.8 y 61.6 % en agua y suelo (F3); 88.59, 88.59 y 88.07 (F7); 40.97, y aumento de 94.56 y 35.15 (F9); 87.88, 21.72 y 58.06 (F10). En el análisis de IRTF se observaron ligeras variaciones en las absorbancias de las regiones correspondientes a las moléculas bio-degradables. En el análisis de microscopía electrónica de barrido se observó la adherencia de microorganismos mayormente en los plásticos bio-degradables comparado con los plásticos sintéticos. Se logró la identificación taxonómica de al menos 3 especies de bacterias con actividad quitinasa y dentro de las cargas microbianas se observó que estas no variaron en cuanto al factor tiempo, pero si en cuanto a los distintos ecosistemas. Como conclusión del estudio se sabe que los plásticos biodegradables sufren disminución en su peso y son más atractivos a ser degradados por microorganismos, sin embargo sus propiedades FT y % E no son comparables a las de materiales netamente sintéticos, así mismo, que el fenómeno de degradación se lleva a cabo por factores físicos, químicos y biológicos.

## INTRODUCCION

En los últimos años ha habido un incremento en la producción de polímeros basados en petroquímicos, a los que comunmente llamamos plásticos. Muchas de las propiedades físicas y químicas de estos materiales los hacen ser ideales para una gran variedad de productos y aplicaciones. Los plásticos pueden ser manufacturados para ser durables, ligeros, flexibles, impermeables, transparentes u opacos. Como resultado de esto los plásticos han reemplazado al papel, vidrio y metales en muchas aplicaciones (Breslin, 1993).

Uno de los factores que dictan el incremento en la producción de tales materiales es la explosión demográfica lo cual ha traído como consecuencia que los desechos plásticos constituyan un tipo de contaminación que enfrentamos actualmente. La persistencia de tales materiales en el ambiente a través de su vida funcional ha resultado en un amplio rango de contaminación, basura y problemas en la disposición de los desechos para la sociedad moderna (Gould et al, 1990).

Los plásticos recalcitrantes se acumulan en el ambiente a una velocidad de 25 millones de toneladas al año; se ha reportado que la mayoría de los plásticos permanecen más o menos sin cambio en los basureros, hasta por 20 años, esto, debido a su alto peso molecular, estabilidad química y su relativamente bajo radio de área de superficie:volumen que lo hacen menos factible al ataque microbiano (Lee et al , 1991).

Se han propuesto varias soluciones para este problema tales como el reciclaje, incineración, composteo y degradación ambiental, este último refiriéndose a fotodegradación o ataque por radiación ultravioleta y la biodegradación o ataque por microbios. (Hung et al, 1990 ).

En los Estados Unidos el método más común de manejo de desechos es a través de rellenos sanitarios (95%) e incineración (5%). En Japón el 70% de los desechos es incinerado. En Europa más del 50% de los desechos son incinerados con la finalidad de utilizar el alto valor calórico de estos , sin embargo no se ha logrado una eliminación al 100% de los desechos lo cual presenta un daño a los habitantes de ambientes marinos, de agua dulce y de vida terrestre (Huang et al, 1990; Andrady et al, 1993).

Las investigaciones encaminadas a la resolución de estos problemas incluyen los esfuerzos para el desarrollo de plásticos que se degraden más rápido en el ambiente. Así, ha habido, como resultado de una legislación, un incremento en la demanda del uso de materiales biodegradables los cuales son menos persistentes.

La introducción de moléculas biodegradables en polímeros sintéticos podría promover y estimular el ataque biológico sobre una matriz sintética (Corti et al, 1991).

Existen tres clases principales de materiales biodegradables. El primero son mezclas de polímeros y aditivos que son fácilmente consumidos por microorganismos. El ejemplo clásico de este tipo de materiales son el uso de mezclas de almidón con PE, la segunda clase de materiales son polímeros sintéticos con grupos vulnerables a la hidrólisis por ataque de microbios, este grupo incluye la policaprolactona, polietilensuccinato, etc. y su degradación es por hidrólisis. La tercer clase de materiales esta compuesta de polímeros procesables que ocurren en la naturaleza ejemplo son el polihidroxitirato y 3 hidroxivalerato, entre otros (Huang 1990; Leonas et al, 1993).

Se han hecho intentos para introducir otros polímeros que ocurren en la naturaleza tales como celulosa y lignina dentro de una estructura polimérica sintética. Los productos resultantes han mostrado una

apreciable biodegradabilidad de la fracción “natural” contenida en el plástico (Oleg et al, 1992).

Uno de los polímeros que ha ganado considerable atención para aplicarse en plásticos biodegradables (como relleno o bioester) es el almidón, ya que este, además de ser biodegradable tiene interesantes propiedades poliméricas (Van del Zee et al, 1991). Se sabe además que los polímeros hidrofóbicos derivados de petroquímicos (PE, EAA) son altamente resistentes a la degradación por los organismos vivos, mientras que los polímeros hidrofílicos naturales (almidón) son fácilmente rotos por una amplia variedad de organismos. (Gould, 1990; Arévalo, 1996)

Además del almidón, existen otros polímeros naturales que pueden ser utilizados para incorporarse en las matrices poliméricas de plásticos sintéticos y contribuir con esto al aumento en la tasa de degradación de tales materiales. Entre estos polímeros se encuentran: quitina, pectina y pululan (Arévalo, 1996).

En este estudio se pretende probar la biodegradación en distintos ambientes de plásticos hechos con mezclas de materiales sintéticos y polímeros naturales abundantes en nuestra región tales como Quitina la cual no ha sido explotada en su totalidad y que pueden ser alternativas para el control de la contaminación ambiental causada por los materiales plásticos.

## PLASTICOS Y SU DEGRADABILIDAD

### *Plásticos*

Materiales sintéticos que se obtienen por polimerización y que, por ser muy maleables antes de endurecerse, son susceptibles de recibir una variedad casi interminable de formas, según sus aplicaciones, desde fibras textiles y finísimas películas, hasta hojas, tubos y una infinidad de artículos, inclusive frascos, piezas de maquinaria, juguetes, estatuas, embarcaciones, carrocerías de automóvil y paredes de edificios.

El antecesor de los plásticos modernos es el celuloide, que logró fabricar J.W. Hyatt en los EUA en 1869 plastificando nitrocelulosa con alcanfor; material que fué muy utilizado pero que tenía la desventaja de ser inflamable. L.H. Baekeland inició la industria de los plásticos modernos con la bakelita (1907), producida con fenol y formaldehído.

Los plásticos constan de moléculas de cadena larga (termoplásticos), se pueden ablandar con el calor y moldear en cualquier forma que se desee. Mediante diversas fórmulas es posible producir plásticos de casi cualquier color, forma y dotados de una diversidad de propiedades especiales, como dureza, durabilidad, elasticidad, resistencia al calor, al frío o a los ácidos, al choque o a la abrasión, etc.

### *Degradable*

Según Enkerlin et al, 1997. Es la característica que tienen los compuestos que son reducidos por agentes naturales físicos, químicos y procesos biológicos a un estado neutral o a niveles aceptados por la naturaleza. Si el compuesto es reducido por materia orgánica viva (bacterias



especializadas) se conoce como biodegradable. Este proceso puede realizarse en forma rápida ( p.ej. las descargas municipales son fácilmente reducidas por bacterias) o lenta como ocurre en la mayoría de las sustancias introducidas al ambiente, ejemplo DDT, plásticos, aluminio, cloro-fluorocarbonos, etc.

La National Corn Growers Association define degradable como un término general descriptivo el cual incluye la descomposición física y química de alguna sustancia (plástico p.ej.) como el resultado de la exposición a bacterias, calor y luz. Estos factores causan que las grandes cadenas poliméricas del plástico se rompan y descompongan más rápidamente que lo que podría ser en casos normales.

### *Biodegradable*

Gordon et al, 1996 define Biodegradable simplemente como la habilidad de los componentes moleculares de un material a ser rotos en moléculas más pequeñas por organismos vivientes, así que el carbón contenido en el material pueda finalmente retornar a la biosfera.

Wool y Cole 1988 explican que la biodegradación implica la pérdida de las características estructurales y la masa (carbón total) de un material, a medida que el CO<sub>2</sub> y los componentes solubles en agua se forman. Estos cambios son acompañados frecuentemente por decoloración resultante del crecimiento extensivo de microorganismos productores de pigmentos sin embargo, la decoloración y el crecimiento visible de microorganismos sobre los plásticos puede ocurrir en ausencia de cualquier cambio en el material plástico y dicen que debe reconocerse una diferencia entre biodesfiguración de la superficie del plástico y el decaimiento real del plástico por los mecanismos de biodegradación a través del material. La biodegradación implica los procesos de conversión y los mecanismos químicos a través del

cual el carbón del material biodegradado es distribuido entre los productos.

La National Corn Growers Association dice que los plásticos biodegradables están químicamente estructurados para poder descomponerse primeramente através de la acción de microbios del suelo tales como bacterias, hongos y actinomicetos. Estos organismos pueden romper las largas cadenas poliméricas físicamente, a menudo por la digestión de un biopolímero insertado en la cadena. Los microorganismos también secretan enzimas, las cuales pueden contribuir al rompimiento y disolver las cadenas poliméricas particularmente en la presencia de agentes oxidantes en el polímero, el cual reacciona con las partículas metálicas cargadas (iones) del suelo.

Para que la biodegradación pueda llevarse a cabo deben cubrirse los siguientes requisitos:

- \* Presencia de microorganismos tales como hongos, bacterias, actinomicetos, etc.
- \* Presencia de oxígeno, humedad y nutrientes minerales
- \* Rangos de temperatura entre 20 y 60 °C dependiendo del organismo
- \* Rangos de pH de 5 a 8.

## QUITINA

La quitina es el polisacárido más común en la naturaleza cuya unidad básica es un aminoazúcar. Es un polímero flexible, resistente, parecido a la celulosa y ampliamente distribuido. Este polisacárido es un constituyente estructural que proporciona fuerza mecánica a los organismos que lo poseen. La quitina es producida por miembros del reino vegetal y animal. En las paredes celulares de muchos hongos filamentosos se depositan cantidades considerables de polisacárido y el polímero es importante en la manutención de la integridad estructural y por ende de la viabilidad de estos organismos. La quitina también forma parte de la estructura celular de muchos basidiomicetos, algunas levaduras y posiblemente de algunos porozoarios y algas, no se encuentra en las paredes celulares de bacterias y actinomicetos. Los caparazones de cangrejo, camarón y langostas contienen de 14 a 35% de quitina en peso seco. Los hongos tienen cantidades considerablemente mayores, así, más de 100 millones de toneladas de quitina son anualmente producidas por estos animales y microorganismos en el mundo, sin embargo la cantidad anual accesible de quitina está estimada en 150 mil toneladas (Alexander, 1980; Arévalo, 1996)

La quitina es insoluble en agua, solventes orgánicos, álcalis concentrados o ácidos minerales diluidos, pero puede ser solubilizada y degradada enzimáticamente o por tratamiento con ácidos minerales concentrados. Estructuralmente, consiste en una cadena larga de unidades de N-acetilglucosamina con arreglo lineal. El polímero es similar a la celulosa con uno de los grupos hidroxilo reemplazados por una unidad de acetilamino.

Algunas quitinas tienen cantidades variables de quitosan asociadas con ellas. El quitosan es similar a la quitina pero ha perdido los grupos

acetilo de manera que es una cadena larga de unidades de glucosamina unidas como en la quitina original.

La quitina es una importante sustancia en el ciclo del carbono debido a su disponibilidad al ataque microbiológico. Este polímero se origina en el suelo de los restos de insectos y también del crecimiento de hongos y otros organismos. Podemos decir entonces que este polímero es un componente nativo de la fracción orgánica del suelo.

La aplicación de quitina al suelo estimula la microflora y éste compuesto químicamente estable es mineralizado en períodos relativamente cortos.

La degradación de quitina incluye la conversión de una molécula insoluble, cristalina a productos solubles en el agua que penetren las células y provean de energía y carbono o a veces nitrógeno para el crecimiento. Las enzimas responsables son extracelulares y usualmente inducibles y los productos comunes que aparecen durante la degradación son N-acetilglucosamina y glucosamina. La N-acetilglucosamina es convertida a ácido acético y glucosamina y el amonio es liberado del compuesto final a uno de sus derivados subsecuentes. La glucosamina o un compuesto formado a partir de ésta es fácilmente atacada sirve a la célula para proporcionar carbono y energía

En un análisis sobre la recuperación de quitina y quitosan de los desechos en el procesamiento de alimentos se menciona que los productos de desecho de la industria pesquera tienen distintas aplicaciones entre las que destacan: suplementos dietéticos, clarificación de bebidas, bioabsorción de metales pesados, colorantes y pesticidas, así como la producción de plásticos para empaque. Así mismo se ha sugerido el uso de polímeros quitinosos biodegradables para la protección ambiental y la reducción de desechos (Dietrich Knorr, 1991; Bade y Wick, 1988)

## ANTECEDENTES

Breslin y Swanson en 1993 evaluaron la tasa y extensión de deterioro de compuestos plástico-almidón y plásticos control colocados en rellenos sanitarios, composta, suelo agua de mar y en la orilla de un pantano. Las películas se colocaron en sitios de exposición durante la primavera de 1989 y se muestrearon sobre un período de 28 meses. Las condiciones ambientales en cada sitio de exposición se determinaron durante cada fecha de muestreo. Siguiendo a su colocación el deterioro de los compuestos plástico-almidón y los plásticos control se determinó midiendo los cambios en las propiedades tensiles, peso, contenido de almidón y morfología.

Los resultados mostraron que la tasa de degradación de los compuestos de almidón varió en los distintos ambientes. Una rápida degradación y fragmentación se observó para el pantano que primeramente fué atribuida a fotodegradación. La menor degradación se midió para las películas colocadas en composta, relleno sanitario , suelo y agua de mar. La pérdida de almidón se midió en cada uno de los sitios expuestos. El porcentaje de almidón disminuyó con el tiempo. Con excepción de las películas en pantano, aquellas basados en almidón no se fragmentaron o perdieron masa durante los dos años de exposición. Aunque los compuestos de almidón fueron diseñados para deteriorarse primeramente a través de la acción de microorganismos, el deterioro de estos plásticos es un resultado de la interacción de procesos, biológicos, químicos y físicos.

### *Experimento en Composta*

Una de las soluciones que se han propuesto para resolver el problema de contaminación causado por desechos plásticos ha sido el composteo. Se

han realizado una amplia serie de experimentos encaminados a observar la biodegradabilidad de plásticos en este ambiente encontrándose distintos resultados al respecto, como los reportados por Greizerstein en 1990 quien estudió la degradación de bolsas de PE combinadas con ECOSTAR PLUS (un aditivo de almidón ) mediante análisis de IR, UV, MEB y de MO en estas muestras. La superficie de las muestras mostró oxidación, pérdida de almidón, disminución en el punto de fusión y fragilidad después de 14 días. Las bolsas enterradas mostraron disminución en el punto de fusión a los 14 días y oxidación a los 28 y 49 días. Estos resultados indicaron que la exposición a la luz del día tuvo un marcado efecto en la degradación de la superficie de las bolsas, mientras que en la degradación de las bolsas enterradas podrían estar implicados otros procesos. Por su parte Cole y Leonas (1990) estudiaron a nivel de campo la degradabilidad de bolsas para coleccionar desechos de jardín. Las bolsas estudiadas consistían de: 1) almidón de maíz más aditivos para promover la degradación química y la fotodegradación del PE., 2) almidón de maíz más oxidantes para promover la degradación química del PE y 3) PE sin almidón pero con promotores de fotodegradación. Las bolsas probadas fueron similares en composición a los productos comercialmente disponibles. Los investigadores encontraron que las bolsas con 9% de almidón y aditivos para promover los mecanismos de degradación múltiple se desintegraron en promedios aceptables, mientras que las bolsas conteniendo solamente 6% de almidón mas oxidantes se desintegraron muy lentamente para permitir oportunamente el proceso de composteo. Las bolsas fotodegradables con exposición solar durante el estudio en composta se desintegraron rápidamente, pero cuando estas bolsas se expusieron a nuevas superficies en la luz, una mayor pérdida en la fuerza ocurrió lentamente.

Un año mas tarde, (Corti et al, 1991) estudiaron un ecosistema microbiano de composta para probar la biodegradabilidad de materiales termoplásticos debido a condiciones de alto estrés oxidativo los cuales eran

mantenidos por varias semanas durante la estabilización de la materia orgánica podrida de la composta, ellos encontraron que las dinámicas de los factores físicos y químicos tales como pH, contenido de amonio, temperatura, nivel de ácidos grasos, etc. condujeron a la predominancia secuencial de diferentes poblaciones microbianas de composta que atacaban severamente a los polímeros probados.

Johnson et al, 1993 estudiaron el modelo de degradación en 11 tipos de bolsas de plástico usadas comercialmente cuya composición química era una combinación de PE-almidón. Las bolsas diferían en el contenido de almidón el cual iba de un 5 a 9 %, así como también en los aditivos prooxidantes. Para evaluar el promedio de degradación las bolsas se cortaron en tiras y se llevaron al basurero municipal, donde algunas se enterraron en la composta, mientras que otras se colocaron en la superficie de ésta. La degradación se siguió en base a mediciones en el cambio en la distribución del peso molecular del PE utilizando GPC a altas temperaturas. Durante los primeros ocho meses de estudio el material recuperado del interior de la composta mostró muy poca degradación, sin embargo los materiales colocados al aire libre habían sido mejor degradados por lo cual concluyeron que la tensión de oxígeno en la superficie de la película parece ser el componente limitante en el promedio de degradación en un ambiente de composta.

### *Experimento en Agua*

Una significativa porción de los plásticos desechados al ambiente como basura puede terminar en los sistemas acuáticos tales como lagos, ríos, corrientes, pantanos y océanos. Diversos estudios han mostrado que los residuos plásticos están ampliamente distribuidos en los océanos del mundo. Los desechos plásticos, junto con otros residuos flotables llegan al ambiente marino mediante distintas vías entre las cuales están: camas de basura,

flujos combinados, manejo de desechos sólidos y botes recreacionales y de pesca. Los componentes plásticos de los restos flotables pueden estar en la forma de piezas grandes y pequeñas las cuales incluyen vasos, empaques, aplicadores, implementos de pesca, etc. Además de ser un problema antiestético, los residuos plásticos flotantes han sido identificados como dañinos a una variedad de organismos entre los que se incluyen mamíferos, aves y peces. El incremento de residuos flotantes a lo largo de las playas también ha contribuido a que algunas de estas sean cerradas resultando en pérdidas económicas a las comunidades pesqueras (Breslin y Li 1993).

Al igual que la mayoría de las superficies en estos ecosistemas la superficie de los plásticos puede llegar a cubrirse con una biocapa adherente la que contenga una amplia variedad de microorganismos los cuales podrían actuar en la biodegradación de tales materiales, sin embargo poco se sabe acerca de esto. Con la finalidad de tener mayor información sobre la ocurrencia de tal fenómeno y el efecto que tendría sobre el deterioro de plásticos biodegradables Imam et al en 1992 estudiaron el efecto de la formación de la biocapa sobre la biodegradación de las películas plásticas hechas en combinación de almidón de maíz con PE y EAA al exponerlos a los ambientes de río y lago por un lapso de 60 días.

Los investigadores observaron la rápida acumulación de una película biológica sobre las muestras (bacterias, algas, hongos protozoarios y diatomeas), sin embargo la colonización de los plásticos por larvas de mosca fué el parámetro que favoreció en mayor grado el daño físico en los materiales que contenían almidón sugiriendo que además de la degradación microbiana la biodesintegración puede también ser un factor significativo en el destino ambiental de los plásticos que contienen almidón, así mismo los investigadores mencionan que es concebible que la biocapa pudiera también prevenir el acceso a las películas de los microorganismos amilolíticos y sus enzimas hidrolizantes de almidón, extendiendo así el tiempo de vida ambiental de estos plásticos. Como apoyo a este estudio también realizarón



propiedades físicas. Las muestras incluyeron dos plásticos convencionales: PEBD y PS, además de otros cuatro que al parecer tienen una fragilidad mayor en el medio ambiente: un copolímero de etileno y monóxido de carbono (ECO) al 2 y 10%, PE combinado con cetonas y PE con almidón. Los investigadores encontraron que los copolímeros ECO tuvieron una pérdida en las propiedades físicas significativamente mucho más rápida que los otros plásticos también que aquellos plásticos que mostraron variación en las propiedades físicas tuvieron un cambio mucho mayor en un ambiente sin agua que en aquel donde el agua estuvo presente, así mismo, vieron que los plásticos colocados en la superficie del agua mostraron una pérdida más rápida en las propiedades físicas que aquellos que se encontraron parcial o totalmente sumergidos. Durante el mismo año Breslin y Li estudiaron el deterioro en plásticos compuestos de PE y PE-almidón, exponiéndolos al aire libre en los bordes de un pantano y en agua de mar. El deterioro de estos plásticos después de su exposición se midió en base a la determinación de cambios en las propiedades tensiles, pérdida en peso, pérdida de almidón y contenido de carbono. Se observaron bajos promedios de deterioro para las películas control y para los compuestos de PE-almidón sumergidos en el agua de mar. En contraste, ambos plásticos se deterioraron rápidamente durante su exposición en el pantano. Los investigadores atribuyen las diferencias en el promedio de deterioro de los plásticos principalmente a un proceso de fotodegradación. Esta investigación concuerda con reportes anteriores donde se dice que los materiales poliméricos se degradan más lentamente en el mar que en habitats terrestres y se atribuyen tales diferencias en las tasas de degradación al hecho de que los plásticos se expusieron a la luz del sol calentándose en mayor grado que el aire que los rodea.

## *Experimento en Suelo*

William L. Rathje arqueólogo de la Universidad de Arizona menciona que uno de los monumentos más grandes hechos por el hombre en el mundo es el terreno relleno Fresh Kills Landfill en Staten Island, New York, que recibe diariamente 17,000 toneladas de desperdicios de la ciudad de Nueva York, seis días a la semana, cubre 3000 acres y consume 2.4 mil millones de pies cúbicos de espacio. El autor menciona que en este espacio los plásticos ocupan un 10% en volumen del total de desechos. En nuestra ciudad según cifras dadas por SIMEPRODE los desechos de Monterrey y su área metropolitana son de un promedio de 2,500 toneladas de basura diarias, de las cuales un 8% en volumen corresponden a plásticos.

Dado que el crecimiento de las ciudades cada día es mayor así como el consumo y desecho de materiales plásticos, se hace necesario contar con métodos de disposición de desechos alternativos al uso de rellenos sanitarios. Se han realizado diversas investigaciones para evaluar la degradabilidad de materiales plásticos netamente sintéticos así como plásticos biodegradables, entre estos se cuentan los realizados por Breslin en 1993, quién estudió el promedio y extensión del deterioro de compuestos plásticos: PEBD y PEBDL combinados con almidón durante un periodo de dos años. Las muestras eran enterradas en un basurero municipal y la tasa de deterioro se midió en base a cambios en las propiedades tensiles, pérdida en peso y contenido de almidón de éstas. Breslin encontró que la elongación disminuía en un 92% a 44% para los compuestos PEBD-almidón y PEBDL-almidón respectivamente, así como también la pérdida en el contenido de almidón fué de un 25% para los plásticos combinados con PEBD y 33 % para los combinados con PEBDL. La degradación limitada de estos plásticos es atribuida a la ineffectividad del prooxidante para catalizar la oxidación del PE bajo las condiciones presentes en el relleno sanitario.

