

65



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**"MINERALIZACION PRIMARIA DE LA HOJARASCA  
Y SUS EFECTOS SOBRE LA ERODABILIDAD  
DEL SUELO."**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**B I O L O G A**  
P R E S E N T A :  
**LYDIA JOSEFINA FLORES MARTINEZ**

201302

TUTOR: DR. JORGE ENRIQUE GAMA CASTRO



2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO**  
**Jefa de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis

" Mineralización primaria de la hojarasca y sus efectos sobre la  
 erodabilidad del suelo."

realizado por Flores Martínez Lydia Josefina.

con número de cuenta 8752546-7 , pasante de la carrera de Biología.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dr. Jorge Enrique Gama Castro

Propietario Dr. David Flores Roman.

Propietario M. en C. Alma Socorro Velázquez Rodríguez.

Suplente M. en C. Sergio Palacios Mayorga.

Suplente Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo.

*Jorge Enrique Gama Castro*  
*David Flores Roman*  
*Alma Socorro Velázquez Rodríguez*  
*Sergio Palacios Mayorga*  
*Elizabeth Solleiro Rebolledo*

*Edra María Suárez Díaz*

**Consejo Departamental de Biología**

Dr. Edra María Suárez Díaz.



**DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGÍA**

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por las enseñanzas adquiridas para obtener el grado de Biólogo.

Al Instituto de Geología, Departamento de Edafología por las facilidades para el uso de las instalaciones necesarias para la realización de esta tesis.

Al Instituto de Física, laboratorio del Acelerador de Partículas por el apoyo para realizar este trabajo.

A DGAPA por el otorgamiento de una beca de Licenciatura (proyecto 1N 108798), así como al Instituto Mexicano de Transporte por el apoyo a través de una beca de Licenciatura

A los miembros del jurado.

Dr. David Flores Roman

Dr. Jorge E. Gama Castro

M en C Alma Socorro Velázquez Rodríguez

Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo

M en C Sergio Palacios Mayorga

Por sus valiosas sugerencias y observaciones en la revisión de esta investigación.

Muy en especial al Dr. Jorge E Gama por la dirección, orientación y apoyo durante la realización del mismo.

La colaboración y asesoría de las siguientes personas fue de gran importancia para la realización de esta tesis:

Dr. Eduardo Andrade Ibarra, investigador del Instituto de Física, por su valiosa asesoría con relación a las Técnicas de análisis nuclear (PIXE).

M en C Sergio Palacios Mayorga, Investigador del Instituto de Geología por su orientación para el aislamiento de microorganismos

M en C Eustacio Pérez Zavala, al Físico Lázaro Huerta Arcos y al Físico Carlos Pineda Santa María por su realización de los análisis PIXE y por su asesoría en el uso de los programas AXIL y GUPIX.

M en C Ernestina Vallejo Gómez, por su asesoría en las análisis de laboratorio de química

Lic Rosario Flores Ramos y a la M en C María Eugenia Miranda por su apoyo en la presentación de esta investigación

M en C Lourdes Flores Delgadillo por su ayuda en la determinación de hidrosolubles

M en C Margarita Reyes Salas por su apoyo en Microscopía de barrido

Dr. Víctor Manuel Malpica por su apoyo incondicional, confianza y amistad.

Ing. Agrónomo Armando Vázquez por su tiempo para la realización de los análisis estadísticos.

M en C Yolanda Girón Ríos, Bióloga Georgina Arciniega y al M en C José Luis Villalpando por las sugerencias para mejorar este escrito, por su amistad y cariño.

Bióloga María Elena Chávez, Bióloga María de Lourdes Diez por ser mis mejores amigas en la Facultad de Ciencias; por su amistad y por compartir conmigo momentos muy especiales .

## DEDICATORIA

Dedicó esta tesis con amor y respeto a mis padres José y Lydia a mis hermanos Mary y Alfredo por su apoyo incondicional y por estar a mi lado siempre.

A quienes son fundamentales y la razón de mí existir Alan, Michelle e Israel porque con su cariño, paciencia y comprensión hicieron posible la realización de esta tesis.

Con amor infinito a Axel, Carlitos, David, Michelle, Jazmín, Diego, Tere y al bebé próximo a nacer por su sonrisa y ternura y por ser el motor de nuestras vidas.

A las Familias Zavala Martínez y Martínez Alvis, en especial a Mariano, Ulises, Cesar e Iván por compartir su espacio conmigo.

A mis amigas de siempre Mary Paz, Rafaela y Betty por estar cerca de mí en los momentos difíciles

A Alejandra y Raymundo por su cariño.

## CONTENIDO

	Pág
<b>1</b>	<b>I</b>
<b>1.1</b>	<b>III</b>
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
<b>OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
• Generales	
• Específicos	
• Metodológicos	
<b>HIPOTESIS</b>	
<b>2</b>	<b>3</b>
<b>MARCO TEORICO</b>	
<b>2.1</b>	<b>3</b>
<b>EROSION</b>	
<b>2.1.1</b>	
<b>Erosión Geológica</b>	
<b>2.1.1.1</b>	
<b>Dinámica de la erosión</b>	
<b>2.1.1.2</b>	
<b>Agentes de la erosión</b>	
<b>2.1.2</b>	
<b>Erosión Acelerada</b>	
<b>2.2</b>	<b>4</b>
<b>ERODABILIDAD</b>	
<b>2.2.1</b>	
<b>La Erodabilidad (Factor K) y la Ecuación de la Pérdida de Suelo (EUPS)</b>	
<b>2.2.2</b>	
<b>La Erodabilidad (Factor K) y la Vegetación Natural (Factor C)</b>	
<b>2.2.3</b>	
<b>La Erodabilidad y su Medición</b>	
<b>2.3</b>	<b>8</b>
<b>LA HOJARASCA Y LA MATERIA ORGANICA</b>	
<b>2.3.1</b>	
<b>Origen y Diagnósis</b>	
<b>2.3.2</b>	
<b>Funciones de la Materia Orgánica – Hojarasca</b>	
<b>2.3.3</b>	
<b>Mineralización de la Hojarasca y de la Materia Orgánica</b>	
<b>2.3.4</b>	
<b>Medición de la Descomposición de la Materia Orgánica</b>	
<b>2.4</b>	<b>12</b>
<b>AGREGADOS Y SU FORMACION</b>	
<b>2.5</b>	<b>13</b>
<b>AGREGADOS Y SU ESTABILIDAD</b>	
<b>2.6</b>	<b>14</b>
<b>MEDICION DE LA ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS</b>	
<b>2.7</b>	<b>14</b>
<b>EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EN LA AGREGACION</b>	
<b>3</b>	<b>16</b>
<b>METODOLOGIA</b>	
<b>3.1</b>	<b>16</b>
<b>COMPILACION DE LA INFORMACION BASICA</b>	

	Pág	
3.2	<b>FOTOIDENTIFICACION Y LOCALIZACION DEL SITIO DE MUESTREO</b>	16
3.3	<b>TRABAJO DE CAMPO Y RECOLECTA DE SUELOS</b>	16
3.4	<b>ANALISIS DE LOS SUELOS MUESTREADOS Y SELECCION DEL SUELO PARA LA ETAPA EXPERIMENTAL</b>	19
3.4.1	Técnicas de Análisis Utilizadas para Caracterizar al Suelo Seleccionado (Testigo Universal)	
3.5	<b>RECOLECTA DEL MATERIAL VEGETAL</b>	24
3.5.1	Trampa para la Hojarasca Arbórea	
3.6	<b>PROCESAMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL</b>	26
3.7	<b>ANALISIS DE LA HOJARASCA, PREVIO AL EXPERIMENTO</b>	27
3.7.1	Etapas Metodológicas previas al Experimento	
	<b>ETAPA I</b>	
	Determinación de las características físicas y de las relaciones volumen– masa en el espacio experimental	
	<b>ETAPA II</b>	
	Preparación del material vegetal	
	<b>ETAPA III</b>	
	Preparación del suelo seleccionado (Ss)	
	<b>ETAPA IV</b>	
	Preparación de las soluciones	
3.8	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL</b>	32
3.8.1	Establecimiento del Experimento	
3.8.2	Descripción del Diseño Experimental	
3.8.3	Infraestructura Necesaria para el Desarrollo del Experimento	
3.8.4	Procedimientos de Medición y Análisis Utilizados Durante el Experimento	
3.9	<b>ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DEL TESTIGO UNIVERSAL, TESTIGOS DE CONTROL Y UNIDADES EXPERIMENTALES DESPUES DEL EXPERIMENTO</b>	36
3.10	<b>ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES</b>	37
3.11	<b>ANALISIS ESTADÍSTICO</b>	39