Concluyen que a pesar de la actividad biológica la velocidad de degradación en este ambiente fue bajo.

Siguiendo esta misma clase de estudios Goheen y Wool en 1991 estudiaron la degradación en suelo de plásticos hechos de mezclas de PE-almidón por un período de 8 meses monitoreando la remoción de almidón y los cambios químicos en la matriz mediante espectroscopía de IRTF. Los investigadores observaron que la remoción del almidón ocurría rápidamente durante los primeros 40 días del experimento en los plásticos con mayor contenido de tal polímero y los datos de espectroscopía revelaron cambios en las regiones de absorción correspondientes al almidón, mientras que para la matriz de PE no había cambios químicos significativos después de 240 días, sin embargo si existió una remoción de los componentes de bajo peso molecular.

Se han propuesto otros métodos para evaluar la biodegradabilidad de plásticos en suelo. Yabannavar y Bartha, 1994 incorporaron películas plásticas de PE, almidón-PE, PVC y PP en suelos aeróbicos y midieron su degradación por un período de 3 meses mediante evolución del CO<sub>2</sub>, recuperación del peso residual y pérdida de la fuerza de tensión, además las técnicas se suplementaron con cromatografía de gas para pérdida de plastificantes y GPC para la distribución molecular del polímero. Después de 6 a 12 semanas de exposición a la luz solar las películas fotosensibles resultaron con daño fotoquímico extenso lo cual evitó el promover la subsecuente mineralización en suelo. Para los plásticos de almidón-PE y PVC los análisis de GPC demostraron que los cambios estaban confinados a los aditivos y que el PE y PVC no son degradados.

### *Experimento en Laboratorio*

Imam y Gould en 1989 estudiaron la adhesión de una especie de *Arthrobacter amilolítica* (KB-1) a plásticos que contenían almidón, encontraron que aproximadamente el 70% de las células se adhería a las películas plásticas compuestas de una mezcla de almidón-PMA, pero que no se adherían (<10%) a las películas compuestas por PMA, PE, carboximetilcelulosa, a una mezcla de PE-EAA, almidón-PE o almidón-PE-EAA. Encontraron también que soluciones como el EDTA, dithiothreitol y el almidón soluble tuvieron poco efecto en la adhesión de las células KB-1 a las películas de almidón-PMA, mientras que células fijadas en glutaraldehído, células tratadas con azida y células muertas por calor no se unían a los plásticos de almidón-PMA, sugiriendo que la adhesión observada requería viabilidad celular. Encontraron también que aunque las bacterias KB-1 se unieron a los plásticos de almidón-PMA éstas no parecían degradar el almidón de estas películas. La evidencia de la degradación del almidón se observó para los plásticos de almidón-PE-EAA, en los cuales menos de un 10% de las bacterias se había unido sugiriendo así que la adhesión celular puede no ser un prerrequisito para la degradación de algunos plásticos que contienen almidón.

Un año más tarde Gould et al, 1990 estudiaron a nivel de laboratorio los compuestos plásticos que contienen altos niveles de almidón de maíz gelatinizado en combinación con polímeros petroquímicos: PE y EAA. Encuentran que los plásticos compuestos de almidón-EAA y almidón-PE-EAA son resistentes a la degradación por algunas bacterias amilolíticas, pero son susceptibles a la acción de otras. Esto último mediante ensayos de IRTF donde observan que en un lapso de 20- 30 días casi la totalidad del almidón contenido ha sido removido no sucediendo así para el PE y EAA. Así mismo, observaron que la fuerza de tensión de los plásticos disminuyó a medida que el almidón era metabolizado, facilitando con esto la desintegración de las películas por acción mecánica.

Por su parte Swanson et al, 1991 estudiaron la biodegradación de materiales plásticos mezclados con almidón. Entre estos estudios incluyeron la degradación por bacterias amilolíticas a nivel de laboratorio. Las bacterias fueron seleccionadas por su habilidad para utilizar almidón como única fuente de carbono en un medio de cultivo líquido. Encontraron que un consorcio de estos aislados denominado como LD76 degradó arriba del 80% del almidón en los plásticos de almidón-PE-EAA en 60 días, sin embargo, los componentes PE y EAA de las películas permanecieron sin ser degradados. También observaron que la pérdida de almidón de las películas se acompañó por una concomitante pérdida en peso y fuerza de tensión, lo cual puede contribuir a una degradación posterior por fuerzas mecánicas.

Ramsay et al, 1992 estudiaron la biodegradabilidad y las propiedades mecánicas de mezclas de almidón-poli-(HB-co-HV). Encontraron que incrementando el contenido de almidón de 0 a 50% (p/p) disminuía la fuerza de tensión del P(HB-co-HV) desde 18 a 8 MPa y que la flexibilidad disminuía a medida que el modulus Young's se incrementaba de 1.525 a 2.498 MPa. Sin embargo, determinaron que todas las propiedades mecánicas del polímero permanecían en un rango útil. También observaron que una mezcla microbiana requirió más de 20 días para degradar muestras con un 100% de P(HB-co-HV), mientras que los mismos formulados mezclados con 50% de almidón eran degradados en menos de 8 días.

Por el mismo año Shogren et al, 1992 utilizaron distintas técnicas espectroscópicas y microscópicas para estudiar la estructura, compatibilidad y morfología de películas hechas de almidón, EAA y PE, antes y después de exponerlos a una mezcla de bacterias altamente amilolíticas. Los investigadores observaron que la amilosa y la amilopectina interactúan con el EAA formando incusiones tipo V y mediante puentes de hidrógeno, mientras que el PE parece ser inmiscible con tal complejo y forma dominios parecidos a hojas. Vieron también que la amilopectina en las películas es

susceptible a la digestión por el consorcio bacteriano, mientras que el complejo amilosa-EAA es resistente. En el mismo año Ndon et al estudiaron la biodegradabilidad en el laboratorio de cuatro productos plásticos comerciales elaborados con la adición de almidón a una matriz de PE bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Las propiedades en la superficie del plástico, así como el promedio en el peso molecular se observaron antes y después de las pruebas biológicas. Ellos encontraron que los promedios de degradación y el porcentaje total de la conversión de carbón fueron mayores bajo condiciones aeróbicas comparadas con las anaeróbicas.

Imam et al, 1993 prepararon compuestos por inyección en molde al mezclar PHBV con almidón de maíz nativo (30 y 50 %) y con almidón precubierto con PEO como un agente mezclante. Estos compuestos fueron evaluados para su biodegradabilidad en lodos activados al medir cambios en las propiedades físicas y químicas durante un período de 35 días. Todos los compuestos perdieron peso en un rango de 45 a 78%. La extensión y promedio en la pérdida de peso fué algo similar en PHBV sin almidón, con almidón al 30% y al 50%. La pérdida de peso fué mas lenta en las mezclas de PHBV preparadas con PEO cubiertas con almidón. Ellos encontraron que para todas las muestras, la pérdida en peso estuvo acompañada por una rápida disminución en la fuerza de tensión y el porcentaje de elongación.

## HIPOTESIS

Los plásticos elaborados a base de compuestos sintéticos mezclados con quitina son materiales propensos a la biodegradación disminuyendo con esto la tasa de contaminación ambiental causada por tales productos.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar el grado de biodegradación de materiales plásticos hechos a base de mezclas de polímeros sintéticos y quitina bajo los ambientes de composta, agua y suelo.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.- Evaluar los cambios en las propiedades físicas y químicas de los plásticos analizados como un indicio de biodegradación.
- 2.- Determinar algunas de las poblaciones microbianas que participan en la biodegradación de los plásticos estudiados.
- 3.- Realizar pruebas de microscopía electrónica para valorar el daño en superficie a los plásticos analizados.

## MATERIAL Y METODO

### *Muestras Plásticas*

Los plásticos analizados consistieron de dos muestras comerciales sintéticas y dos biopolímeros hechos a base de quitina. Las muestras se identificaron como:

- F3. Biopolímero hecho a base de quitina
- F7. Biopolímero hecho a base de quitina
- F9. Polietileno de baja densidad (PEBD)
- F10. Copolímero de etileno y ácido acrílico (EAA)

La composición química de estos formulados se presenta en la siguiente tabla.

TABLA 1.- COMPOSICION QUIMICA DE LOS DIFERENTES FORMULADOS (%)

	F3	F7	F9	F10
ALMIDON	20	18.2	0	0
UREA	10	9.1	0	0
EAA	25	22.7	0	100
PEBD	25	22.7	100	0
QUITINA	20	18.2	0	0
PEG	0	9.1	0	0
AGUA <sup>a</sup>	8	8	0	0
NH <sub>4</sub> OH <sup>a</sup>	8	8	0	0

a: valores de agua e hidróxido de amonio corresponden a 8 partes por cada 100 partes de sólidos



De los plásticos anteriores se cortaron tiras de 10 x 1 cm. para cada experimento en cada ecosistema y se colocaron amarradas entre mallas plásticas perforadas para su mejor manipulación.

### *Experimento en Composta*

El experimento en composta se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Química del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en coordinación con los experimentos realizados para observar la degradación de desechos orgánicos en este ambiente.

La composta se preparó de restos de comida entre los que se encontraban: pollo, carne, verduras y frutas. Además se adicionó tierra y hojas secas, así como también lodos activados. Una vez mezclado todo lo anterior se procedió a vaciarlo en un cilindro de acrílico de 150 cm. de altura por 15 cm. de diámetro, desfondado por ambos polos y el cual tenía 13 perforaciones a todo lo largo para permitir la entrada de termómetros. Este cilindro se colocó sobre una base metálica la cual tenía una malla a través de la cual utilizando una bomba de oxígeno se introducía aire.

La columna se introdujo en un contenedor de madera y dentro de éste se colocó un calentador para mantener una temperatura ambiente constante entre 30 y 37 °C. El contenedor estaba recubierto en su interior con hielo seco que actuó como aislante. Una vez colocado el cilindro se procedió a llenarlo con la composta, esto se hizo manualmente, y entre cada 20 cm. aproximadamente de materia ocupada se colocaron en forma aleatoria 6 muestras plásticas hasta completar un total de 30 muestras; 15 para el formulado F3 y 15 para el formulado F10 durante el primer experimento llevado a cabo del día 6 de septiembre al 4 de octubre de 1995. El mismo tratamiento se llevó a cabo para los formulados F7 y F9, solamente que este

experimento se realizó del día 11 de octubre al 8 de noviembre de 1995 manejando 18 muestras para cada formulado.

Para realizar los distintos análisis, se retiraron 6 muestras del experimento los días 7, 14, 21 y 28; 3 controles y 3 plásticos biodegradables. La extracción se hizo al azar.

### *Experimento en Agua*

Este análisis se llevó a cabo en el Lago Natural del Parque Niños Héroes de la Cd.de San Nicolás de los Garza, N.L. del 22 de febrero al 06 de abril de 1996. El tratamiento fué el siguiente: Se trabajaron 23 tiras plásticas para el F3, mientras que para los formulados F7, F9 y F10 se trabajaron 21 tiras. En un total de 7 canastas se colocaron en forma aleatoria 3 muestras de cada formulado por canasta y éstas se llevaron al lago donde se introdujeron amarradas entre 2 arboles de manera que el agua solamente las cubriese.

Para realizar los distintos análisis las canastas se retiraron sucesivamente a los 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días.

### *Experimento en Suelo*

Este análisis se realizó en el Relleno Sanitario de Salinas Victoria , el procedimiento fué el siguiente: Se pusieron 3 tiras de cada formulado en canastas de 10 x 10 cm. las tiras se colocaron en orden numérico hasta completar 24 muestras para los formulados F3 y F9 , 26 para a el F7 y 25 para el F10. Una vez que se tuvieron las muestras preparadas se llevaron a una trinchera la cual ya estaba llena de basura y completamente cubierta con tierra. Las canastas se enterraron en la trinchera en bloque de 4 x 7 a una profundidad de aproximadamente 20 cm. El trabajo se realizó del día

22 de marzo al 28 de junio de 1996, se retiró una canasta de cada formulado a los 18,28, 42, 56, 70, 84 y 98 días del experimento.

### *Tratamientos*

Durante cada fecha de colecta se retiraron 3 muestras de cada formulado del total de ecosistemas, de éstas se tomo una tira para realizar el análisis microbiológico y de MEB, mientras que las dos restantes se conservaron para pruebas físico-mecánicas.

### ANALISIS MICROBIOLOGICO

#### *Análisis de la flora microbiana adherida a la muestra.*

De los plásticos seleccionados para análisis microbiológico se cortó una tira de 1 cm x 1 cm aproximadamente y se realizó la técnica de cuenta microbiana en placa con la finalidad de determinar el número de microorganismos adheridos a las muestras. Se hicieron diluciones en solución salina estéril al 0.85% (NaCl al 0.85% en agua destilada). Para los plásticos extraídos de la composta se manejaron diluciones desde 1:10 hasta 1:100000, mientras que para las muestras extraídas de agua y suelo las diluciones fueron de 1:10 hasta 1:1000. Las diluciones se hicieron transfiriendo sucesivamente 1 ml. de solución salina como inóculo en 9 ml. de solución salina estéril. Una vez diluidas las muestras se sembraron por triplicado en placas de agar nutritivo (caldo nutritivo 8g/l, agar agar 20g/l.). Para las muestras de composta se sembró 0.1 ml. de las diluciones  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$ ; para las muestras de agua y suelo se sembró 0.1 ml. de las diluciones  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ . Las cajas se incubaron de 35 - 37 °C durante 24 - 48 horas. Una vez obtenido el crecimiento se realizó el conteo del número de colonias por placa, (el número de colonias se multiplicó por 10, debido a que se inculó 0.1 ml. de cada dilución), determinando así las unidades

formadoras de colonia por ml. de muestra.

A las colonias obtenidas se les realizó tinción de gram y se sembraron luego en tubos de agar inclinado con la finalidad de obtener cultivos puros para la realización de análisis posteriores.

### *Pruebas de degradación de Quitina*

Con la finalidad de conocer si los microorganismos obtenidos de las tiras plásticas después de haberse retirado de cada ecosistema estaban contribuyendo en la degradación de las películas con quitina, se les realizó pruebas de actividad quitinasa.

Cada uno de los aislados purificados obtenidos de los ecosistemas estudiados se activó en caldo nutritivo (una asada de la colonia se sembró en 3 ml. de caldo nutritivo y se inoculó 24 hrs a 35 - 37 °C). Una vez crecidos los microorganismos, se sembraron por estria cruzada en placas de agar quitina, éstas se incubaron por un periodo de 1 a 1 1/2 semanas a una temperatura de 35 a 37 °C luego de lo cual se observó la presencia o ausencia de halos de hidrólisis.

### *Pruebas Bioquímicas*

Las pruebas bioquímicas para la identificación taxonómica de los microorganismos que tuvieron la capacidad de degradar quitina se realizaron mediante la utilización de los paquetes API 20 E, API 50 CH y API 50 CHB (bioMérieux, S.A)

## MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

Las muestras control y biodegradables provenientes de los tres ecosistemas estudiados se colocaron en solución de glutaraldehído al 1%. Las muestras correspondientes a las fechas iniciales y finales de los tratamientos en los distintos ecosistemas se retiraron de la solución de glutaraldehído y se cortaron en pequeños cuadros de 0.5 x 0.8 cm. los cuales se colocaron en viales donde se lavaron con agua destilada 3 veces para remover el exceso de glutaraldehído.

Una vez lavadas se procedió a deshidratarlas, utilizando alcoholes al 70, 80, 90, 95 y 100%. La deshidratación se realizó en los viales dejando las muestras por un tiempo de 5 minutos en cada alcohol y 15 minutos en el alcohol al 100%. Posteriormente las muestras se colocaron en bases de aluminio.(en las bases se coloca un cuadro de cinta de doble pegadura y aquí es donde se adhieren las muestras). Ya en las bases se procedió a su cubrimiento con oro. Se realizaron tres corrimientos para el cubrimiento de las 23 muestras analizadas. El oro empleado para el cubrimiento tuvo un grado de pureza del 99.99%. Una vez cubiertas las muestras se les colocó en las esquinas una capa de plata con la finalidad de aumentar la conductividad.

Luego de esto, se procedió a la observación de las películas plásticas utilizando un microscopio electrónico de barrido marca Leica y un microscopio electrónico de barrido modelo ISI MINI-SEM-5. Este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio del Doctorado en Materiales de la División de Estudios de Postgrado de la FIME y en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de la FCB de la UANL.

## PRUEBAS FISICO-MECANICAS

### *Determinación de Pérdida en peso*

Este parámetro se considera un indicador de biodegradabilidad, por lo cual todas las muestras expuestas en los distintos ecosistemas se pesaron antes y después de cada tratamiento. Para pesar los plásticos se utilizó una Balanza Analítica Sartorius con capacidad de 160 g.

### *Determinación de Fuerza de Tensión y Porcentaje de Elongación*

Estas pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de PLEMSA. de acuerdo al método de prueba estandar de la ASTM, designación D 882-81. Un Electronic Tensile Tester Modelo GC II XS de Thwing Albert se utilizó para determinar la fuerza de tensión y el porcentaje de elongación. Las muestras consistieron de tiras de entre 8 y 10 cm de largo por 1 cm. de ancho. Las condiciones del aparato fueron 50 Newtons de carga, velocidad de 50 cm/min., temperatura de 21.5 °C y una humedad relativa del 51%. Se determinó la FT y el %E para los plásticos control y biodegradables correspondientes a la fecha final de cada tratamiento en cada ecosistema, así como para plásticos control y biodegradables sin ningún tratamiento.

## PARAMETROS AMBIENTALES

### *Determinación de Humedad, Temperatura y pH*

Estos parámetros fueron determinados para los ecosistemas en los cuales se llevó el estudio al momento de realizar la extracción de las muestras, de la siguiente manera:

Composta: Se registraron las temperaturas diarias en el interior de la columna utilizando termómetros colocados a lo largo de ésta a través de distintos orificios. El pH se registró semanalmente utilizando papel indicador de pH.

Agua: Al momento de realizar la extracción de las canastas se tomó una muestra de agua a la que se le determinó la temperatura y posteriormente en el laboratorio se le midió el pH con un potenciómetro Beckman Mod. 63.

Suelo: Durante las fechas de colecta se tomó una muestra de suelo, de aquí se pesaron 10 g. y se colocaron en placas de Petri taradas a una temperatura de 100 °C, Las cajas con la muestra se pesaron y se registró el peso 1. Las placas con el suelo se pusieron a secar en una estufa marca MAPSA modelo HDP-334 a una temperatura de 100 °C por un tiempo de 24 horas, se retiraron de la estufa, se pesaron y se registró el peso 2. Por diferencia de pesos se determinó la humedad de la muestra. Para determinar el pH se pesaron 10 g. de suelo, se le adicionaron 25 ml. de agua pH 7, se dejó reposar durante 30 minutos y finalmente se agitó y leyó en un potenciómetro Beckman Mod. 63.

## PRUEBAS QUIMICAS

### *Análisis por espectroscopía de Infrarrojo por Transformadas de Fourier (IRTF)*

Los plásticos biodegradables y control, correspondientes a la última fecha de colecta así como las del día cero (sin tratamiento) se analizaron por el método de pastillas de KBr. Este análisis fue realizado por personal de la NCAUR del USDA. La metodología a seguir fue la siguiente: Se pesaron 2.66 mg de las muestras y se congelaron en nitrógeno líquido en viales de

acero inoxidable (Wig-L-bug), los cuales contenían dos pelotas también de acero inoxidable para facilitar la trituración. Los viales se agitaron durante un minuto por tres veces hasta la obtención de un polvo fino. Luego de esto se adicionó KBr (Sigma Chem.) grado espectrofotométrico previamente deshidratado, hasta obtener 700 mg. de peso total agitándose de nuevo por 30 seg. con la finalidad de homogenizar la muestra. Se tomaron 300 mg. de la mezcla y se pasaron a la prensa hidráulica aplicándose 20000 libras de presión a vacío para obtener la pastilla. Se procedió a analizar la pastilla en un espectrofotómetro Laser Precision Analytical, Model RFX-75.

### ANALISIS ESTADISTICO

Se empleo el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de Rango Múltiple de Tuckey.



## RESULTADOS

### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.

#### *Análisis de la flora microbiana adherida a la muestra*

No se observaron amplias variaciones para la cuenta microbiana en placa de los microorganismos adheridos a los plásticos sintéticos y biodegradables respecto a los distintos formulados y fechas de colecta, para los ambientes estudiados. Sin embargo sí se observó diferencia en la adherencia de microorganismos a los formulados respecto a los distintos ambientes, siendo el orden decreciente de adhesión para composta, agua y suelo respectivamente.

En el experimento en composta el mayor número de microorganismos para el formulado F7 fué de  $13.6 \times 10^6$  UFC/cm<sup>2</sup> de muestra a los 28 días del experimento para el F3 el mayor número fué de  $13.3 \times 10^6$  UFC/cm<sup>2</sup> a las 21 días. Dentro de los formulados sintéticos el F9 inició con una alta cantidad de microorganismos adheridos ( $10.3 \times 10^6$ ), pero al final del tratamiento la cantidad disminuyó. Para el formulado F10 no se detectaron las cuentas (Tabla 2).

Para el experimento en agua las UFC se presentaron en cantidades similares para todos los formulados a lo largo de todo el período de estudio. El F3 mostró un número de  $3.3 \times 10^6$  UFC a los 45 días del experimento mientras que el F7 presentó  $1.3 \times 10^6$  UFC para este mismo período. Dentro de los formulados sintéticos el F9 presentó  $1.3 \times 10^5$  UFC a los 45 días y únicamente el F10 presentó el mayor número de microorganismos ( $2.24 \times 10^6$ ) al inicio del tratamiento, esto es a los 7 días de estudio (Tabla 3).

En el experimento en suelo al igual que en agua el número de UFC/cm<sup>2</sup> de muestra no varió en cantidad considerable a lo largo del estudio presentándose el mayor número para el F7 con  $8.4 \times 10^4$  UFC a los 24 días de estudio y  $7 \times 10^4$  UFC a los 71 días para este mismo formulado. El mayor número presentado por el F3 fué de  $3.8 \times 10^4$  a los 85 días del tratamiento. Dentro de de los formulados sintéticos el F10 fué el que obtuvo el mayor número de microorganismos adheridos a la muestra con  $7.6 \times 10^5$  UFC a los 24 días de estudio, mientras que para el F9 el número más alto fue de  $7.9 \times 10^4$  UFC a los 43 días de exposición en dicho ambiente (Tabla 4).

#### *Pruebas de degradación de Quitina e identificación taxonómica*

Se analizarón un total de 140 aislados del total de ecosistemas estudiados para la habilidad de hidrolizar quitina. Mediante pruebas sucesivas en placas se fueron eliminando aquellas cepas que no tuvieron la capacidad de producir quitinasas. Finalmente, de los 140 aislados se obtuvieron 13 cepas quitinolíticas. La identificación de la actividad quitinolítica se hizo mediante la observación de halos de hidrólisis en placas que contenían quitina como única fuente de carbono. Las cepas que registraron actividad quitinolítica fueron sometidas a pruebas bioquímicas para su identificación taxonómica (Fig. 1). Se lograron identificar 5 géneros distintos siendo estos: *Erwinia sp.*, *Providencia rettgeri*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterobacter sp.*, y *Chromobacterium sp.* como organismos quitinolíticos para el total de ecosistemas estudiados (Tabla 5).

#### MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

En el análisis de microscopía electrónica de barrido efectuado a los plásticos obtenidos del experimento en composta después de 7 y 28 días de exposición, se puede observar que los materiales hechos a base de mezclas polímeros sintéticos-quitina presentan una mayor acumulación de

organismos comparado con los plásticos netamente sintéticos (Fig 2).

Para el ambiente de agua en el análisis de microscopía electrónica de barrido efectuado a los plásticos obtenidos después de 7 y 45 días de exposición nuevamente observamos la mayor acumulación de organismos en los materiales hechos a base de mezclas polímeros sintético-naturales, comparado con los plásticos netamente sintéticos (Fig 3).

El análisis de microscopía electrónica de barrido para los plásticos obtenidos del experimento en suelo al inicio y final del tratamiento (18 y 99 días) reveló que los materiales hechos a base de mezclas polímeros sintéticos-quitina, así como los plásticos netamente sintéticos presentan poca o casi nula acumulación de organismos (Fig 4).

#### PRUEBAS FISICO-MECANICAS

##### *Pérdida en peso.*

El análisis de pérdida en peso de los plásticos expuestos a los ecosistemas estudiados indicó que el F7 mostró mayor porcentaje de pérdida en peso con un promedio de 33.17, 17.92 y 10.52%, seguido por el F3 con 35.24, 8.87 y 3.66% para composta, agua y suelo respectivamente. Los formulados F9 y F10 ganaron peso en un porcentaje de 2.12, 0.83 y 3.17% para el primero y 3.91 y 0.55 para el último en los mismos ambientes, solo que en el ambiente de suelo el F10 perdió peso en un 0.23% (Tabla 6; Figs. 5, 6 y 7).

El análisis estadístico de los valores de peso perdido obtenidos de las repeticiones de cada fecha de colecta para cada formulado bajo el ambiente de composta indicó una diferencia significativa entre los formulados ( $F=131.90$ ;  $gl\ 3$ ;  $P<0.01$ ) (Tabla 7). Para el ambiente de agua, el mismo análisis

también mostró una diferencia significativa entre los formulados para los valores de pérdida en peso ( $F= 74.09$ ; gl, 3;  $P<0.01$ ) (Tabla 9), y bajo el ambiente de suelo obtuvimos resultados similares ( $F= 90.02$ ; gl,3;  $P< 0.01$ ) (Tabla 11).

La prueba de comparación de medias de Tuckey para los formulados sintéticos y biodegradables de la pérdida en peso después del tratamiento en composta mostró la existencia de 3 grupos estadísticos (Tabla 8); para agua 2 grupos estadísticos (Tabla 10) y para suelo 3 grupos estadísticos (Tabla 12).

### *Fuerza de tensión*

Los resultados del análisis para la fuerza de tensión promedio, así como el porcentaje de cambio en dicho parámetro para los plásticos biodegradables y sintéticos antes y después de su exposición en los distintos ambientes de estudio se muestran en la Tabla 13; Figs. 8, 9 y 10.

El porcentaje de disminución promedio en la fuerza de tensión para los plásticos analizados bajo el ambiente de composta, fue de 91.75% para el F3, 66.66% para el F7, 17.78% para el F9 y 16.12% para el F10.

El análisis estadístico de los valores de fuerza de tensión obtenidos de las repeticiones para cada formulado de las muestras al final del tratamiento bajo el ambiente de composta indicó una diferencia significativa entre los formulados ( $F= 9.5299$ ; gl 3;  $P< 0.01$ ) (Tabla 14).

La prueba de comparación de medias de Tuckey para los formulados sintéticos y biodegradables de la fuerza de tensión final después del tratamiento en composta mostró la existencia de 2 grupos estadísticos (Tabla 15).

El porcentaje de disminución promedio en la fuerza de tensión para los plásticos analizados bajo el ambiente de agua, fue de 42.85% para el F3, 49.57% para el F7, mientras que para los controles el F9 presentó un incremento en la fuerza de tensión de 23.32% y el experimentó una disminución de 53.82%.

Para el ambiente de agua, el análisis estadístico de los valores de fuerza de tensión obtenidos de las repeticiones para cada formulado de las muestras al final del tratamiento indicó que no existe diferencia significativa entre los formulados ( $F = .9198$ ; gl 3;  $P < 0.05$ ) (Tabla 16).

La prueba de comparación de medias de Tuckey para los formulados sintéticos y biodegradables de la fuerza de tensión final después del tratamiento en agua mostró la existencia de 1 grupo estadístico (Tabla 17).

El porcentaje de disminución promedio en la fuerza de tensión para los plásticos analizados bajo el ambiente de suelo, fue de 61.64% para el F3, 13.84% para el F7, dentro de los controles el F9 presentó un incremento de 10.89% y el F10 disminuyó en 47.29%.

El análisis estadístico de los valores de fuerza de tensión obtenidos de las repeticiones para cada formulado de las muestras al final del tratamiento en suelo indicó que existe diferencia significativa entre los formulados ( $F = 3.5220$ ; gl 3;  $P < 0.05$ ) (Tabla 18).

La prueba de comparación de medias de Tuckey para los formulados sintéticos y biodegradables de la fuerza de tensión final después del tratamiento en suelo mostró la existencia de 2 grupos estadísticos (Tabla 19).

### *Porcentaje de elongación*

Los resultados del análisis respecto al porcentaje de elongación promedio así como el porcentaje de cambio en dicho parámetro para los

plásticos sintéticos y biodegradables antes y después de su exposición en los distintos ambientes de estudio se muestra en la Tabla 20; Figs. 11, 12 y 13.

El porcentaje de disminución promedio en el porcentaje de elongación bajo el ambiente de composta no fué determinado para el F3 debido a la fracturación de la muestra; para el F7 fué de 88.59%, para el F9 fué de 40.97% y para el F10 fué de 87,88%.

El análisis estadístico de los valores de porcentaje de elongación obtenidos de las repeticiones para cada formulado de las muestras al final del tratamiento en composta indicó que existe diferencia significativa entre los formulados ( $F = 42.3297$ ; gl 2;  $P < 0.01$ ) (Tabla 21).

La prueba de comparación de medias de Tuckey para los formulados sintéticos y biodegradables del porcentaje de elongación después del tratamiento en composta mostró la existencia de 2 grupos estadísticos (Tabla 22).

Bajo el ambiente de agua el porcentaje de elongación disminuyó en 30.8% para el F3, 88.59% para el F7 y 21.72% para el F10, mientras que el F9 presentó un incremento en la elongación de 94.56%

El análisis estadístico de los valores de porcentaje de elongación obtenidos de las repeticiones para cada formulado de las muestras al final del tratamiento en agua indicó que existe diferencia significativa entre los formulados ( $F = 20.7754$ ; gl 3;  $P < 0.01$ ) (Tabla 23).

La prueba de comparación de medias de Tuckey para los formulados sintéticos y biodegradables del porcentaje de elongación después del tratamiento en agua mostró la existencia de 2 grupos estadísticos (Tabla 24).

En cuanto al ambiente de suelo el porcentaje de elongación disminuyó en un 61.6% para el F3, 88.07% para el F7 y 58.06% para el F10; mientras que nuevamente el F9 presentó un incremento en la elongación de 35.15%.

El análisis estadístico de los valores de porcentaje de elongación obtenidos de las repeticiones para cada formulado de las muestras al final del tratamiento en suelo indicó que existe diferencia significativa entre los formulados ( $F = 29.1639$ ;  $gl\ 3$ ;  $P < 0.01$ ) (Tabla 25).

La prueba de comparación de medias de Tuckey para los formulados sintéticos y biodegradables del porcentaje de elongación después del tratamiento en suelo mostró la existencia de 2 grupos estadísticos (Tabla 26).

## PARAMETROS AMBIENTALES

### *Determinación de Humedad, Temperatura y pH para los distintos ecosistemas de estudio.*

Los valores de tales parámetros para el experimento en composta se muestran en la Tabla 27, de aquí se registraron los promedios de las distintas fechas de colecta, siendo estos: pH 7; temperatura 33.30 °C y humedad relativa de 72.59%. Para el ecosistema agua los promedios fueron: pH de 8.37 y temperatura de 18.5 °C (Tabla 28); mientras que en suelo el pH promedio fue de 7.63 y la humedad relativa de 0.39% (Tabla 29).

## PRUEBAS QUIMICAS

### *Análisis por espectroscopía de Infrarrojo por Transformadas de Fourier (IRTF)*

Los espectros de absorción de los polímeros biodegradables (F3 y F7) al día cero se muestran en las Figs. 14 (A) y 15 (A). Se presentó una banda de absorción amplia correspondiente al grupo OH a 3400  $\text{cm}^{-1}$ , una banda menor a 2921  $\text{cm}^{-1}$  y un juego de bandas de absorción fuerte, característico del grupo C-O, entre 960 y 1190  $\text{cm}^{-1}$ , además de una banda de absorción a 1654  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente al grupo amida.

Los espectros de absorción del formulado F3 después de exponerse a los ambientes de agua y suelo se muestran en la Fig. 14 (B y C), donde se puede observar que para el ambiente de agua se presentó un aumento en la región correspondiente al grupo OH, mientras que para la región amida hubo una ligera disminución en la proporción de los picos característicos de este grupo. Bajo el ambiente de suelo no se presentó ningún cambio esencial en las bandas de absorción de los grupos de interés a lo largo de todo el período de estudio.

Los espectros de absorción del formulado F7 después de exponerse a los ambientes de agua y suelo se muestran en la Fig. 15 (B y C), donde se puede observar que bajo el ambiente de agua la banda de absorción característica del grupo C-O, la banda correspondiente al grupo amida, así como la banda correspondiente al grupo OH presentaron una disminución después del tratamiento en este ecosistema. Sin embargo bajo el ambiente de suelo no se presentaron cambios esenciales para ninguna de estas regiones a excepción de la región OH que presentó un aumento en la banda de absorción característica de este grupo.

Los espectros de infrarrojo de los plásticos control [F9 (PEBD) y F10 (EAA)] antes de los distintos tratamientos, se muestran en las Figs. 16 (A) y 17 (A). Se pudo observar en el espectro de PEBD, bandas estrechas de absorción características de los enlaces C-H a 2851 y 2921  $\text{cm}^{-1}$ , una banda delgada correspondiente al mismo tipo de enlace a 1468  $\text{cm}^{-1}$ ; y una pequeña banda a 721  $\text{cm}^{-1}$ . El espectro de EAA, fué muy similar al de PEBD distinguiéndose solamente en una banda estrecha de absorción a 1705  $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente al enlace C=O y algunas bandas menores correspondientes a la región de la huella digital.



Los espectros de los mismos formulados después de exponerse a los distintos ambientes se muestran en la Fig. 16 (B y C) (F9, composta y suelo) y Fig. 17 (B, C y D) (F10, composta, agua y suelo), donde se puede observar que no se presentó ningún cambio esencial en las bandas de absorción características de estos polímeros después de los diferentes períodos de estudio.

TABLA 2.- CUENTA MICROBIANA EN PLACA DE LOS MICROORGANISMOS ADHERIDOS A LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA

MUESTREO (DIAS)	PROMEDIO UFC/Cm <sup>2</sup> DE MUESTRA FORMULADOS			
	F3	F7	F9	F10
7	ND	3X10 <sup>6</sup>	10.3X10 <sup>6</sup>	ND
14	ND	3X10 <sup>6</sup>	7.7X10 <sup>6</sup>	ND
21	13.3X10 <sup>6</sup>	5.25X10 <sup>6</sup>	3.1X10 <sup>6</sup>	12.25X10 <sup>6</sup>
28	6.6X10 <sup>6</sup>	13.6X10 <sup>6</sup>	3.6X10 <sup>6</sup>	ND

ND. NO DETECTADO. PLACAS CON MENOS DE 30 O MAS DE 300 COLONIAS  
LOS DATOS REPRESENTAN EL PROMEDIO DE TRES REPLICAS

TABLA 3. - CUENTA MICROBIANA EN PLACA DE LOS MICROORGANISMOS ADHERIDOS A LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA

MUESTREO (DIAS)	PROMEDIO UFC/Cm <sup>2</sup> DE MUESTRA FORMULADOS			
	F3	F7	F9	F10
7	1.65X10 <sup>6</sup>	2.4X10 <sup>5</sup>	ND	2.24X10 <sup>6</sup>
14	ND	3.7X10 <sup>4</sup>	ND	ND
21	1.6X10 <sup>5</sup>	ND	ND	ND
28	ND	ND	1.3X10 <sup>5</sup>	ND
35	8.8X10 <sup>4</sup>	ND	ND	ND
45	3.3X10 <sup>6</sup>	1.3X10 <sup>6</sup>	1.3X10 <sup>5</sup>	2.3X10 <sup>5</sup>

ND. NO DETECTADO. PLACAS CON MENOS DE 30 O MAS DE 300 COLONIAS  
LOS DATOS REPRESENTAN EL PROMEDIO DE TRES REPLICAS

**TABLA 4.- CUENTA MICROBIANA EN PLACA DE LOS MICROORGANISMOS ADHERIDOS A LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO.**

MUESTREO (DIAS)	PROMEDIO UFC/Cm <sup>2</sup> DE MUESTRA FORMULADOS			
	F3	F7	F9	F10
19	3.7X10 <sup>4</sup>	ND	ND	5.9X10 <sup>4</sup>
24	1.2X10 <sup>5</sup>	8.4X10 <sup>4</sup>	4X10 <sup>4</sup>	7.6X10 <sup>5</sup>
43	ND	3.8X10 <sup>4</sup>	7.9X10 <sup>4</sup>	4.8X10 <sup>4</sup>
57	ND	ND	ND	ND
71	2.2X10 <sup>4</sup>	7X10 <sup>4</sup>	ND	4.4X10 <sup>4</sup>
85	3.8X10 <sup>4</sup>	ND	3X10 <sup>4</sup>	2.5X10 <sup>4</sup>
99	ND	3.2X10 <sup>4</sup>	ND	ND

ND. NO DETECTADO. PLACAS CON MENOS DE 30 O MAS DE 300 COLONIAS  
 LOS DATOS REPRESENTAN EL PROMEDIO DE TRES REPLICAS

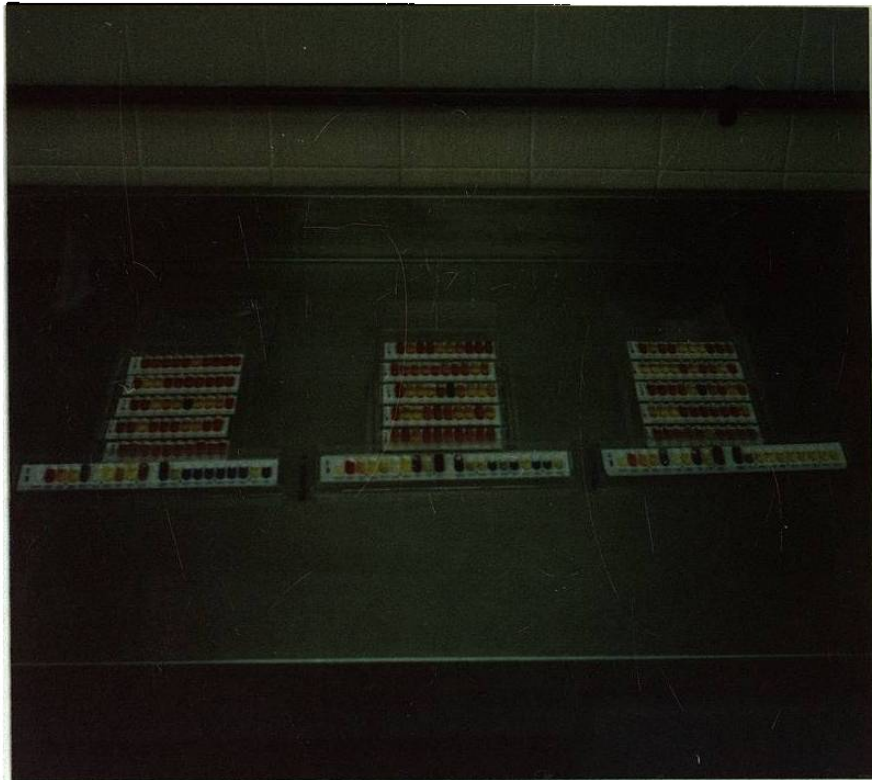
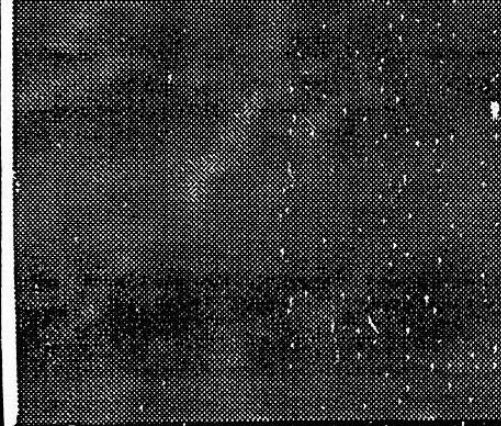
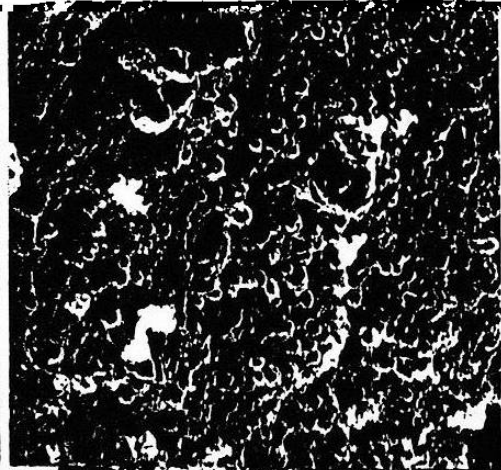


FIG. 1.- FOTOGRAFIA QUE MUESTRA LOS RESULTADOS DE PRUEBAS BIOQUIMICAS PARA LA IDENTIFICACION DE MICROORGANISMOS CON CAPACIDAD QUITINASA, AISLADOS DE COMPOSTA, AGUA Y SUELO.

TABLA 5.- GENEROS IDENTIFICADOS CON ACTIVIDAD QUITINASA RECUPERADOS DE PLASTICOS BIODEGRADABLES EXPUESTOS A LOS AMBIENTES DE COMPOSTA, AGUA Y SUELO.

AMBIENTE	GÉNERO
Agua	<i>Erwinia sp.</i>
Composta	<i>Providencia rettgeri</i>
Agua	<i>Aeromonas hydroiphila</i>
Agua	<i>Enterobacter sp</i>
Composta	<i>Chromobacterium sp.</i>

**FIG. 2.- FOTOGRAFIA DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO MOSTRANDO LA ADHESION DE MICROORGANISMOS EN FORMULADOS BIODEGRADABLES (F3 y F7) Y SINTETICOS (F9 y F10) A LOS 7 DIAS (A) Y 28 DIAS (B) DE EXPOSICION AL AMBIENTE DE COMPOSTA. 2000X.**



F3

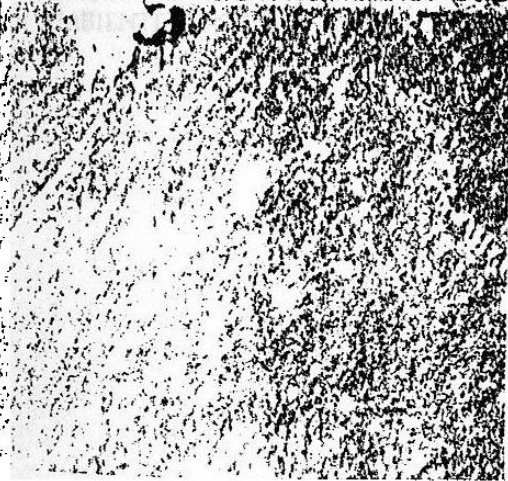
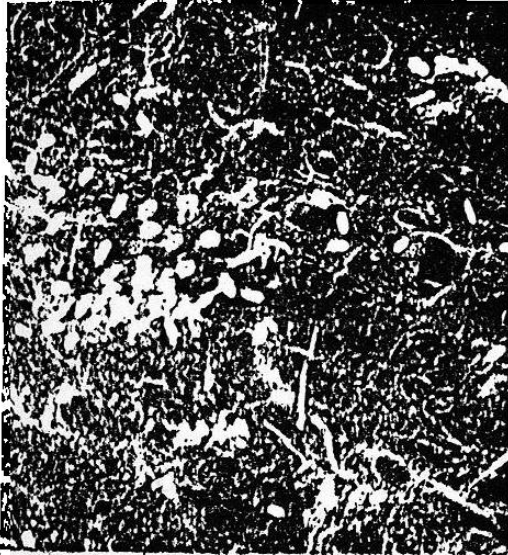
F7

F9

F10

FIG. 3.- FOTOGRAFIA DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO MOSTRANDO LA ADHESION DE MICROORGANISMOS EN FORMULADOS BIODEGRADABLES (F7) Y SINTETICOS (F9) A LOS 7 DIAS (A) Y 45 DIAS (B) DE EXPOSICION AL AMBIENTE DE AGUA. 2000X.