	Pág	
4.1	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	40
4.2	<b>CARACTERISTICAS DEL SUELO SELECCIONADO PARA ESTA INVESTIGACION</b>	41
4.2.1	Propiedades Geoquímicas y Edáficas, del Suelo Testigo Universal (TU)	
4.2.2	Clasificación, Nomenclatura y Correlación del Suelo Testigo Universal (TU)	
4.3	<b>CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LA ZONA DE RECOLECTA DEL MATERIAL VEGETAL</b>	45
4.4	<b>FUNCIONAMIENTO Y NIVEL DE EFICIENCIA DE LAS TRAMPAS DE MUESTREO</b>	47
4.5	<b>CARACTERISTICAS Y COMPOSICION DEL MATERIAL VEGETAL RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS</b>	47
4.6	<b>COMPORTAMIENTO FISICO DEL MATERIAL VEGETAL</b>	49
4.7	<b>ANALISIS EXPERIMENTAL: VALORES ESTADISTICOS VS. VALORES CRITICOS</b>	50
4.7.1	Valores Estadísticos y Valores Críticos	
4.8	<b>EFFECTOS ORIGINADOS POR LOS DIFERENTES TIPOS DE HOJARASCA UTILIZADAS</b>	52
4.8.1	Arena Total vs Tipos de Hojarasca	
4.8.2	Arena muy fina + Limo vs Tipos de Hojarasca	
4.8.3	Materia Orgánica vs Tipos de Hojarasca	
4.8.4	Tipos de Estructura vs Tipos de Hojarasca	
4.8.5	Permeabilidad vs Tipos de Hojarasca	
4.8.6	Erodabilidad vs Tipos de Hojarasca	
4.9	<b>EROSION ACTUAL: PERDIDA DE SUELO</b>	60
4.10	<b>MICROFLORA TOTAL PRESENTE EN EL SUELO</b>	61
	<b>CONCLUSIONES</b>	66
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	67

	<b>Pág</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>71</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>COMPOSICION, POR PESO, DE LAS FRACCIONES DE HOJARASCA DE PINO, EUCALIPTO Y ENCINO OBTENIDAS POR RECOLECTA</b></li><li>• <b>PROMEDIOS DE MADERA Y HOJAS RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS DE HOJARASCA</b></li></ul>	

**RELACION DE TABLAS**

	<b>Pág</b>
<b>1 VALORES PARAMETRICOS PARA LA COBERTURA DE HOJARASCA</b>	<b>7</b>
<b>2 COMPOSICION QUIMICA PORCENTUAL DE ALGUNOS RESTOS VEGETALES</b>	<b>11</b>
<b>3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>17</b>
<b>4 RASGOS BIOFISICOS DE LA ZONA DE MUESTREO</b>	<b>40</b>
<b>5 ANALISIS FISICOQUIMICOS Y MINERALOGICOS DEL SUELO TESTIGO UNIVERSAL (TU)</b>	<b>43a</b>
<b>6 RASGOS BIOFISICOS DE LA ZONA DE MUESTREO DEL MATERIAL VEGETAL</b>	<b>45</b>
<b>7 CUANTIFICACION DEL MATERIAL VEGETAL RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS DE PINO</b>	<b>48a</b>
<b>8 CUANTIFICACION DEL MATERIAL VEGETAL RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS DE EUCALIPTO</b>	<b>48b</b>
<b>9 CUANTIFICACION DEL MATERIAL VEGETAL RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS DE ENCINO</b>	<b>48c</b>
<b>10 COMPOSICION DEL MATERIAL VEGETAL (HOJARASCA), ANTES DEL EXPERIMENTO</b>	<b>49a</b>
<b>11 RELACION C:N EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES</b>	<b>49b</b>
<b>12 PROMEDIO DE LOS ANALISIS MECANICOS DE LAS PARTICULAS</b>	<b>52a</b>
<b>13 DETERMINACION DEL FACTOR K</b>	<b>56a</b>
<b>14 PROMEDIO DE LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS TESTIGOS Y UNIDADES EXPERIMENTALES</b>	<b>56b</b>
<b>15 PROMEDIO DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS TESTIGOS Y UNIDADES EXPERIMENTALES</b>	<b>56c</b>
<b>16 DETERMINACION CUANTITATIVA DE OXIDOS TOTALES A TRAVES DE LA TECNICA PINE</b>	<b>57b</b>