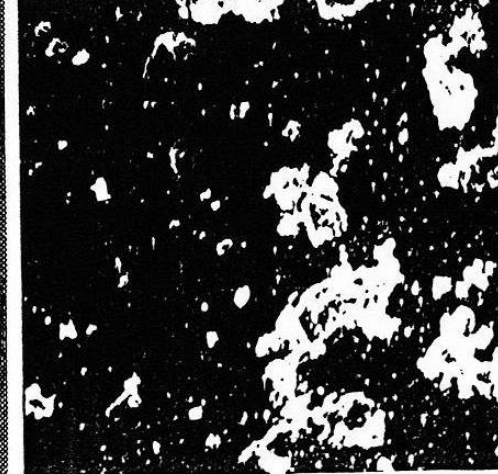
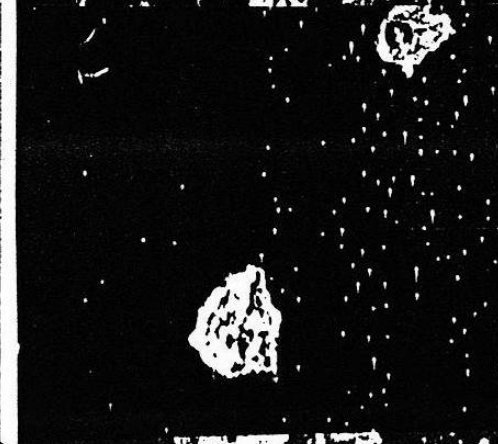
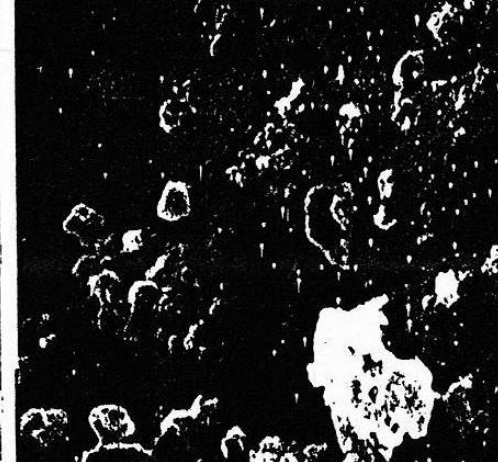
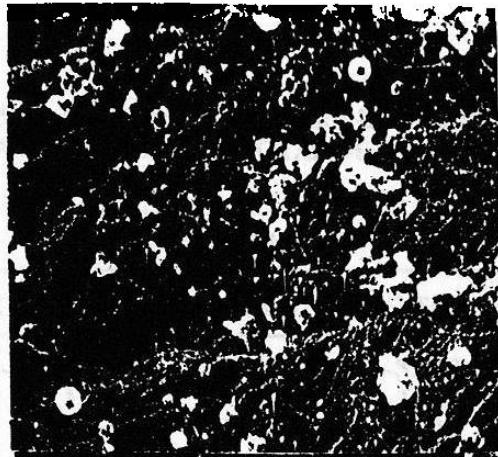
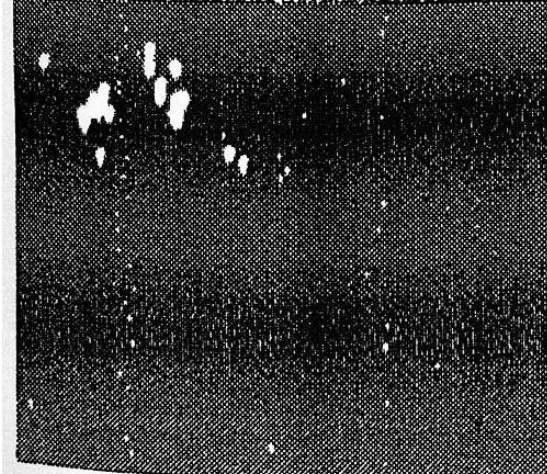
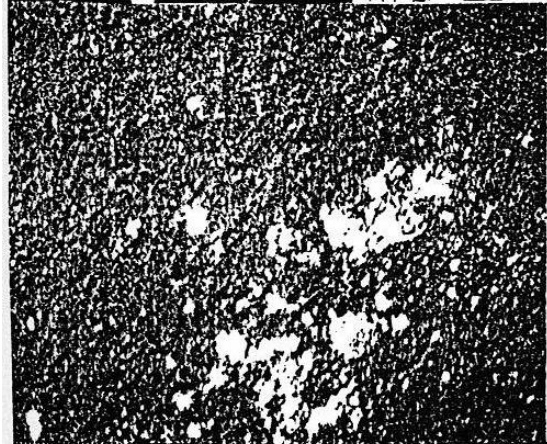
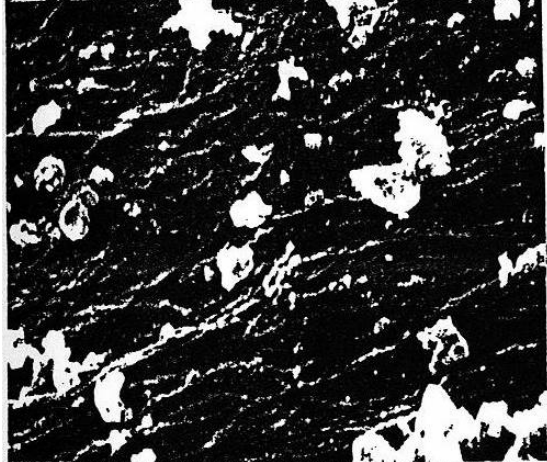
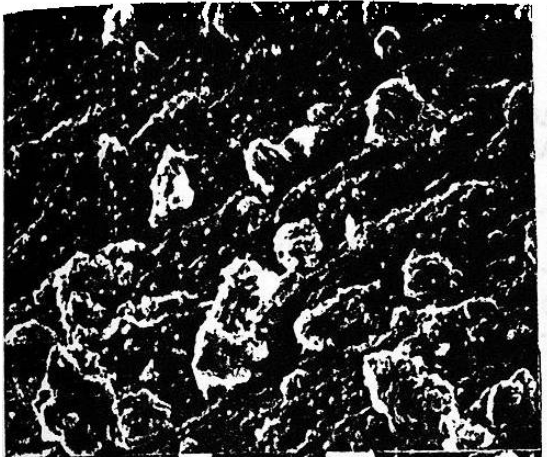




F7

F9

**FIG. 4.- FOTOGRAFIA DE MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO MOSTRANDO LA ADHESION DE MICROORGANISMOS EN FORMULADOS BIODEGRADABLES (F3 y F7) Y SINTETICOS (F9 y F10) A LOS 18 DIAS (A) Y 99 DIAS (B) DE EXPOSICION AL AMBIENTE DE SUELO. 2000X.**



F3

F7

F9

F10

**TABLA 6.- PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PROMEDIO PARA LOS PLASTICOS  
 SINTETICOS Y BIODEGRADABLES ANALIZADOS BAJO EL TOTAL DE TRATAMIENTOS**

FORMULADO	ECOSISTEMA		
	COMPOSTA	AGUA	SUELO
F3	-35.24%	-8.87%	-3.66%
F7	-33.17	-17.92	-10.52
F9	+2.12	+0.83	+3.17
F10	+3.91	+0.55	-0.23

(-) Pérdida  
 (+) Ganancia

**TABLA 7.- ANALISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA EN PESO DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA**

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	0.2388	0.0796	131.9069	<0.01
Dentro grupos	45	0.0272	0.0006		
Total	48	0.2660			

**TABLA 8.- DIFERENCIA EN PESO DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA**

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	-0.1658 $\pm$ 0.0139	A
F7	-0.1031 $\pm$ 0.0056	AB
F9	.0012 $\pm$ 0.0005	C
F10	.0023 $\pm$ 0.0006	C

Los datos representan la diferencia en el peso promedio de las diferentes fechas de colecta n= 3  
 Letras iguales no son diferentes significativamente (F = 0.05) (Fba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estándar

1020120834

TABLA 9.- ANALISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA EN PESO DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	0.0400	0.0133	8.5480	<0.01
Dentro grupos	43	0.0670	0.0016		
Total	46	0.1070			

TABLA 10.- DIFERENCIA EN PESO DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	-0.0615 $\pm$ 0.0205	A
F7	-0.0532 $\pm$ 0.0036	A
F9	.0004 $\pm$ 0.0002	B
F10	.0008 $\pm$ 0.0003	B

Los datos representan la diferencia en el peso promedio de las diferentes fechas de colecta n= 3  
 Letras iguales no son diferentes significativamente (P = 0.05) ( Fba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estandar

TABLA 11.- ANALISIS DE VARIANZA DE LA DIFERENCIA EN PESO DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	0.0142	0.0047	90.0269	<0.01
Dentro grupos	74	0.0039	0.0001		
Total	77	0.0181			

TABLA 12.- DIFERENCIA EN PESO DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	-0.0187 $\pm$ 0.0017	A
F7	-0.316 $\pm$ 0.0025	B
F9	.0007 $\pm$ 0.0004	C
F10	.00133 $\pm$ 0.0017	C

Los datos representan la diferencia en el peso promedio de las diferentes fechas de colecta  $n=3$   
 Letras iguales no son diferentes significativamente ( $P = 0.05$ ) (Pba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estandar

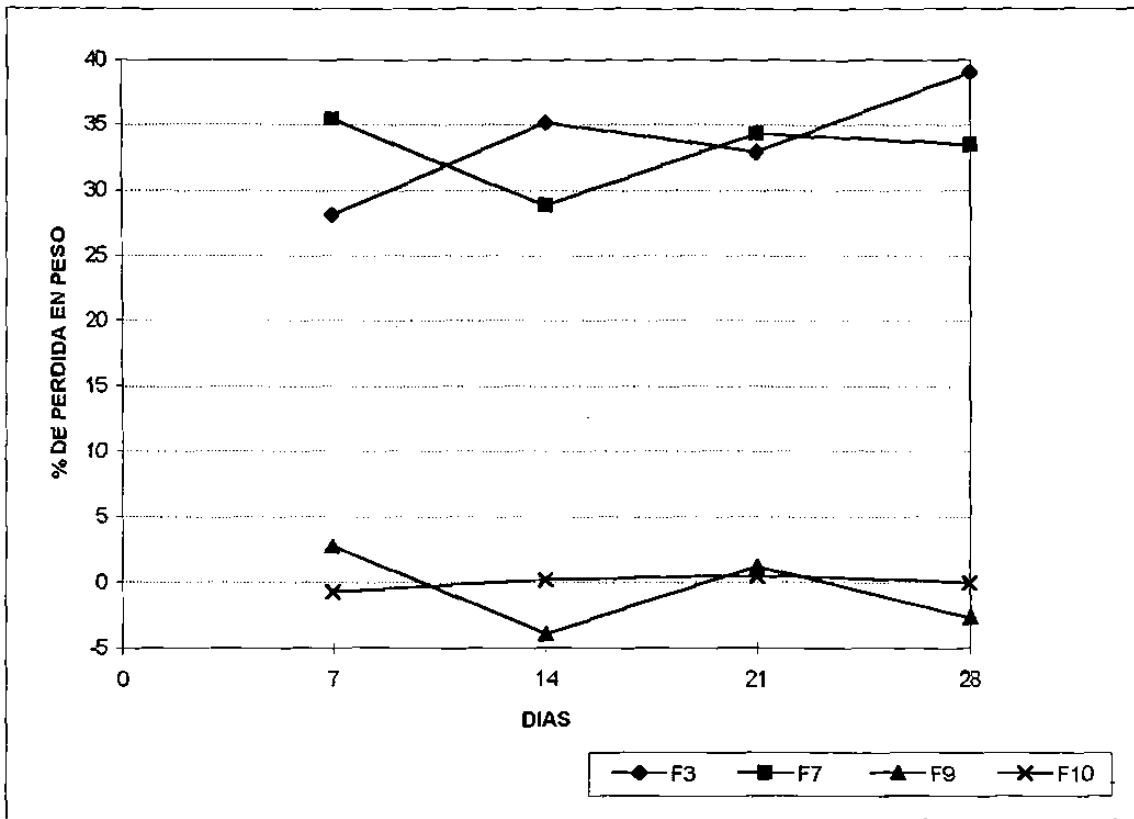


FIG. 5.- PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS BAJO EL TRATAMIENTO EN COMPOSTA



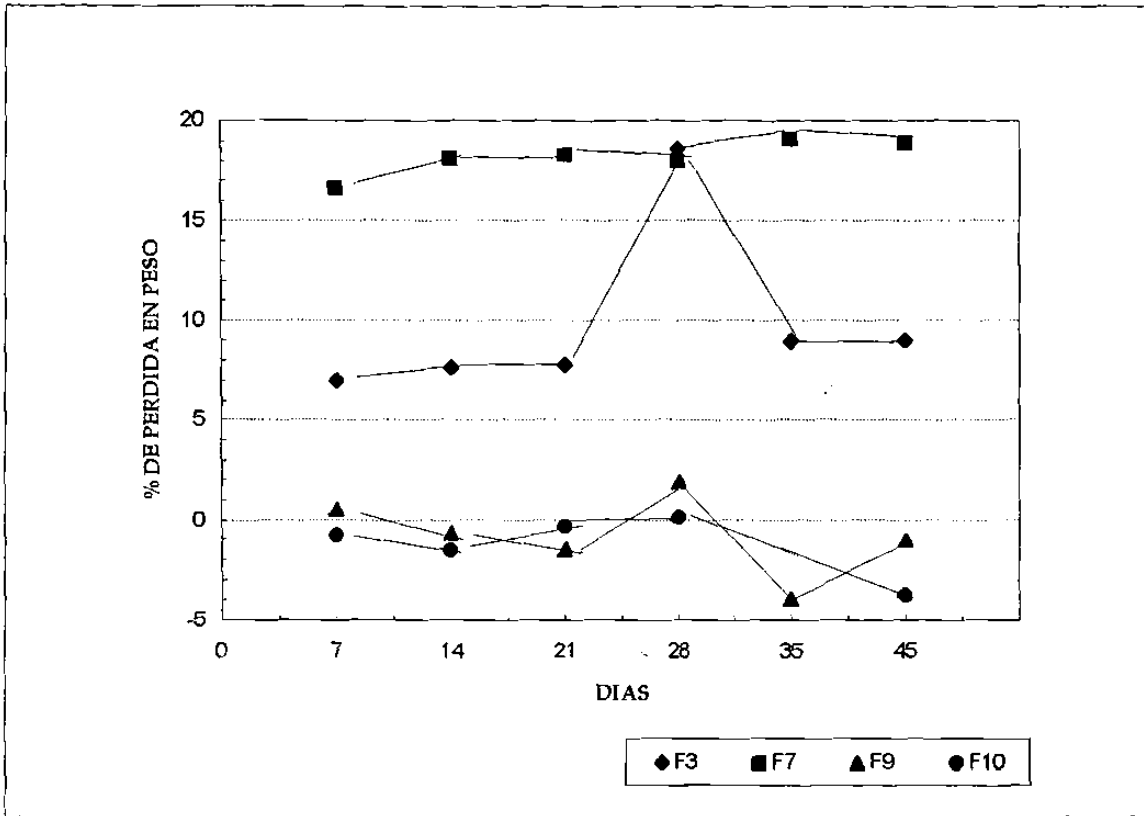


FIG. 6.- PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS BAJO EL TRATAMIENTO EN AGUA.

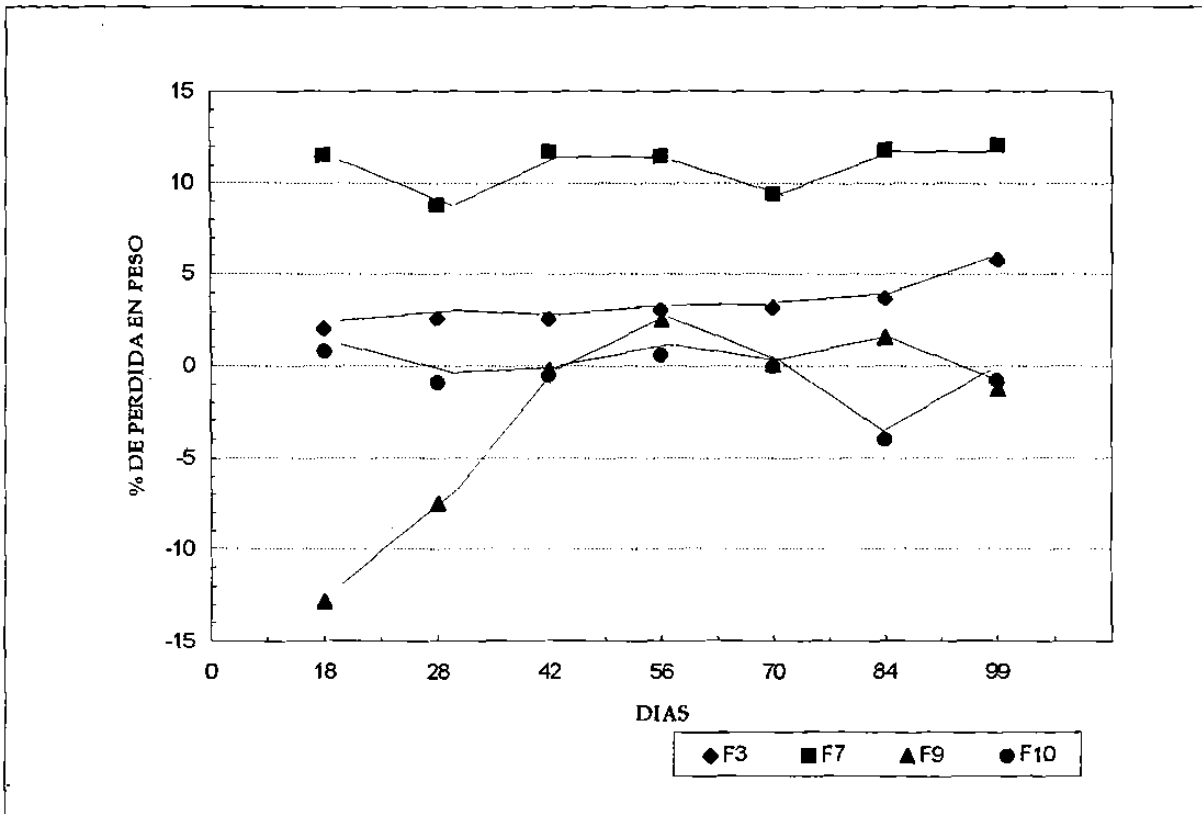


FIG. 7.- PORCIENTO DE PERDIDA EN PESO PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS BAJO EL TRATAMIENTO EN SUELO.

**TABLA 13.- FUERZA DE TENSION PROMEDIO Y PORCIENTO DE CAMBIO PARA LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES AL INICIO Y FINAL DE CADA TRATAMIENTO.**

FORMULADO	FUERZA DE TENSION *			
	INICIAL (% DE FT)	FINAL (% DE CAMBIO EN FT)		
	DIA 0	DIA 29 COMPOSTA	DIA 45 AGUA	DIA 99 SUELO
F3	36.4 (100)	5.4 (91.75)	20.8 (42.85)	13.96 (61.64)
F7	11.7 (100)	3.9 (66.66)	5.9 (49.57)	10.08 (13.84)
F9	5.23 (100)	4.3 (17.78)	6.45 (+23.32)	5.8 (+10.89)
F10	22.2 (100)	18.62 (16.12)	10.25 (53.82)	11.7 (47.29)

\*Newtons

(+) = Ganancia en la Fuerza de tensión

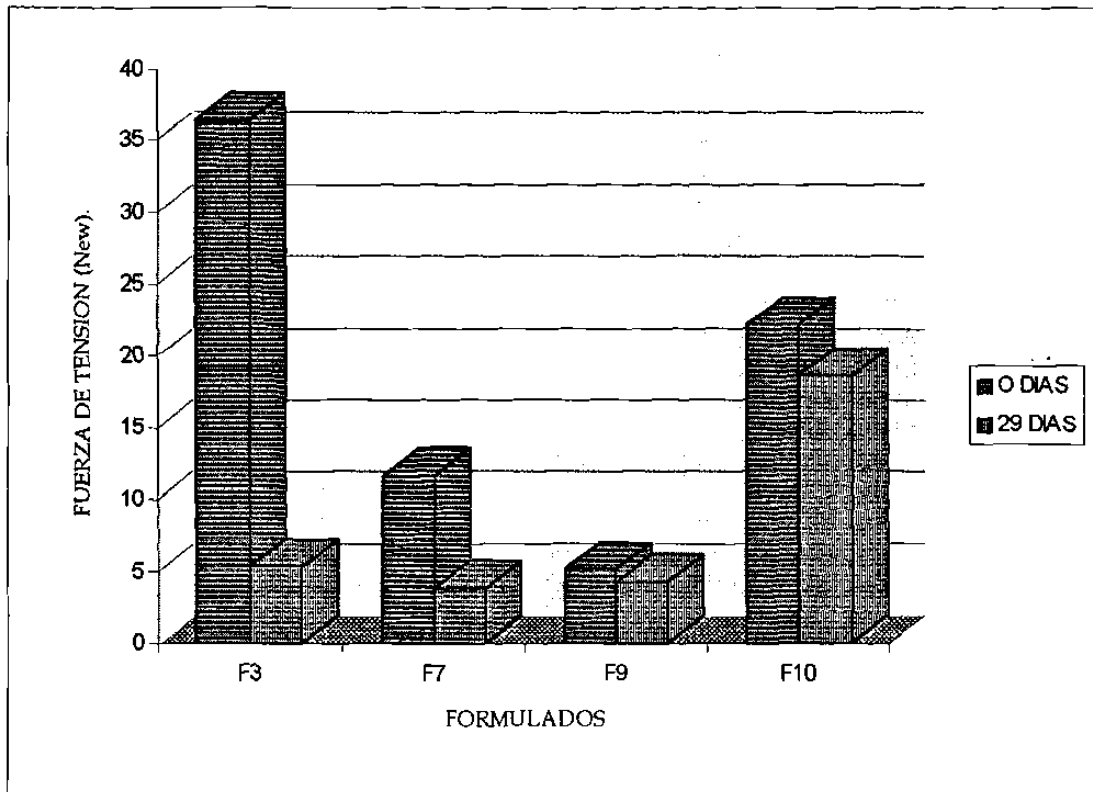


FIG. 8.- FUERZA DE TENSION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA.

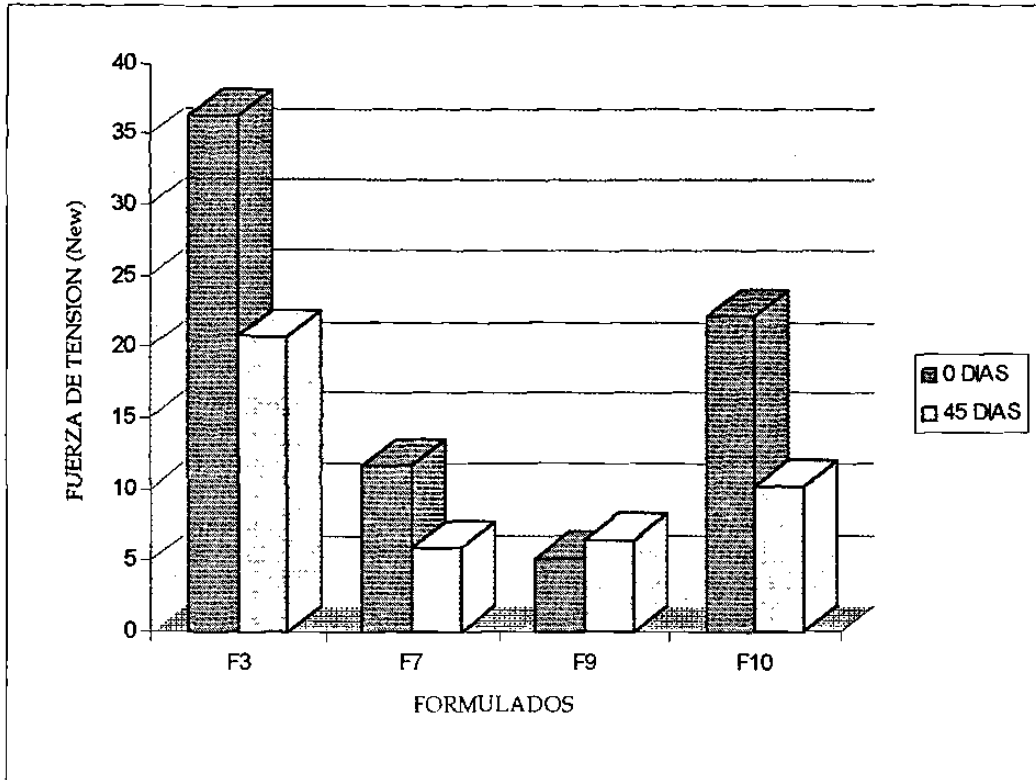


FIG. 9.- FUERZA DE TENSION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGU'A.