---

17	PERDIDA TEORICA DEL SUELO EN t/ha/año	60a
18	PROMEDIO DE LA MICROBIOTA PRESENTE EN EL SUELO DESPUES DEL EXPERIMENTO	62
19	COMPOSICION POR PESO DE LAS FRACCIONES DE HOJARASCA EN PINO	73
20	COMPOSICION POR PESO DE LAS FRACCIONES DE HOJARASCA EN EUCALIPTO	74
21	COMPOSICION POR PESO DE LAS FRACCIONES DE HOJARASCA EN ENCINO	75

## RELACION DE FIGURAS

	Pág
1 DISTRIBUCION DE LA MATERIA ORGANICA EN EL SUELO	9
2 LOCALIZACION DEL SITIO Y PERFILES MUESTREADOS	18
3 NOMOGRAMA DE WISCHMEIER	21
4 ESQUEMA DE LA TRAMPA UTILIZADA PARA RECOLECTAR HOJARASCA	24
5 LOCALIZACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO DE LA HOJARASCA	25
6 UNIDADES EXPERIMENTALES: DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS	33
7 DETERMINACION DEL BALANCE HIDRICO DE LA SIERRA "LA PRIMAVERA"	42
8 DETALLE MORFOLOGICO DEL PERFIL II (TU)	43
9 REGISTRO DE LOS DATOS CLIMATOLOGICOS DE C.U.	46
10 NOMOGRAMA DE WISCHMEIER Y VALORES CRITICOS	51
11 PORCENTAJES DE ARENA TOTAL	52 b
12 PORCENTAJES DE ARENA MUY FINA + LIMO	53 a
13 PORCENTAJES DE MATERIA ORGANICA TOTAL	55 a
14 DETERMINACION CUANTITATIVA DE OXIDOS TOTALES A TRAVES DE LA TECNICA PIXE	57 a
15 ESTRUCTURA PREDOMINANTE	58 a
15A D AGREGADOS	58 b
16 PERMEABILIDAD %	59 a
17 FACTOR K	59 b
18 PORCENTAJE DE INCREMENTO DE HONGOS	63
19 PORCENTAJE DE INCREMENTO DE BACTERIAS	63

---

19	<b>PORCENTAJE DE INCREMENTO DE BACTERIAS</b>	63
20	<b>PORCENTAJE DE INCREMENTO DE ACTINOMICETOS</b>	64
21	<b>PORCENTAJE DE INCREMENTO EN ORGANISMOS CELULOLITICOS</b>	64
22	<b>PROMEDIO DE HOJAS RECOLECTADAS</b>	75
24	<b>PROMEDIO DE MADERA RECOLECTADA</b>	75
25	<b>RECOLECTA DEL MATERIAL VEGETAL DE PINO</b>	76
26	<b>RECOLECTA DEL MATERIAL VEGETAL DE EUCALIPTO</b>	76
27	<b>RECOLECTA DEL MATERIAL VEGETAL DE ENCINO</b>	77

## INTRODUCCIÓN

Todas las características de un suelo son dinámicas y tienden a través del tiempo, a establecer un equilibrio metaestable con el medio. La erodabilidad, definida como la vulnerabilidad de un suelo a la erosión; es el resultado de la interacción de varias características edáficas. Entre ellas destacan: (1) contenidos de arena total y porcentajes de arena muy fina y limo; (2) porcentaje de materia orgánica; (3) forma, tamaño y grado de desarrollo de los agregados y (4) grado de permeabilidad.

Consecuentemente, la erodabilidad de un suelo cambia a través del tiempo (De Ploey, 1980). Este cambio puede ser natural o inducido pero, en la mayoría de los casos, muestra una correlación significativa estadísticamente, con la variación en el contenido de materia orgánica cuando se trata de un suelo agrícola, y con el contenido de materia orgánica y hojarasca, cuando se trata de un suelo forestal (Curiel, 1990).