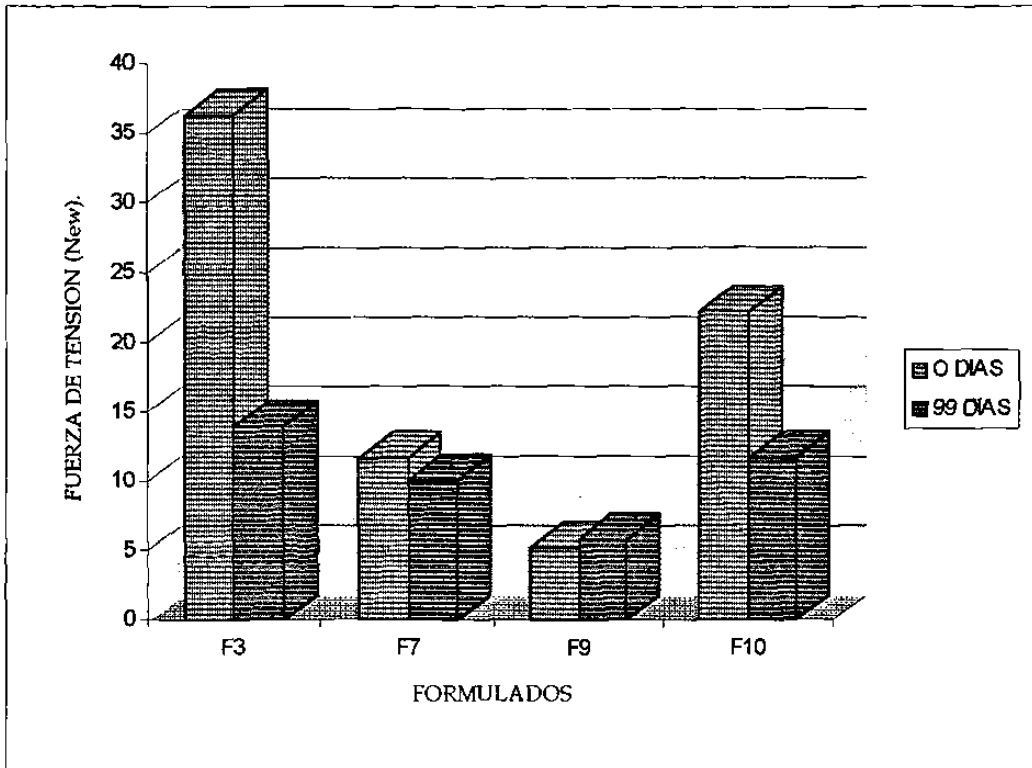


FIG. 10.- FUERZA DE TENSION PROMEDIO PARA EL TOTAL DE FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO.

TABLA 14.- ANALISIS DE VARIANZA DE LA FUERZA DE TENSION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	730.94	243.64	9.53	<0.01
Dentro grupos	12	306.80	25.57		
Total	15	1037.75			

TABLA 15.- DIFERENCIA EN LA FUERZA DE TENSION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	3.0000 $\pm$ 0.000	A
F7	3.9000 $\pm$ 1.0716	A
F9	4.3333 $\pm$ .3293	A
F10	18.6200 $\pm$ 3.8064	AB

Los datos representan la diferencia en la fuerza de tensión de la última fechas de colecta n= 4  
 Letras iguales no son diferentes significativamente (P = 0.05) (Pba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estandar

TABLA 16.- ANALISIS DE VARIANZA DE LA FUERZA DE TENSION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	333.1988	111.0663	0.9198	>0.05
Dentro grupos	4	483.0100	120.7525		
Total	7	816.2088			

TABLA 17.- DIFERENCIA DE LA FUERZA DE TENSION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	20.8000 $\pm$ 8.9495	A
F7	5.9000 $\pm$ 0.3500	A
F9	6.4500 $\pm$ 1.0500	A
F10	10.2500 $\pm$ 3.8177	A

Los datos representan la diferencia en la fuerza de tensión de la última fecha de colecta  $n=4$   
 letras iguales no son diferentes significativamente ( $P = 0.05$ ) (Pta. de Tuckey).  
 E.E. = Error estandar



**TABLA 18.- ANALISIS DE VARIANZA DE LA FUERZA DE TENSION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO**

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	129.8747	43.2916	3.5220	<0.01
Dentro grupos	13	159.7947	12.2919		
Total	16	289.2919			

**TABLA 19.- DIFERENCIA EN LA FUERZA DE TENSION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO**

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	13.9667 $\pm$ 3.8255	A
F7	10.0800 $\pm$ 1.1521	B
F9	5.8000 $\pm$ 1.0732	B
F10	11.6000 $\pm$ 1.2574	B

Los datos representan la diferencia en la fuerza de tensión de la última fecha de colecta n= 4  
 Letras iguales no son diferentes significativamente (P = 0.05) (Pba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estandar

TABLA 20.- PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO Y % DE CAMBIO PARA LOS PLASTICOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES AL INICIO Y FINAL DE CADA TRATAMIENTO

FORMULADO	PORCIENTO DE ELONGACION			
	INICIAL (% E)	FINAL (% DE CAMBIO EN %E)		
	DIA 0	DIA 29 COMPOSTA	DIA 45 AGUA	DIA 99 SUELO
F3	2.5 (100)	0 (100)	1.73 (30.8)	0.96 (61.6)
F7	28.63 (100)	1.3 (88.59)	1.3 (88.59)	1.36 (88.07)
F9	289.26 (100)	123.25 (40.97)	562.8 (+94.56)	390.95 (+35.15)
F10	287.2 (100)	34.8 (87.88)	224.8 (21.72)	136.9 (58.06)

(+)= Ganancia en el porcentaje de elongacion

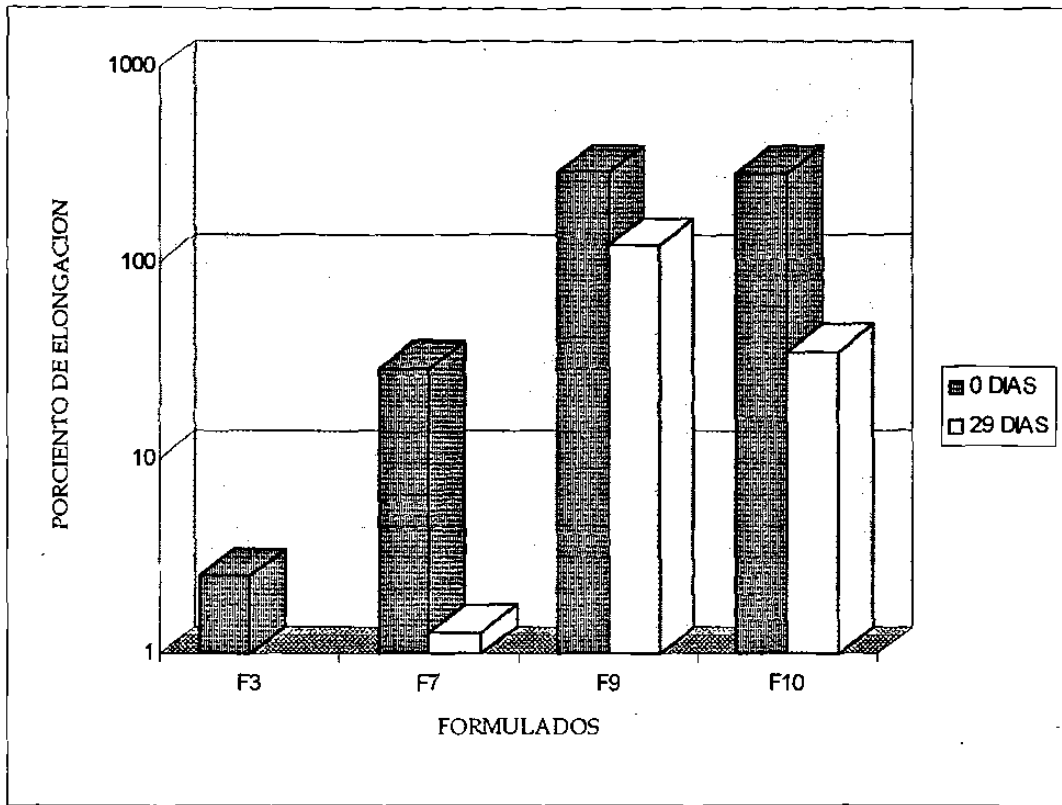


FIG. 11- PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO PARA LOS DISTINTOS FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA.

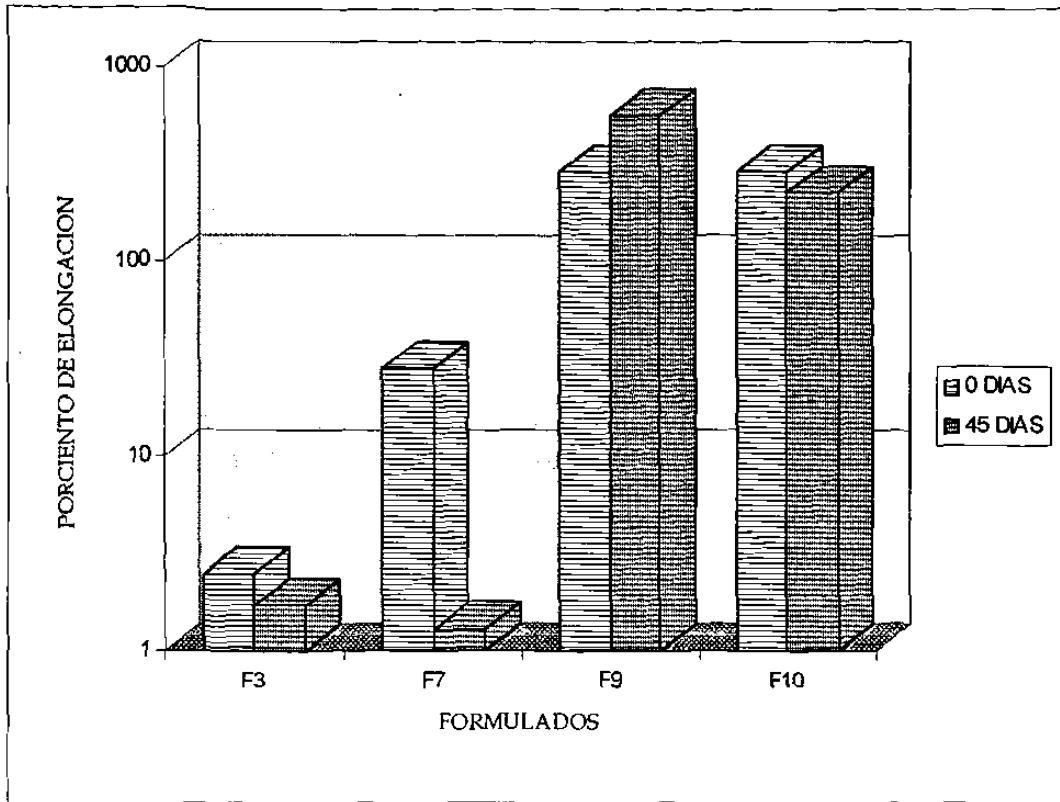


FIG. 12- PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO PARA LOS DISTINTOS FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA.

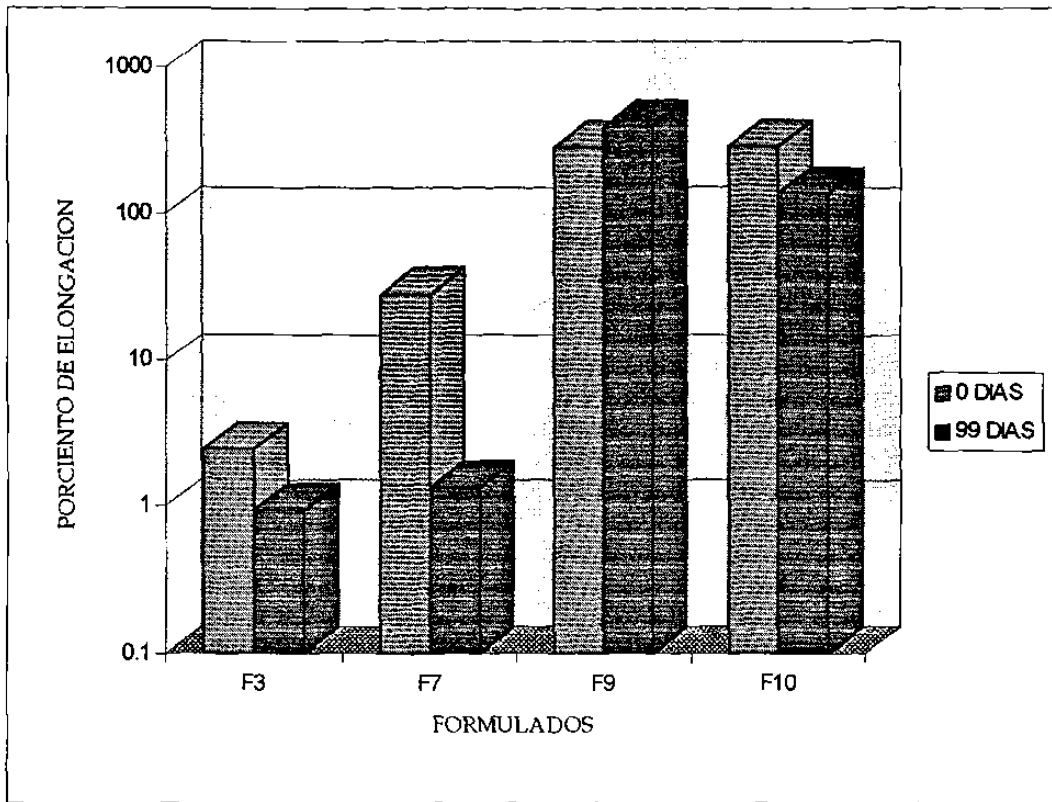


FIG. 13- PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO PARA LOS DISTINTOS FORMULADOS ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO.

TABLA 21.- ANALISIS DE VARIANZA DEL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	2	57629.3073	28814.6537	42.3297	>0.01
Dentro grupos	7	4765.0367	680.7195		
Total	9	62394.3440			

TABLA 22.- DIFERENCIA EN EL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	ND	ND
F7	1.333 $\pm$ .0667	A
F9	170.75 $\pm$ 19.8837	B
F10	34.8000 $\pm$ 1.8556	A

Los datos representan la diferencia en el porcentaje de elongación de la última fecha de colecta n= 3  
 Letras iguales no son diferentes significativamente (P = 0.05) ( Fba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estandar

**TABLA 23.- ANALISIS DE VARIANZA DEL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA**

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	421846.6021	140615.5340	20.7754	>0.01
Dentro grupos	4	27073.4667	6768.3667		
Total	7	448920.0687			

**TABLA 24.- DIFERENCIA EN EL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA**

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	1.7333 $\pm$ 0.3844	A
F7	1.3000 $\pm$ 0	A
F9	562.8000 $\pm$ 27.7000	B
F10	224.8000 $\pm$ 113.000	A

Los datos representan la diferencia en el porcentaje de elongación promedio de las diferentes fechas de colecta n= 6  
 letras iguales no son diferentes significativamente (P = 0.05) (Fba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estándar

TABLA 25.- ANALISIS DE VARIANZA DEL PORCIENTO DE ELONGACION DE LOS DISTINTOS FORMULADOS DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO

FUENTE DE VARIACION	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F. CALC.	PROB. ERROR
Entre grupos	3	405457.4240	135152.4747	29.1639	<0.01
Dentro grupos	13	60245.0807	4634.2370		
Total	16	465702.5047			

TABLA 22.- DIFERENCIA EN EL PORCIENTO DE ELONGACION PROMEDIO DE LOS FORMULADOS SINTETICOS Y BIODEGRADABLES DESPUES DEL TRATAMIENTO EN SUELO

FORMULADO	MEDIA $\pm$ E.E.	GRUPOS ESTADISTICOS
F3	0.9667 $\pm$ 0.4807	A
F7	1.3600 $\pm$ 0.4578	A
F9	390.95 $\pm$ 68.02	B
F10	120.44 $\pm$ 15.34	A

Los datos representan la diferencia en el porciento de elongación promedio de las diferentes fechas de colecta n= 6  
 Letras iguales no son diferentes significativamente (P = 0.05) ( Pba. de Tuckey).  
 E.E. = Error estandar



**TABLA 27.- ANALISIS DE pH, TEMPERATURA Y HUMEDAD PROMEDIO EN LAS DIFERENTES FECHAS DE COLECTA PARA EL EXPERIMENTO EN COMPOSTA**

DIA DE COLECTA	pH	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
0	7.5	39.8	82.54
7	7	35.8	69.15
14	7	33.8	70.53
21	7	30.56	69.24
28	7	26.57	71.53

**TABLA 28.- ANALISIS DE pH Y TEMPERATURA PROMEDIO EN LAS DIFERENTES FECHAS DE COLECTA PARA EL EXPERIMENTO EN AGUA**

DIA DE COLECTA	pH	TEMPERATURA (°C)
0	7.7	22
7	7.62	14
14	8.22	18
21	10.15	22
28	ND	ND
35	8.39	19
42	8.18	16

ND = No determinado

TABLA 29.- ANALISIS DE pH Y HUMEDAD PROMEDIO EN LAS DIFERENTES FECHAS DE COLECTA PARA EL EXPERIMENTO EN SUELO

DIA DE COLECTA	pH	HUMEDAD (%)
42	7.67	0.43
56	7.57	0.31
7	7.88	0.56
84	7.72	0.42
99	7.33	0.23

**TABLA 30.- ANALISIS DE SUELO DEL RELLENO SANITARIO DE SALINAS VICTORIA.**

---

**TIPO DE SUELO:**

---

Arcilla limosa café claro con grumos

**PERFIL ESTRATEGICO GENERAL EJE NORTE:**

Arcilla café y gris con grumos

Arcilla limosa café claro con grumos

Arcilla arenosa café y gris

Grava y boleos cementados

Gravas cementadas

Gravas empacadas en arcilla

Almendrilla arcillosa café con grumos

Lutita arcillosa gris y café

Relleno

Nivel freatico

---

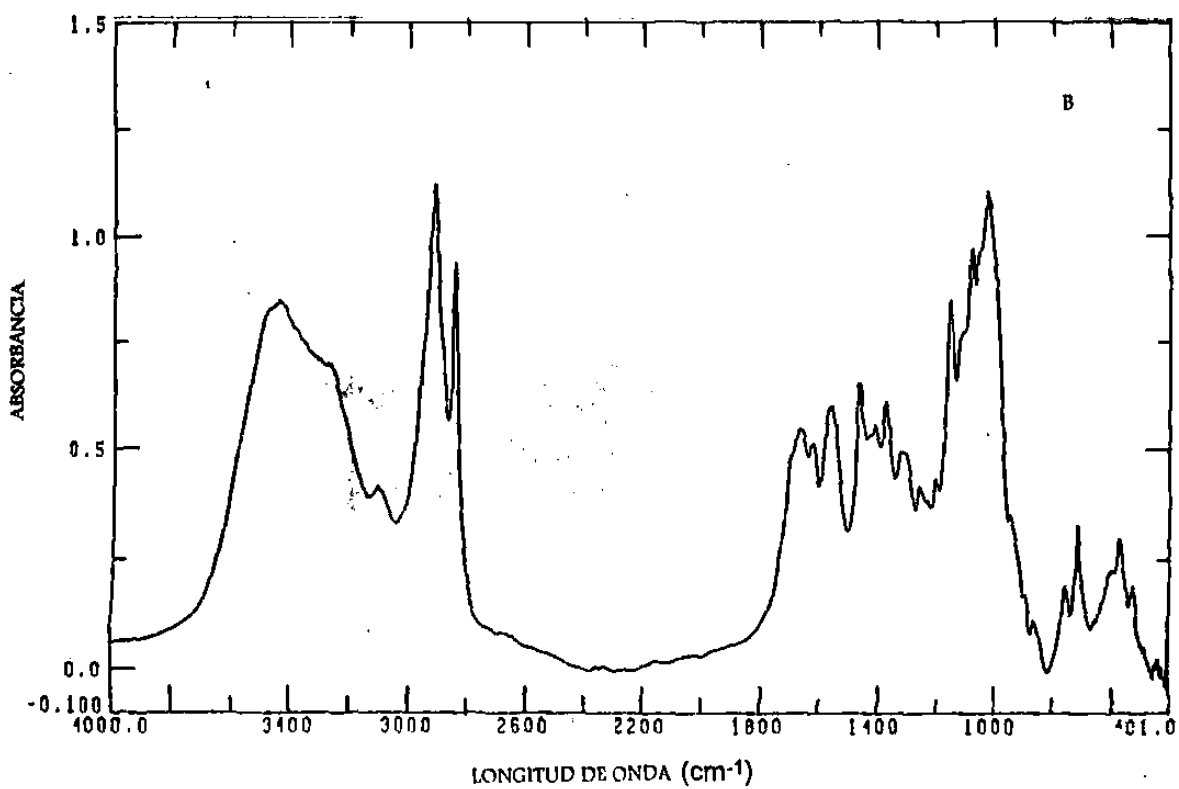
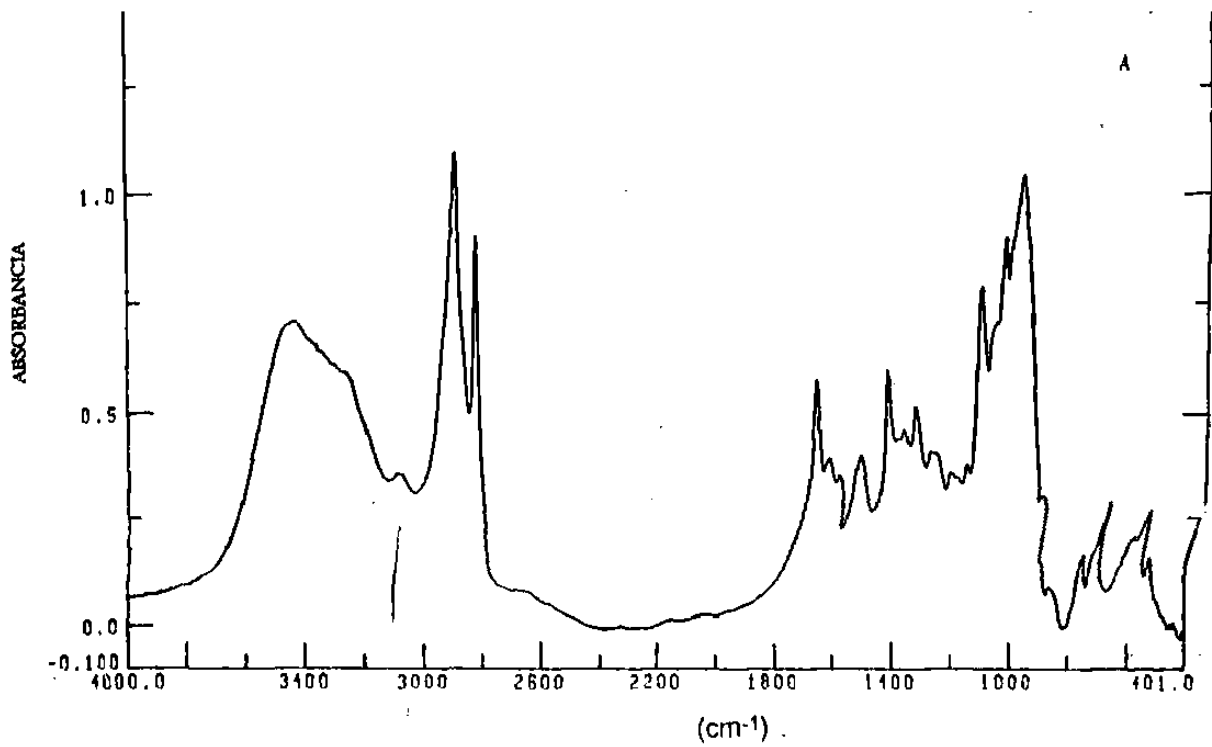


FIG. 14- ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F3 A LC S O DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA (B) Y SUELO (C).