Si se considera que la mayoría de los suelos de México son suelos con aptitud natural forestal, que muestran un riesgo alto de erodabilidad y que el 80% de la superficie del territorio nacional presenta diferentes grados de erosión (Gama, *et al.*, 1990), se justifica la necesidad de incrementar la investigación con un enfoque a la fracción orgánica de éstos. Existen diferentes metodologías que tratan de evaluar la erodabilidad, así como la tasa de erosión. Todas ellas fueron diseñadas para su aplicación en zonas templadas con una agricultura altamente tecnificada, infraestructura y políticas de conservación bien definidas (Hudson, 1990).

Actualmente, las dos metodologías utilizadas comúnmente, aunque no siempre de modo adecuado, son la establecida por SCCS - USDA (1990), así como la propuesta por FAO - PNUMA (1980). Ambas coinciden en que para estimar la erosión, es necesario calcular una serie de valores paramétricos para los siguientes factores: (a) agresividad de la lluvia; (b) unidad del suelo y grado de erodabilidad, (c) relieve, forma, gradiente y longitud de la pendiente y (d) vegetación natural y/o uso del suelo. Dentro de estas consideraciones SCCS - USDA incluye, además, los factores de explotación de la tierra y las medidas de conservación del suelo.

Al respecto, con base en las investigaciones realizadas por Curiel (1990), entre otros, es posible afirmar que con excepción del factor VEGETACIÓN NATURAL, los demás factores que son considerados en ambas ecuaciones, muestran una sólida pero versátil conceptualización, tanto teórica como práctica, que los hace viables para su evaluación en muchas zonas ecológicas de México.

En contraste, la evaluación del factor VEGETACIÓN NATURAL resulta muy cualitativa y con frecuencia poco precisa, de modo especial cuando se aplica a zonas forestales que han sido o están siendo degradadas por la erosión. Esto, según Hudson (1990), se debe a que en los países donde se han diseñado tales metodologías, la erosión de los suelos forestales es prácticamente nula o está controlada.

Así, la evaluación del factor VEGETACIÓN NATURAL en dichas metodologías, sólo estima el porcentaje de cobertura que una determinada especie, puede proporcionar al suelo contra el impacto de la lluvia, suponiendo la presencia de un mantillo forestal sobre él. Esto último, desafortunadamente, no es muy frecuente en México donde la influencia antrópica ha destruido o dañado significativamente dicho mantillo.

Por otra parte, se sabe que la cobertura de la VEGETACIÓN NATURAL, también denominada Factor C, protege al suelo del impacto directo de la lluvia. Sin embargo, como señala Hudson (1990), su efecto es ambivalente. La lluvia retenida en el follaje cae al suelo con un tamaño y masa de gota mayor que el de la lluvia. Consecuentemente, con una aceleración y energía cinética superior, suficientes para disgregar los agregados, compactar al suelo por oclusión de los poros y transportar a éste por efecto de la escorrentía. (hidroerosión)

Desafortunadamente, estos fenómenos son muy comunes en las zonas forestales, principalmente en aquellas donde no existe hojarasca, o ésta ha sido dañada por la agricultura itinerante, la ganadería, o por la práctica de quema, tan común en el país.

Por otra parte, también se debe considerar que la descomposición de la hojarasca (mineralización primaria), además de producir sustancias y aglutinantes (hidrosolubles) que ayudan a formar agregados y a estabilizar la estructura del suelo, suministra nutrimentos, que al igual que la lluvia fueron retenidos por el follaje, raíces adventicias, exudados y otros elementos bióticos como las bacterias (Jordán, 1982). Además, la caída y mineralización de la hojarasca no es solamente una incorporación de nutrimentos sino también de materia orgánica fresca.

Los resultados obtenidos en esta tesis, permiten considerar, que la eficiencia con que la hojarasca protege al suelo, la velocidad con que se mineraliza y libera nutrimentos, así como la forma, tamaño y desarrollo de los agregados que se forman a partir de sus hidrosolubles y de la actividad biótica, dependen de la naturaleza de cada tipo de hojarasca.