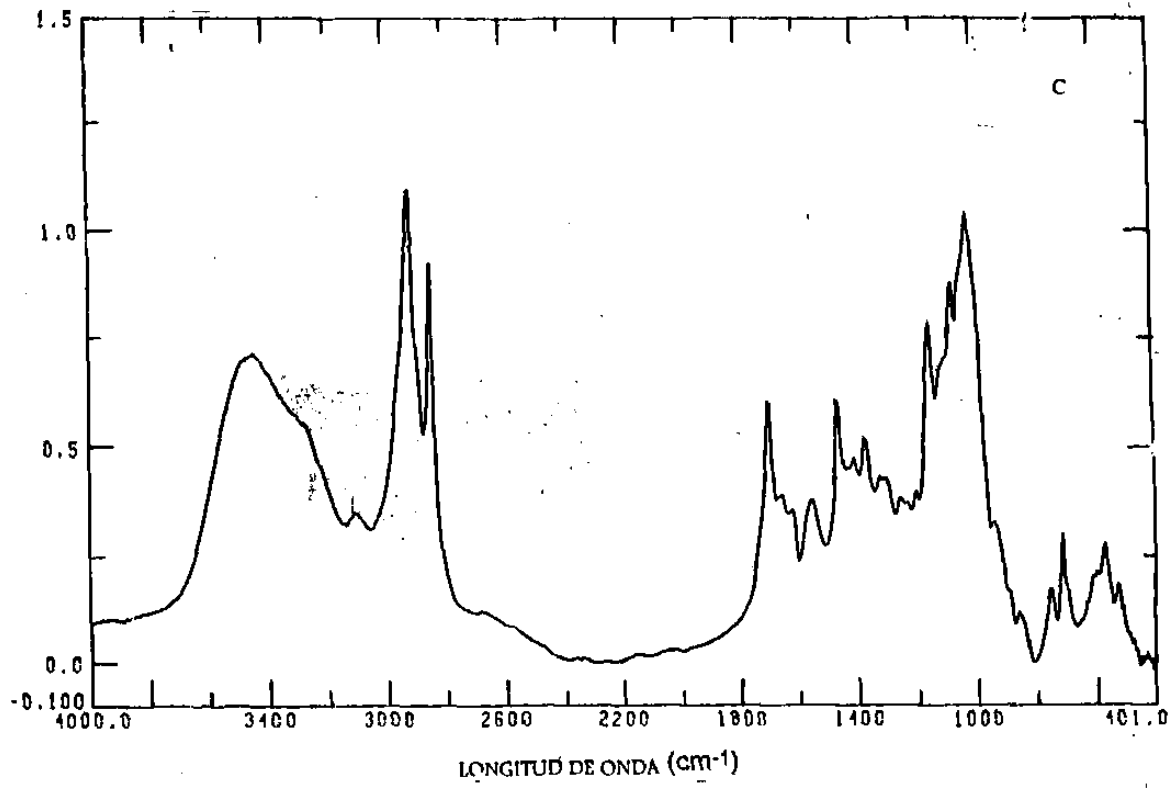
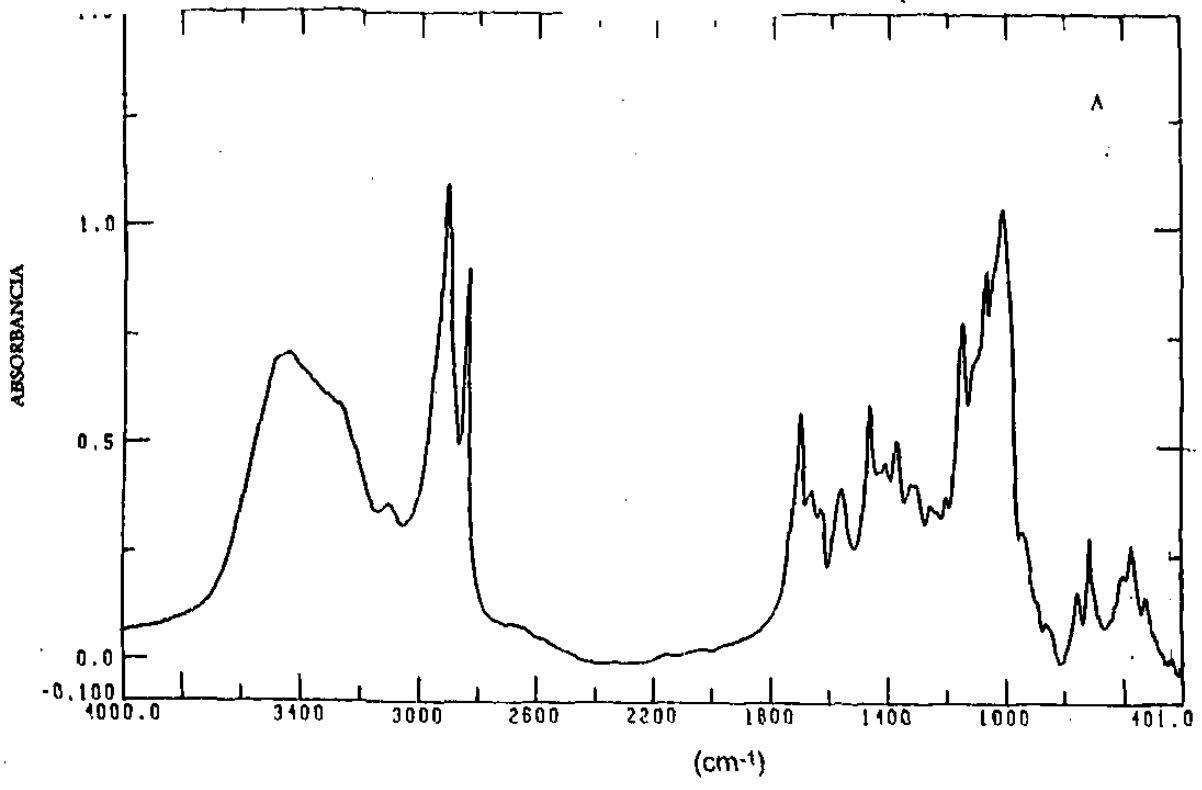


FIG. 14.- CONTINUACION.

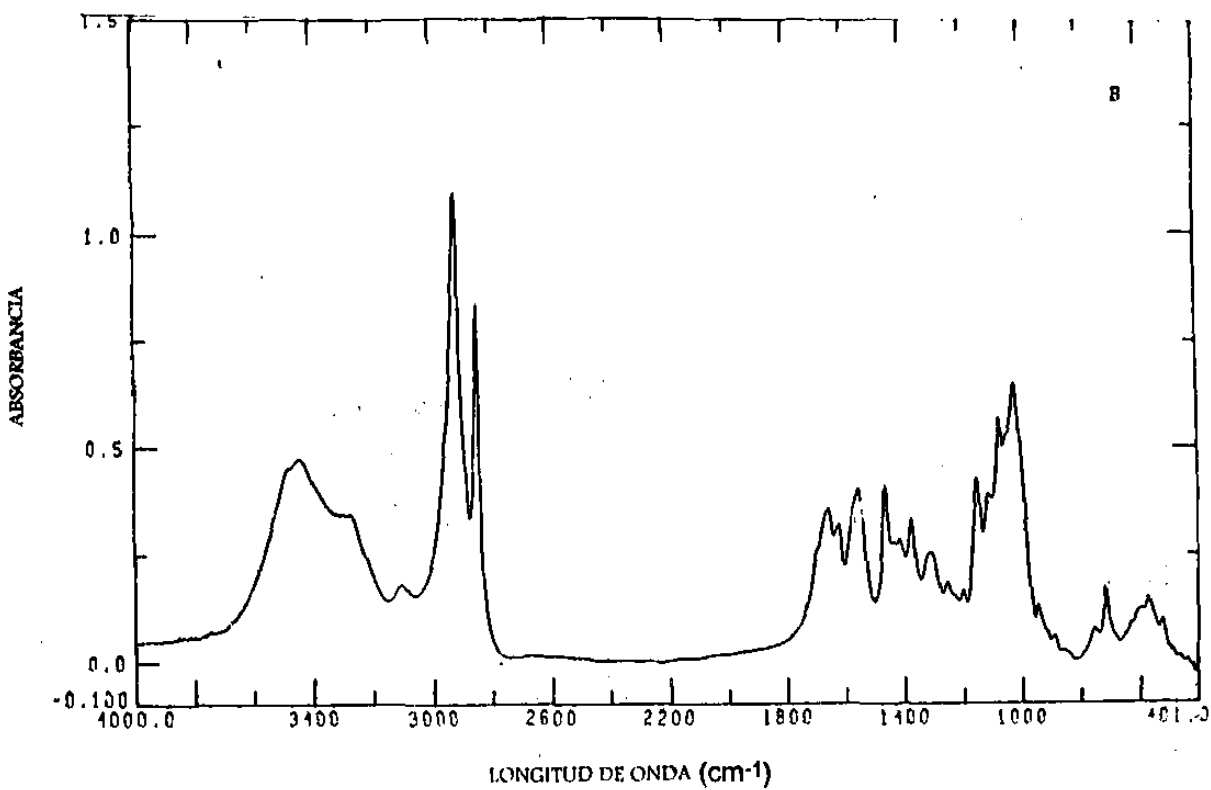
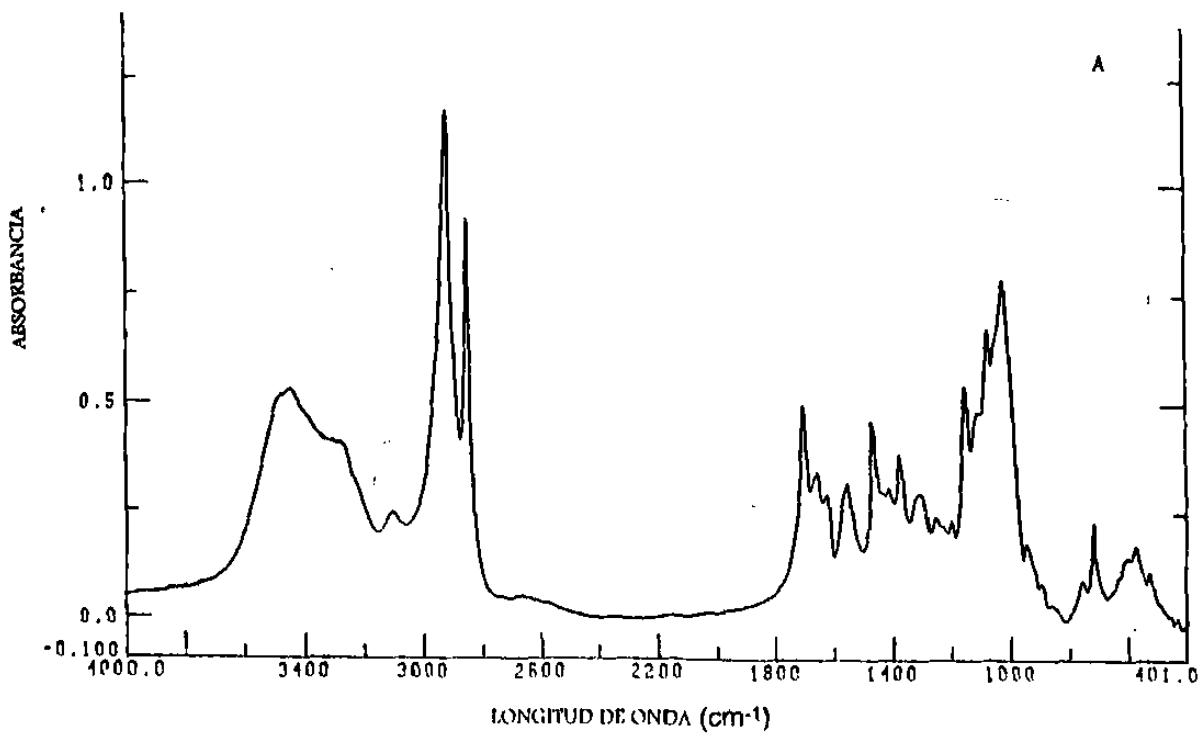


FIG. 15- ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F7 A LOS 0 DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN AGUA (B) Y SUELO (C).

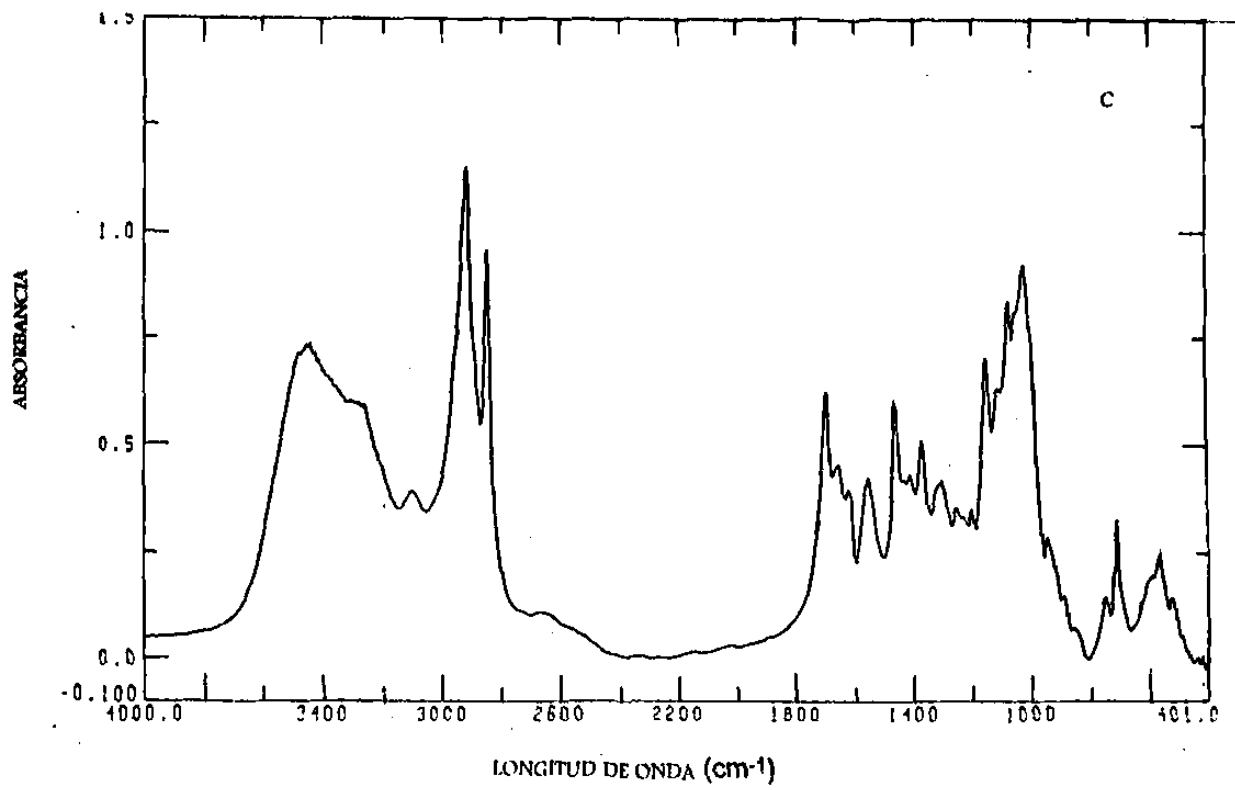
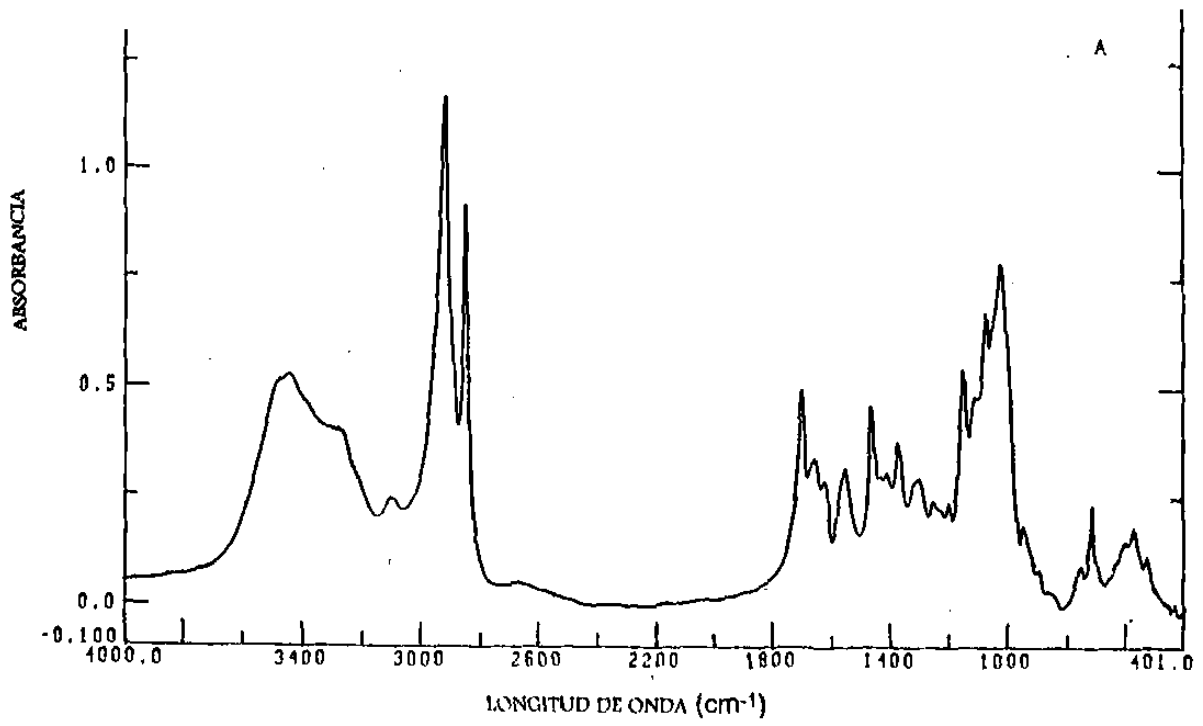


FIG. 15.- CONTINUACION

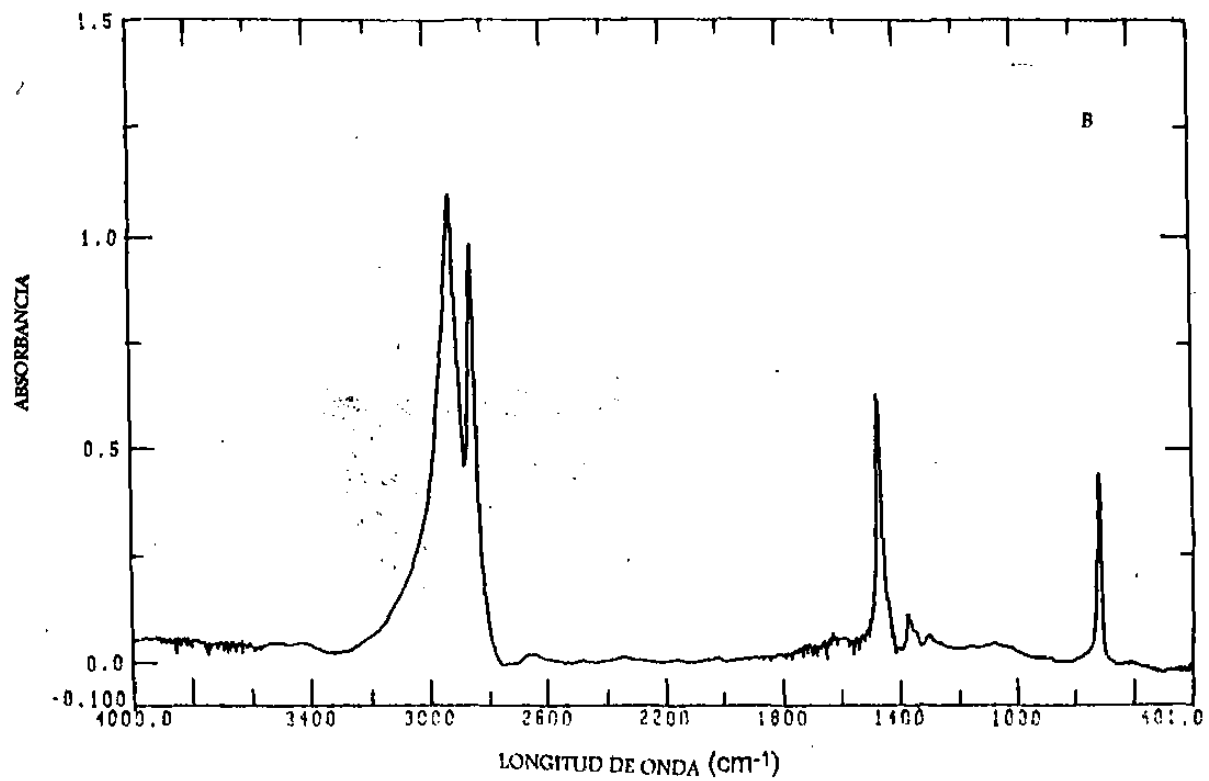
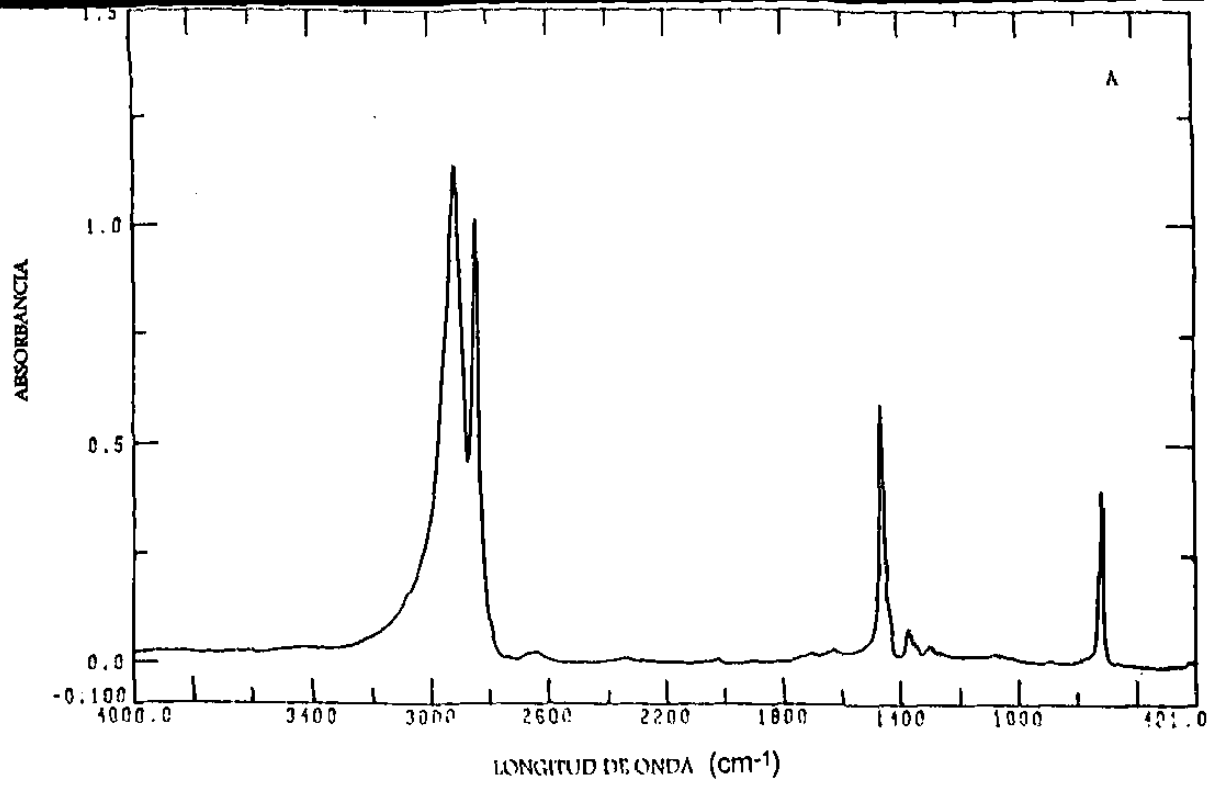


FIG. 16.- ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F9 A LOS 0 DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA (B) Y SUELO (C).



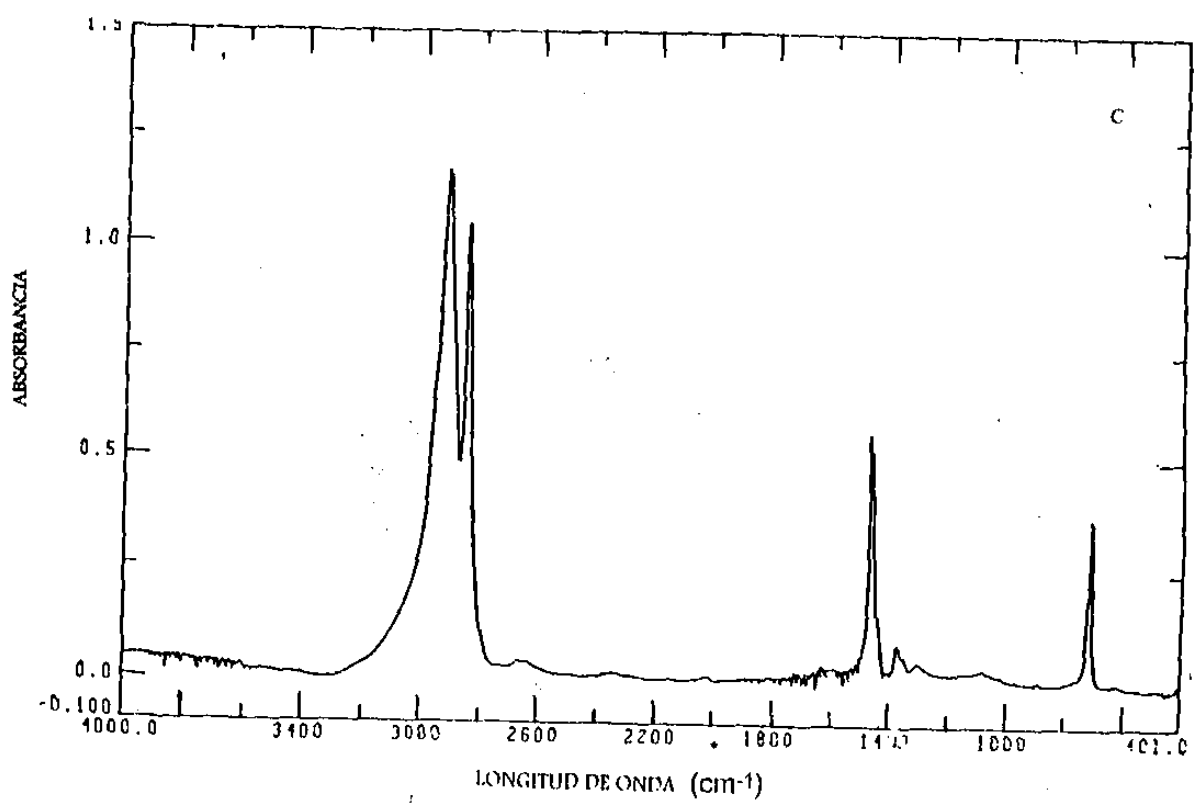
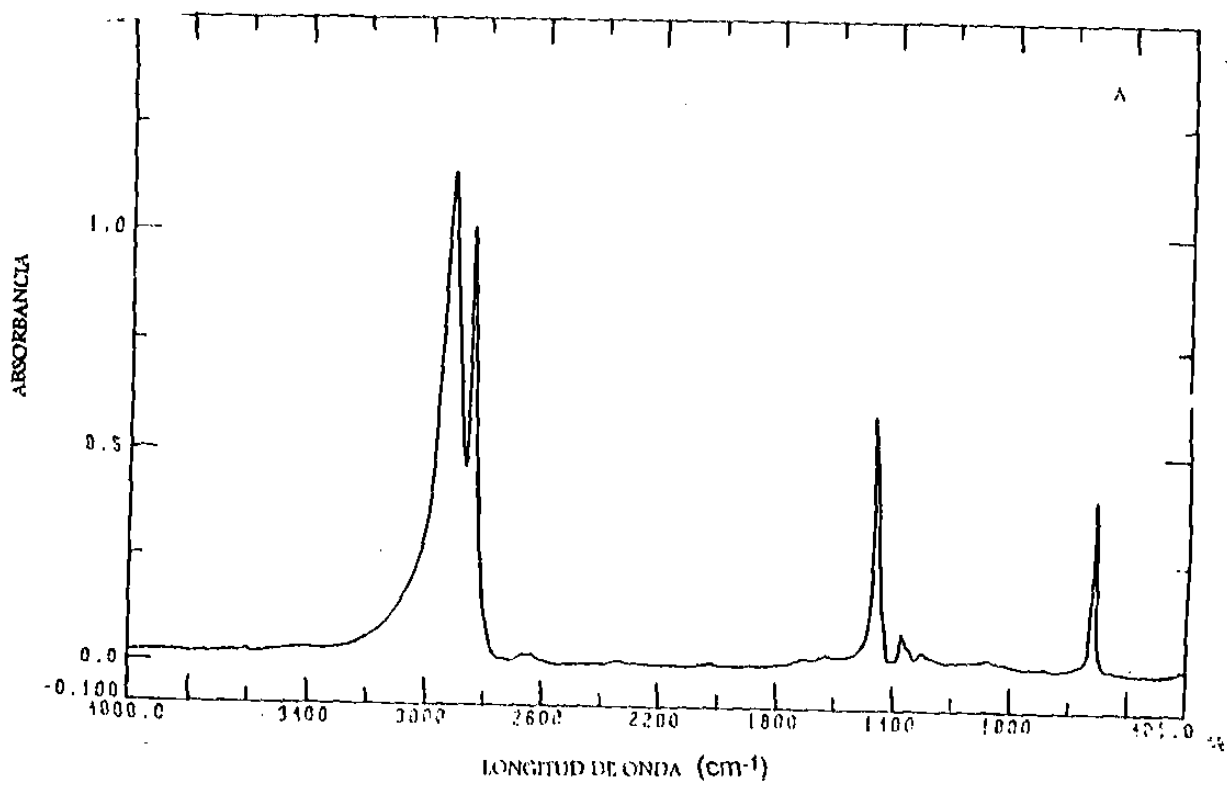


FIG. 16.- CONTINUACION

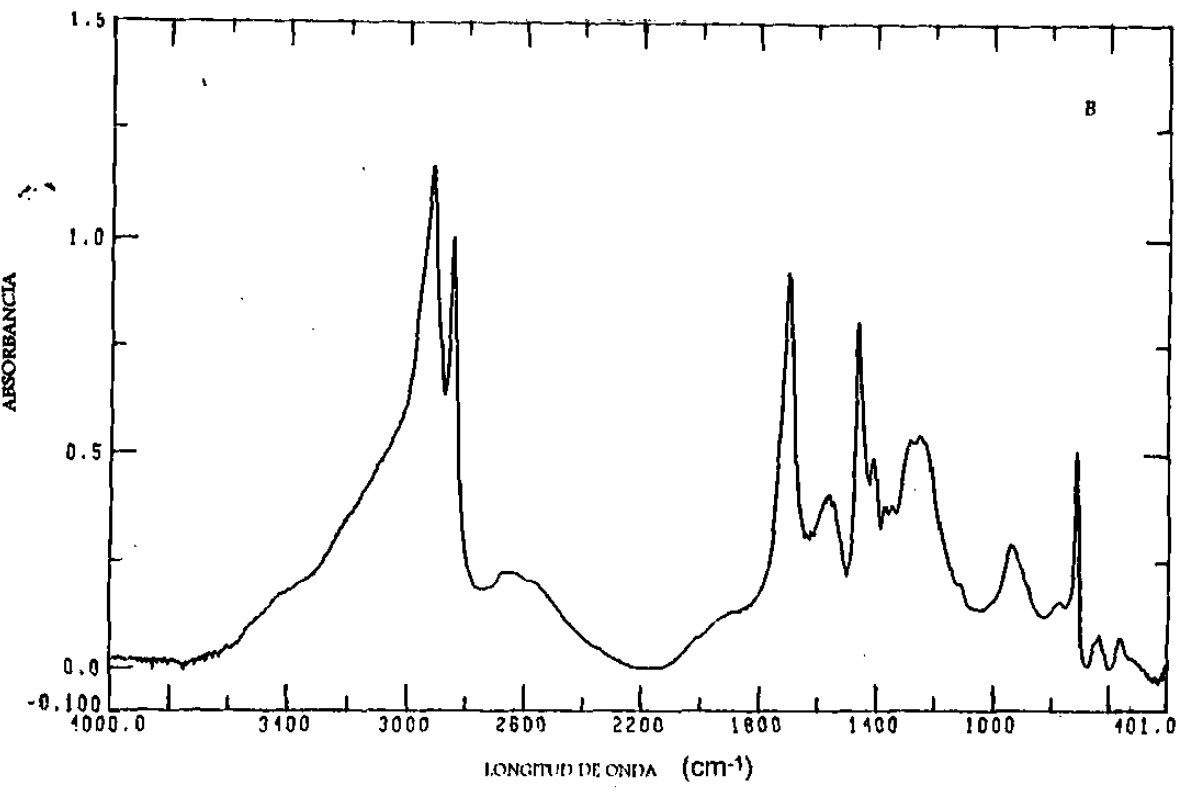
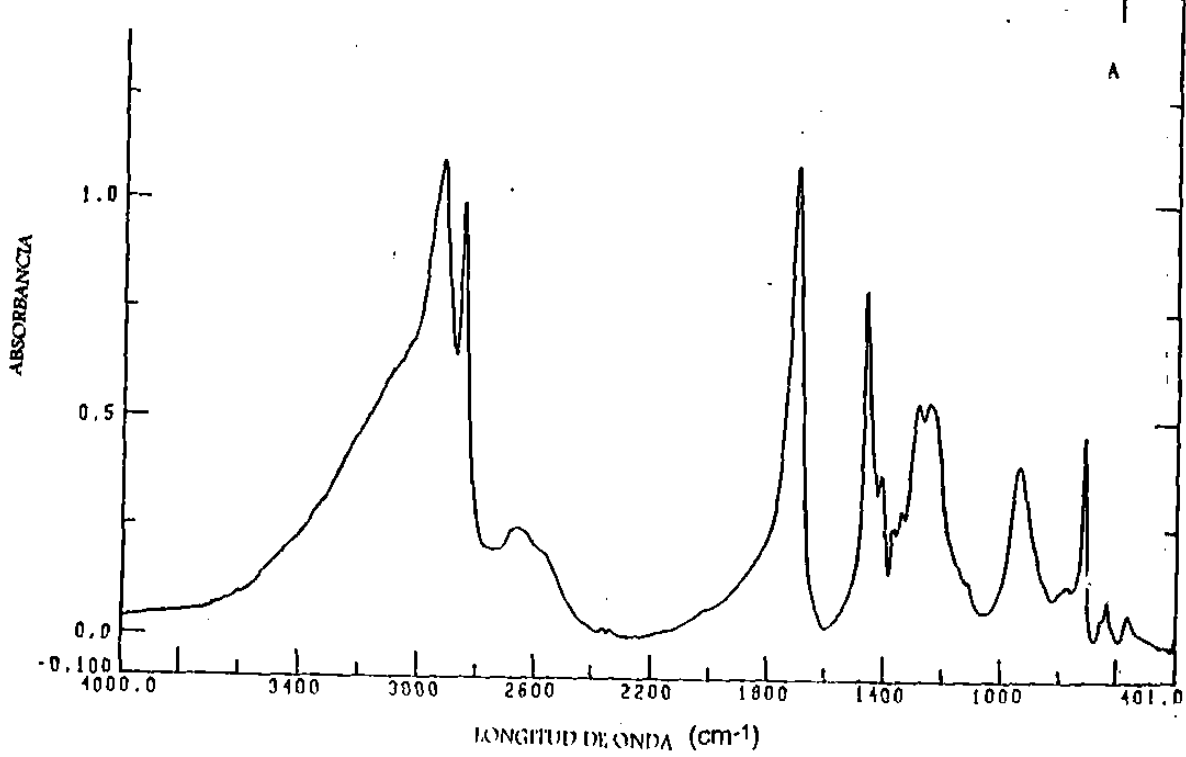


FIG. 17.- ESPECTROS DE IRTF DEL FORMULADO F10 A LOS 0 DIAS (A) Y DESPUES DEL TRATAMIENTO EN COMPOSTA (B), AGUA (C) Y SUELO (D).

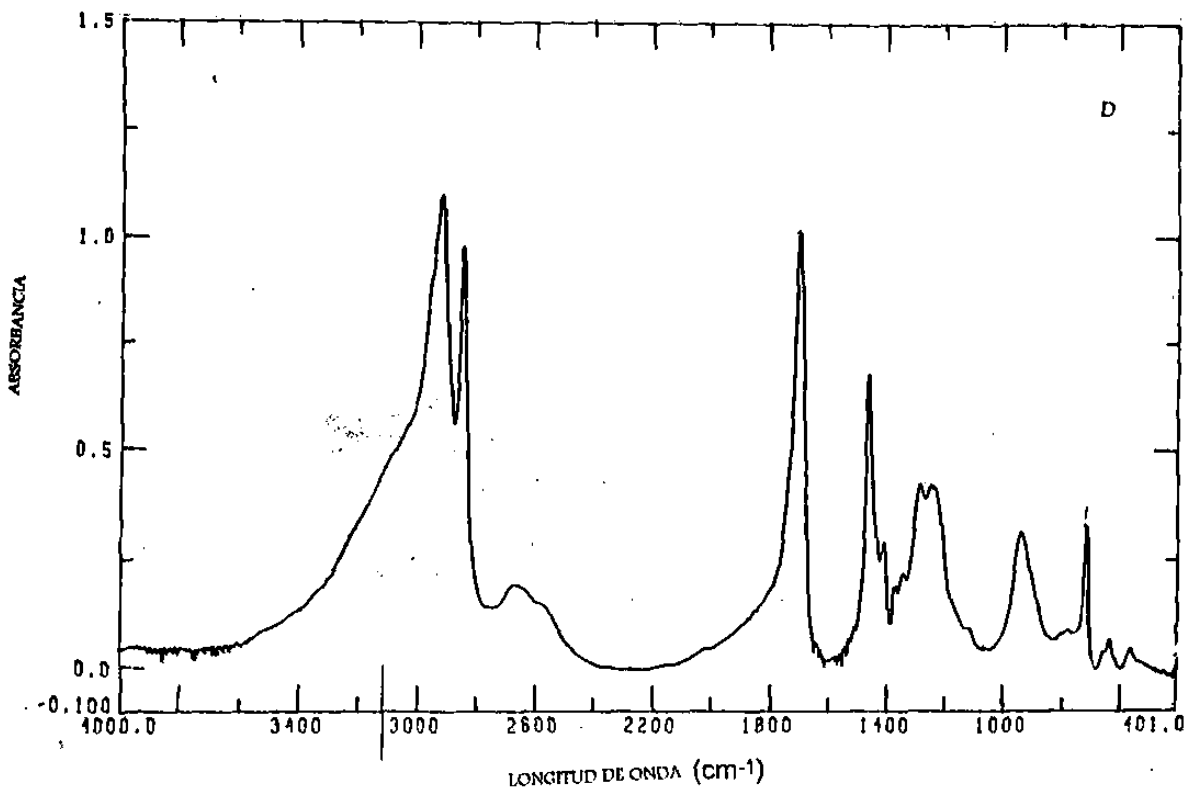
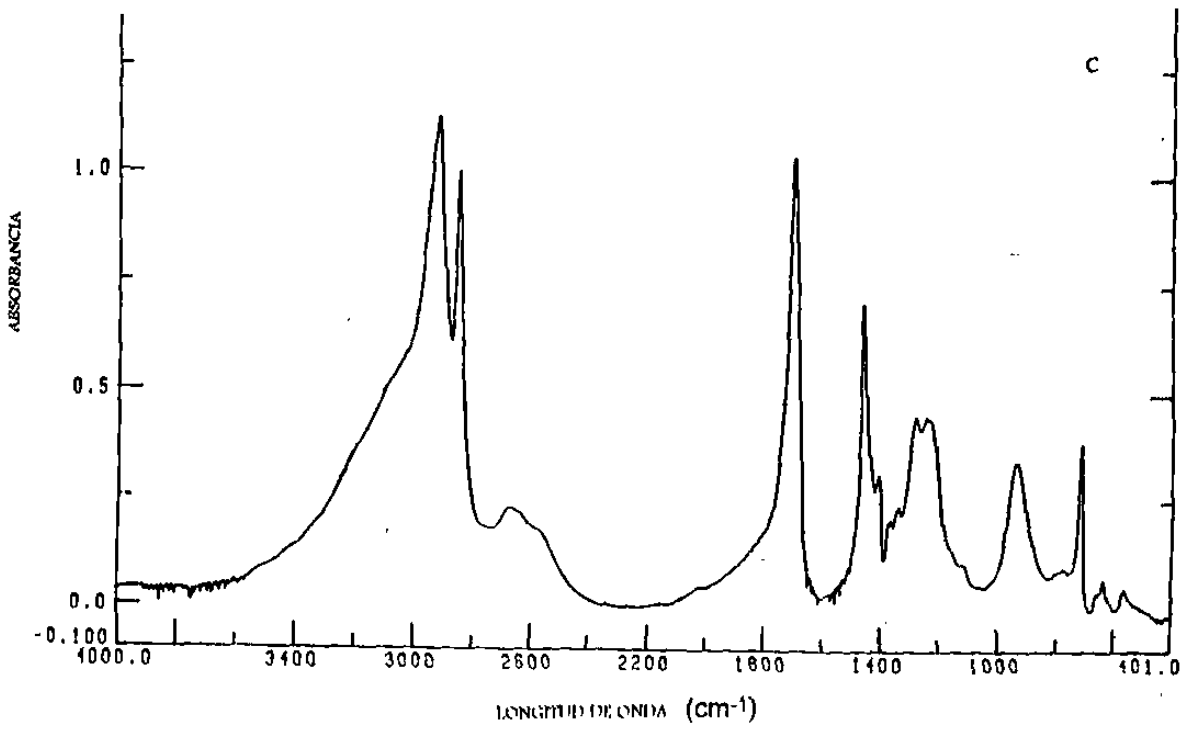


FIG. 17.- CONTINUACION

## DISCUSION

El gran desarrollo y avances tecnológicos en la sociedad moderna han dictado cambios drásticos en el modo de vida actual. Debido a estos cambios se han desarrollado productos que faciliten o simplifiquen algunas de las tareas cotidianas, dentro de éstos productos un lugar muy importante es ocupado por los plásticos, ya que por sus características se les puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones. Sin embargo, después de su utilización, la cual generalmente es de un tiempo corto, la gran mayoría de estos materiales son desechados al ambiente contribuyendo en parte a aumentar los índices de contaminación ambiental.

Dentro de las perspectivas dadas para el control y/o disminución de los problemas de contaminación ambiental que enfrentamos actualmente, en los últimos años se ha iniciado la elaboración de materiales plásticos biodegradables. Estos plásticos se elaboran a base de mezclas de resinas-polímeros naturales, los cuales tienen características muy semejantes a los plásticos sintéticos en cuanto a propiedades físicas y químicas. La importancia dada a este tipo de plásticos es porque se presume que estos materiales pueden ser eliminados en un tiempo menor del ambiente por poseer compuestos en su estructura que son susceptibles a degradación por métodos físicos, químicos y biológicos.

En el presente trabajo se evaluó la degradación de muestras plásticas hechas a base de mezclas de almidón y quitina con PE y EAA ( polímeros biodegradables) y plásticos sintéticos PE y EAA.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que para los plásticos biodegradables si hubo cambios importantes en los parámetros analizados los cuales fueron tomados como indicio de biodegradación, comparados con los materiales netamente sintéticos.

## ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

### *Análisis de la flora microbiana adherida a las muestras*

Dentro del análisis de cuenta microbiana en placa, el cual reflejó el número de microorganismos adheridos a la muestra después de su exposición bajo los distintos ambientes, se observó que para el ambiente de composta se registraron los valores más altos, seguido por el ambiente de agua y suelo, respectivamente. Este resultado es lógico y en realidad se apega a lo esperado, ya que éste sistema es un ambiente donde existe una gran cantidad de microorganismos, sin embargo esto no es imperativo de biodegradación, ya que según Imam 1990 no existe una dependencia de la adhesión de los microorganismos con la capacidad de utilización del sustrato al cual están unidos.

Quizá el menor número de microorganismos adheridos bajo el ambiente de agua se debió a varias razones: 1) las cargas microbianas en este ambiente no son las mismas que para el ambiente de composta; 2) por causa del movimiento del agua es más difícil la adherencia y estancia de los organismos en el material. Esto no significa que no exista adherencia al material ya que como lo reportan Imam et al, 1990 y Johnson et al, 1993 los organismos que habitan en este ambiente pueden desarrollar una biocapa sobre los materiales que ahí se encuentran.

Para el ambiente de suelo asociamos la baja cantidad de microorganismos adheridos a las condiciones de humedad las cuales fueron las menores registradas para el total de los experimentos, además de que el suelo estudiado es de tipo arcilloso, lo que posiblemente haga que se presenta bajo contenido de materia orgánica en él y por ende poca actividad microbiana (Tabla 33).

En cuanto a la relación existente entre el número de UFC/cm<sup>2</sup> de muestra con respecto al tiempo no se observaron variaciones para cada uno de los tres ecosistemas estudiados, es decir, no observamos incrementos en el número de colonias a medida que aumentaron los días de experimentación. Esto es debido a que quizás no existen fluctuaciones importantes en las poblaciones microbianas para los ecosistemas estudiados, ya sea por el tiempo de exposición, como en el caso de composta y/o por los parámetros físicos como temperatura, pH y humedad para el caso de agua y suelo, además del contenido de materia orgánica en este último.

### *Pruebas de degradación de quitina e identificación taxonómica*

Dentro del análisis microbiológico se revisaron las muestras aisladas de los distintos ecosistemas para evaluar la capacidad quitinolítica de los microorganismos adheridos a ellas, esto con la finalidad de saber si la actividad microbiana pudiese contribuir a la biodegradación de las muestras. Se tomaron como quitinasa positivos a los organismos que en el medio quitina presentaron halos de hidrolisis, sin embargo Augusta et al, 1988 mencionan que las zonas claras en las placas no necesariamente indican una completa utilización de todos los compuestos, pero que el rompimiento de la cadena polimérica es un paso decisivo en la biodegradación. Mediante el uso de pruebas bioquímicas se identificaron algunos géneros de los cuales *Chromobacterium sp.* se ha reportado como quitinolítico (Alexander, 1980). Aunque no se tengan reportes de actividad quitinasa de todos los microorganismos aislados, no es sorprendente que la puedan tener, ya que se estima que en suelo existen aproximadamente 10<sup>6</sup> organismos quitinolíticos por gramo de suelo.

## MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

Los resultados de este análisis bajo el total de ecosistemas de estudio indican la presencia de un mayor número de organismos adheridos a las muestras plásticas biodegradables, principalmente bacterias, sobre las muestras sintéticas para los cuales hubo poca o nula adhesión. A pesar de esta gran diferencia no podemos atribuir este comportamiento como un indicio total de biodegradación, ya que se ha reportado que no necesariamente tiene que haber unión entre los materiales a degradar y los microorganismos para que los primeros sufran daño puesto que el fenómeno de biodegradación también puede estar dado por la acción de enzimas extracelulares o por biodesintegración.

## PRUEBAS FISICAS

### *Pérdida en peso*

Los resultados de este análisis nos indican que los polímeros biodegradables sufren disminución en el peso y podemos atribuir esto a que quizás los microorganismos encontrados en los distintos ambientes pudieron hidrolizar y utilizar como fuente de carbono a los compuestos quitina y almidón contenidos en estos formulados, además del PEG contenido en el F7 el cual se sabe que es biodegradable.

Dentro del ambiente de composta podríamos inferir que los mayores porcentajes en la pérdida en peso para los plásticos biodegradables pudieran deberse entre otros factores a la alta actividad de distintas poblaciones microbianas, contenido de materia orgánica, temperatura, humedad y mecanismos químicos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Greizerstein et al, 1993 quien reporta que en un experimento hecho en composta para probar la biodegradabilidad de plásticos hubo una

pronunciada pérdida de almidón en las bolsas enterradas después de 49 días de exposición. Los autores mencionan que la remoción de gránulos de almidón crean huecos en las películas incrementando con esto el área superficial. Otros autores sugieren que esto, junto con la formación de productos oxidativos, pueden realzar el potencial para el ataque biológico.

Corti et al en un estudio realizado para probar la biodegradabilidad de películas plásticas hechas de PE rellenas con almidón reportan que los porcentos de pérdida en peso después del composteo es mayor para los plásticos que contienen de un 20 a 30% de almidón. Los mismos autores mencionan que el ambiente de composta permite a los plásticos experimentar un estrés por el metabolismo microbiano, debido a la actividad de grupos de microorganismos fisiológicamente distintos durante la estabilización biooxidativa de la materia orgánica putrefacta.

Dentro de este mismo ambiente observamos que los polímeros sintéticos al contrario de perder peso, incrementaron este parámetro. Entre los factores que pueden apoyar este hecho se encuentran: el que los materiales de los que están hechos estos polímeros no son degradables (PE y EAA) tales resultados concuerdan con los reportados por Johnson et al 1993 quién encontró que bajo un estudio en ambiente de composta algunas bolsas enterradas, después de 8 meses de estudio mostraban mínima degradación. El aumento de peso en los controles también pudiera deberse a que no hubo una eliminación completa de todos los residuos al momento de enjuagar las muestras, pudiendo estos residuos contribuir al peso de los plásticos.

La prueba de rango múltiple de Tuckey para el experimento en composta indicó tres diferentes grupos de homogeneidad, quedando los plásticos hechos a base de quitina, F3 y F7 como los de mayor pérdida en peso y los controles F9 y F10 como los de menor pérdida.



Dentro del experimento en agua observamos que los formulados biodegradables F7 y F3 registraron pérdida en peso y que los controles F9 y F10 ganaron peso. Este resultado nuevamente lo adjudicamos a la interacción de factores físico-químicos y biológicos sobre los plásticos elaborados con polímeros naturales.

La ganancia en peso para los formulados sintéticos quizás se deba a que después del tratamiento no fué removida toda la materia adherida a las muestras al momento de lavarse, contribuyendo esto al peso final.

La prueba de rango múltiple de Tuckey para el experimento en agua indicó dos diferentes grupos de homogeneidad , quedando los plásticos hechos a base de quitina, F3 y F7 como los de mayor pérdida en peso y los controles F9 y F10 como los de menor pérdida.

Para el ambiente de suelo la menor pérdida en los formulados biodegradables la atribuimos al bajo contenido de humedad del suelo, ya que según diversos reportes la humedad es esencial para la degradación de la materia orgánica en un relleno sanitario (Breslin, 1993).

La prueba de rango múltiple de Tuckey para el experimento en suelo indicó tres diferentes grupos de homogeneidad , quedando los plásticos hechos a base de quitina, F3 y F7 como los de mayor pérdida en peso y los controles F9 y F10 como los de menor pérdida

A pesar de utilizarse como un indicativo de biodegradación, el parámetro de pérdida en peso no puede considerarse como aquel que dicte tal fenómeno, ya que se sabe que pueden presentarse muchos errores potenciales al medir la degradación mediante pérdida en peso. La masa de hongos, bacterias y el polvo no removido durante el lavado, así como la remoción parcial de marcas o etiquetas de muestras pueden contribuir al incremento de este parámetro.

### *Fuerza de tensión y porciento de elongación*

Las muestras recuperadas del total de ecosistemas estudiados se analizaron para determinar las propiedades fisico-mecánicas que presentaron al final del estudio. Para el experimento en composta todos los formulados presentaron disminución en la FT y el %E presentándose los menores valores de pérdida para el F9 en la FT y para el F10 en el %E. Y como lo esperabamos, los formulados biodegradables presentaron disminución en estos parámetros de hasta 91% en la FT y 100% en el %E (F3). Estos resultados nos indican que todas las membranas disminuyeron su resistencia al rompimiento y estiramiento. Dentro del experimento en agua los formulados presentaron disminución en la FT y el % de elongación a diferencia del F9 para el cual dichos parámetros se incrementaron en un 20% para la FT y en más del 90% para el %E. En suelo observamos el mismo comportamiento, sin embargo el incremento en la FT para el F9 fué de 11% y el %E fué de 35%. Estos resultados nos indican que en estos ambientes el F9 se torna más resistente al rompimiento y a la vez adquiere una mayor elasticidad. Atribuimos este comportamiento en los formulados sintéticos a varias causas 1) Las muestras no presentaron homogeneidad en cuanto a su grosor y 2) El tiempo de almacenaje en ellos era de más de dos años y se sabe que en plásticos “viejos” los parámetros de FT y %E se ven afectados.

Se han realizado una serie de estudios para evaluar la afección de estos parámetros en plásticos elaborados con almidón después de su exposición en distintos ambientes y en la mayoría de ellos se ha encontrado que tanto la FT como el %E disminuyen en comparación con muestras hechas a base del 100% de PE o PEBD, sin embargo para éstos últimos también se observan disminución en los valores después de un tiempo considerable de exposición a un ambiente determinado. En ambientes acuáticos se ha visto que los parámetros de FT y %E pueden permanecer sin cambio ya que se sabe que la presencia de agua retarda la degradación. Para los plásticos biodegradables estudiados en el presente trabajo no podemos inferir con

exactitud la influencia de los cambios en tales parámetros como indicio de biodegradación porque no se tienen reportes anteriores a este tipo de análisis con muestras plásticas hechas a base de quitina-almidón-polímeros sintéticos, pero si podemos ver que en general éstas muestras presentan pérdida en sus propiedades fisico-mecánicas.

### *Determinación de Humedad, Temperatura y pH para los distintos ecosistemas de estudio*

Estos factores pueden influir en el deterioro de los plásticos de diversas maneras. Existen reportes donde se ha visto que la actividad biológica se retarda en los rellenos sanitarios que contienen menos del 40 % de humedad relativa y que es casi nula con niveles abajo del 20%. Con respecto a la temperatura Breslin 1993 menciona que las temperaturas en los 2 primero metros de un relleno sanitario no son las adecuadas para que exista una oxidación térmica de los polímeros. También se sabe que en ambientes acuáticos las bajas temperaturas pueden retardar las tasas de degradación y que cuando los plásticos son sumergidos en agua hay una disminución en la intensidad de luz, lo cual puede retardar el deterioro en plásticos fotodegradables. Respecto del pH se sabe que a pH cercanos a la neutralidad se da una mayor actividad enzimática y bioquímica por los microorganismos, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo.

### *Análisis por Espectroscopía de Infrarrojo con Transformadas de Fourier (IRTF)*

Dentro de este análisis esperabamos los resultados obtenidos para los controles, ya que suponemos que estos materiales no sufren degradación y por lo tanto no encontraríamos cambios en los picos de absorción correspondientes a las regiones características de cada formulado. Dentro

de los materiales biodegradables para el F3 observamos un aumento en el espectro de absorción después de su exposición en agua en la región correspondiente al OH, mientras que para la región correspondiente al grupo amida se observó una ligera disminución; bajo el ambiente de suelo no se registraron cambios esenciales en las absorbancias. El formulado F7 al igual que el F3 presentó una disminución en las regiones correspondientes al grupo amida, así como a la región OH para el ambiente de agua, pero no hubo cambios bajo el ambiente de suelo. Debido a que este estudio se realizó por personal del NCAUR de la USDA los espectros correspondientes al F3 y F7 bajo el tratamiento en composta no se lograron recuperar y no pudimos relacionar estos datos con los del resto del experimento. El aumento en la región OH para el F7 suponemos que se deba a la absorción de agua en la muestra al momento de su preparación para análisis de IRTF. Existen reportes donde se dice que el almidón y polietileno pueden absorber ciertas cantidades de agua y quizás esto aumente la absorción en la región OH correspondiente a  $3400\text{ cm}^{-1}$  (Breslin, 1993).

Mediante la integración de resultados podemos decir que los formulados biodegradables se vieron mayormente afectados en todos los parámetros de estudio sobre los formulados sintéticos. Analizando los tres ambientes estudiados observamos que la mayor afección a los materiales de estudio se dio en el ambiente de composta. Integrando los resultados arrojados por este ecosistema vemos que: Los análisis de cuenta en placa nos indican que hubo un mayor número de microorganismos asociados con las muestras, lo cual concuerda perfectamente con los resultados obtenidos en el análisis de MEB, dentro del análisis bajo este ambiente también se registraron los valores de pérdida en peso más altos y se vieron mayormente afectados la FT y el %E pudiéndose no detectar este último en los formulados biodegradables (F3). Adjudicamos estos resultados también a las condiciones que imperaron bajo este ambiente, las cuales fueron las más óptimas de pH, temperatura y humedad para la actividad microbiana. Desafortunadamente no pudimos recuperar los análisis de IRTF para los plásticos biodegradables al final de su exposición a dicho ambiente, pero suponemos que en estos debió presentarse la mayor disminución en las absorbancias correspondientes a las regiones OH y amida características de los polímeros de nuestro interés.

Para el ambiente de agua observamos menos afección a los parámetros de interés que bajo el ambiente de composta, sin embargo pudimos ver que nuevamente los formulados biodegradables registraron en general mayor pérdida en peso, mayor disminución en la FT y en el %E sobre los formulados sintéticos. Dentro del análisis de MEB observamos que si existe la adhesión de microorganismos en las membranas poliméricas, y que esta adhesión se ve mayormente favorecida en los formulados biodegradables, sobre los plásticos control. El análisis de temperatura dió resultados que fluctuaron entre los 14 y 22 °C y para el pH los resultados fueron entre 7.7 y 10.15, quizás esto tuvo que ver con la menor tasa de degradación para este ecosistema. A pesar de lo anterior, los resultados de

IRTF indican que si existe degradación de los polímeros naturales contenidos en las matrices y expuestas a este ambiente.

Bajo el estudio en suelo vimos que se obtuvieron los valores más bajos de pérdida en peso, tanto para formulados biodegradables como sintéticos, así mismo las cuentas microbianas fueron las menores de el total de ambientes estudiados y bajo MEB pudimos ver escasa o nula adherencia de microorganismos en ambos tipos de formulados. Sin embargo los porcentajes de cambio en la FT y el % E no presentaron gran variación con respecto al ambiente de agua para los formulados biodegradables, pero si para los sintéticos. Dentro del análisis de IRTF pudimos ver que no hay cambio en las absorbancias correspondientes a las regiones de interés (OH y Amida) con respecto a materiales no probados, por lo cual inferimos que la tasa de degradación en este ambiente en particular es muy pobre. Esto lo apoyamos en los resultados dados por los parámetros ambientales, principalmente humedad, la cual fue excesivamente baja para que pudiese existir actividad microbiana óptima.

## CONCLUSIONES

Basados en lo realizado en el presente trabajo se puede concluir que:

1.- No se observaron variaciones considerables en el número de microorganismos recuperados de cada uno de los plásticos analizados de acuerdo al tiempo de exposición en los distintos ambientes, pero si entre los ambientes estudiados, presentándose mayores cargas microbianas en composta, agua y suelo respectivamente.

2.- Se dió la adhesión de microorganismos quitinolíticos en las muestras probadas, sin embargo esto no es imperativo de degradación, ya que estos microorganismos son abundantes en la naturaleza.

3.- La adhesión de organismos en materiales plásticos sintéticos y biodegradables no significa necesariamente que tenga que haber degradación, aunque esta se puede ver mayormente favorecida debido a dicha unión.

4.- La mayor pérdida en peso observada en los plásticos hechos a base de mezclas polímeros naturales-polímeros sintéticos comparada con las de los plásticos control puede ser un indicio de biodegradabilidad, sin embargo esto debe ser apoyada por estudios más específicos como espectrofotometría de infrarrojo.

5.- Aunque las propiedades físico-mecánicas de los plásticos biodegradables no son comparables con las de los plásticos sintéticos, éstas pueden mejorarse variando las concentraciones de los formulados.

6.- Las propiedades pérdida en peso, fuerza de tensión y porcentaje de elongación se vieron mayormente afectadas en los plásticos biodegradables que en los materiales netamente sintéticos.

7.- Dentro de los materiales biodegradables estudiados la mayor afección en los parámetros analizados se presentó para el formulado F7 quizás por su contenido de polietilenglicol, el cual es biodegradable.

8.- De los ambientes estudiados la mayor afección a los parámetros analizados fué en orden decreciente para composta, agua y suelo.

9.- El mecanismo de degradación que actuó sobre los plásticos analizados encierra factores físicos, químicos y biológicos.



## RECOMENDACIONES

- 1.- Probar distintas proporciones en los componentes de los formulados, para mejorar las propiedades físico-mecánicas de los plásticos biodegradables.
- 2.- Elaborar materiales que contengan polímeros biodegradables, solamente que estos polímeros puedan encontrarse en forma más disponible a los microorganismos o enzimas que actúen favoreciendo su degradación
- 3.- Sustituir al polímero quitina por quitosán para ver si hay mejoramiento en las propiedades físico-mecánicas y de biodegradabilidad de los formulados.
- 4.- Aprovechar más el sistema de composteo como una solución a los problemas de contaminación originados por desechos plásticos.

## LITERATURA CITADA

Alexander, M. 1980. Introducción a la Microbiología del Suelo. AGT, Editor, S.A. México, D. F. pp 491.

Andrady, A.L., J.E. Pegram y S. Nakatuska. 1993. Studies on Enhanced Degradable Plastics: 1. The Geographic Variability in Outdoor Lifetimes of Enhanced Photodegradable Polyethylenes. *J. Environ. Polym. Degradation* 1:31-43

Arévalo, N. K., 1996. Elaboración de Plásticos Biodegradables a partir de Polisacáridos y su Estudio de Biodegradación a nivel de Laboratorio y Campo. FCB. UANL. Tesis Doctoral. Monterrey, N.L. México.

Arévalo, N. K. , C. F. Sandoval, L. J. Galán, S. H. Imam, S. H. Gordon y R. V. Greene. 1996. Starch-based extruded plastic films and evaluation of their biodegradable properties. *Biodegradation*. 7:231-237

Bade, M. L. , and R. L. Wick. 1988. Protecting crops and wildlife with chitin and chitosan. Cap. 31. En: "Biologically Active Natural Products. Potencial Use in Agriculture", de. H.G. Cutler. ACS Symp. Series 380. Am. Chem. Soc. Washington. D. C. pp. 450-468

Bidochka, M. J. and G. G. Khachatourians. 1993. Regulation of extracellular N-acehyl-D-glucosamidasa production in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Can. J. Micorbiology*. 39:6-12

Breslin, V. T. 1993. Degradation of Starch-Plastics Composites in a Municipal Solid Waste Landfill. *J. Environ. Polym. Degradation*. 1:127-141

Breslin, V. T. and Boen Li. 1993. Weathering of Starch-Polyethylene Composite Films in the Marine Environment. *J. Appl. Polym. Science.*, 48:2063-2079

Breslin, V.T. and R. L. Swanson. 1993. Deterioration of Starch-Plastic composites in the environment. *J. Air Waste Manage.* 43:325-335

Cole, M. A. y K.K. Leonas. 1990 Behavior of Starch-containing yard waste collection bags in a field-scale composting environment. En: "Corn Utilization Conference III Proceeding". National Corn Growers Association and Ciba-Geigy (or.g) pp. 1-6

Corti, A., G. Vallini, A. Pera, F. Cioni, R. Solaro and E. Chiellini. 1991 Composting Microbial Ecosystem for Testing the Biodegradability of Starch-filled Polyethylene Films. En *Biodeg. Polymers and Plastics*. M. Vert. (ed). Royal Society of Chemistry. Great Britain pp. 245-248.

Enkerlin, E.C., G. Cano, R. A. Garza y E. Vogel. 1997. *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*. International Thomson Editores, S. A. de C. V. México. 666 pp.

Goheen, S. M. y R. P. Wool. 1991. Degradation of Polyethylen-Starch Blends in Soil. *J. Appl. Polym. Science*, 42:2691-2701

Gordon, S.H., Imam S. H. y R. V. Greene. 1996. Starch-Bsed Plastic (Measurement of Biodegradability). En *Polymeric Materials Encyclopedia*. Joseph C. Salamone (ed). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 10:7885-7892

Gould, J. M., S. H. Gordon., L. B. Dexter., and C.L. Swanson. 1990. Biodegradation of Starch-Containing Plastics. En: *Agricultural and Synthetic*

Polymers: Biodegradability and Utilization. ACS Symposium Series No. 433.  
J. Eduard Glass and Graham Seift (ed). pp 65-75

Greizerstein, H. B., J. A. Syracuse and P. J. Kostyniak. 1993. Degradation of starch modified polyethylene bags in a compost field study. *Polymer. Degr. and Stab.*, 39:251-259

Huang, J-C., A. S. Setty and M-S Wang. 1990. Biodegradable Plastics: A review. *Advances in Poly. Technology*. 10:23-30.

Imam, S. H. and J. M. Gould. 1989. Adhesion of an Amyolytic *Arthrobacter* sp. to Starch-Containing Plastic Films. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:872-876

Imam, S. H. , J. M. Gould., S. H. Gordon., M. P. Kinney., A. M. Ramsey, y T. R. Tosteson. 1992. Fate of Starch-Containing Plastic Films Exposed in Aquatic Habitats. *Current Microbiol.* 25:1-8.

Imam. S. H. , S. H. Gordon, R.L. Shogren, and V. Greene. 1993. Biodegradation of Starch-Poly-( $\beta$ - Hydroxybutirate-Co-Vlerate) composties in Municipal Activated Sludge. *J. Environ. Polym. Degradation*. 3:205-213

Johnson, K. E., A. L. Pometto III, and Z. L. Nikolov. 1993. Degradation of Degradable Starch-Polyethylene Plastics in a Compost Enviroment. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:1155-1161

Knorr Dietrich. 1991. Recovery and Utilization of Chitin and Chitosan in Food Processing Waste Management. *Food Technology*. pp. 114-122

Lee, B. Pometo III, A.L. Fratzke y T.B. Bailey Jr. 1991. Biodegradation of degradable plastic Polyethylene by *Phanerochaete* and *Streptomyces* species. *Appl. Environ. Microbiol.* 57:678-685.

Leonas, K. K. and R. W. Gorden. 1993. An Accelerated Laboratory Study Evaluating the Disintegration Rates of Plastic Films in Simulated Aquatic Enviroments. *J. Appl. Polym. Degradation* 1:45-51

M. van del Zee., H. Tournois., J.W. Timmermans, y R.O.J. Jongboom. 1991 Biodegradable Materials: Thermoplastic Starch. Biodegradable Polymers and Plastics. M. Vert. (ed). Royal Society of Chemistry. Great Britain pp. 283-284.

Ndon, U. J., A. D. Levine and B. S. Bradley. 1992. Evaluation of Biodegradability of Starch-Based Plastics. *Wat. Science. Tech.* 2: 2089-2092.

Oleg Milstein, R. Gersonete, A. Hettermann, M.Chen y J.J. Meister. 1992. Fungal Biodegradation of Lignopolystyrene Graft Copolymers. *Appl. Environ, Microbiol.* 58:3225-3232.

Ramsay, B. A., V. Langlade, P. J. Carreay, and J. A. Ramsay. 1992. Biodegradability and Mechanical Properties of Poly-(B-Hydroxybutyrate-Co-B-Hydroxyvalerate)-Starch Blends. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:1242-1246.

Rathje, W. L. 1995. Terrenos Rellenos Actuales y Futuros. *Flexo.* México, D.F. 4:38-45.

R. P. Wool and M. A. Cole. 1988. Biodegradation and Biodisintegration of Polymer-Starch Blends. Paper presented to the American Chemical Society, Toronto, Canadá.

Shogren R. L., A. R. Thompson, F. C. Felker., R. E. Harry-O'Kuru., S.H. Gordon., R.V. Greene., y J. M. Gould. 1992. Polymer Compatibility and Biodegradation of Starch-Poly(ethylene-co-acrylic acid)- Polyethylene Blends. *Journal of Appl. Poly. Science.* 44:1971-1978

Swanson, C.L., R.L Shogren, G.F. Fanta and S.H. Imam.1991. Starch-Plastic Materials Preparation, Physical Properties and Biodegradability. (A Review of Recent USDA Research). *J. Environ. Polym. Degradation* 1:155-166

Yabannavar, A. V. y R. Bartha. 1994. Methods for Assessment of Biodegradability of Plastic Films in Soil. *Appl. Environ. Micobiol.* 60: 3608-3614.

## APENDICE

### *\*Preparación de quitina coloidal.*

- Pesar 10 gramos de quitina comercial Sigma grado reactivo, y colocarlos en un matraz Erlenmeyer de 500 ml e hidratarlos.
- Adicionar Acido fosfórico concentrado y dejar reposar 10 minutos.
- Colocar en agitación continua a 160 rpm y 36 °C hasta completa homogenización.
- Agregar agua y obtener el precipitado blanco (quitina coloidal)
- La quitina coloidal se filtra con agua alcalina utilizando un extractor y bomba de vacío.
- Lavar la quitina coloidal las veces necesarias hasta neutralizar.
- Esterilizar la quitina a 121 °C/ 15 minutos.
- Centrifugar a 8000 rpm/ 15 minutos dos veces, retirar el exceso de humedad y utilizar en la preparación del medio o guardar en refrigeración a 4 °C.

### *\*Agar quitina (gramos/ litro)*

Quitna coloidal	130 (peso húmedo)
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.7
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.3
MgSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0.5
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.01
ZnSO <sub>4</sub>	0.001
MnCl <sub>2</sub>	0.001
Agar	20
Agua destilada	1000 ml.

Ajustar a pH 6.8 a 7 antes de esterilizar.

En matraz A mezclar la quitina coloidal con 500 ml. de agua destilada. En matraz B mezclar las sales restantes y el agar. Esterilizar separadamente durante 15 minutos a 121 °C. Después de la esterilización mezclar el contenido de ambos matraces, vaciando lentamente el contenido del matraz A en el B. Repartir en las placas estériles teniendo la precaución de agitar constante y suavemente a fin de repartir el material de forma uniforme. Solidificar y guardar en forma invertida (Biodchka et al, 1993).