Esto es importante desde un punto de vista práctico, ya que sugiere que para rehabilitar un suelo forestal, no sólo basta con incrementar la cobertura vegetal y el mantillo vegetal a través de la forestación, sino que además, se deben seleccionar cuidadosamente las especies. Por ejemplo, el caso del eucalipto, que en muchas ocasiones no proporciona un beneficio real al suelo ni al ecosistema.

El propósito inmediato que tiene esta tesis es el de crear y fortalecer la conciencia sobre la importancia que tiene la hojarasca en la dinámica y conservación de los suelos forestales. En tanto que el propósito mediano, es el de proponer a la hojarasca como un factor paramétrico que debe considerarse para la correcta estimación cuantitativa de la hidroerosión en los suelos forestales



## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La erosión, es un problema de alcance mundial y uno de los más graves que existen en México. Este fenómeno implica una degradación que, generalmente, culmina con la pérdida parcial o total del suelo. Es un fenómeno complejo que no se rige únicamente por el principio de la causalidad, ya que su origen y dinámica son resultado de la acción conjunta de una gama de variables, algunas intercurrentes (Gama *et al.*, 1990). Consecuentemente, para su comprensión, análisis y evaluación, es necesario simplificar e idealizar este fenómeno a través de un modelo paramétrico teórico, o experimental.

Sin embargo, actualmente no existe en México una metodología adecuada para valorar la degradación por hidroerosión de los suelos, ni para dar medidas de protección a éstos. Consecuentemente, las medidas de conservación se imparten de modo más lento que la velocidad con que la erosión avanza (Hudson, 1990; Chapela, *et al.*, 1999).

El problema de la erosión del suelo en superficies cubiertas de bosque, debería ser normalmente menos severo que en las tierras arables (FAO-Unesco, 1984). Así, la cubierta protectora que la vegetación forestal suele proporcionar, es un excelente medio de defensa debido a que hay acumulación de restos vegetales sobre el suelo. Sin embargo, en México no siempre cualquier bosque da lugar a estos resultados (Curiel, 1989; Maass 1999). Diversas costumbres, como son la tala, la quema de pastizal y el pastoreo, principalmente, destruyen de manera severa o total la cubierta vegetal que se encuentra protegiendo al suelo. Además, es importante mencionar que dependiendo de la especie biológica de la cual provenga la cubierta vegetal, el suelo estará más o menos protegido y recibirá diferentes aportes, producto de la mineralización de la hojarasca (Tewolde, 1999) lo cual, afecta su erodabilidad. La erodabilidad del suelo es su vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión, es decir, la inversa de la resistencia de la erosión (USDA Manual 18, 1999). Un suelo con erodabilidad elevada sufrirá más erosión que un suelo con erodabilidad baja si ambos están expuestos al mismo tipo e intensidad de lluvia. Dentro de los factores más importantes que influyen en la erodabilidad, están el porcentaje de materia orgánica y el grado de agregación del suelo. Ambos factores dependen directamente de la naturaleza y contenidos orgánicos que se mineralizan en la superficie del suelo.

Con base en la literatura especializada (FAO-PNUMA, 1980) es posible considerar que en general, los suelos forestales de México presentan erodabilidad alta principalmente debida a los tres siguientes factores: (1) bajo contenido de materia orgánica, (2) deficiente o débil formación de agregados y (3) alto contenido de limo.

Los principales suelos forestales de coníferas en México son denominados Andosoles. Estos, bajo condiciones naturales, presentan contenidos elevados de materia orgánica, una buena agregación y contenidos elevados de limo. Este limo, por efecto de la materia orgánica, hidrosolubles y microorganismos, se encuentra formando agregados muy estables. Desafortunadamente, la necesidad de abrir nuevas áreas al cultivo ha afectado las propiedades naturales de estos suelos, principalmente en México, donde en muchos bosques el contenido de materia orgánica difícilmente rebasa el 2% (Curiel, 1989).

Pero esta no es toda la problemática, actualmente se ha verificado en algunos bosques (Curiel, 1989) que aún la lluvia de intensidad y velocidad moderada (25 mm/h) provoca erosión por impacto y erosión de arrastre debido a que la cobertura vegetal es baja como consecuencia de

la tala. Además, la capa de hojarasca que cubría al suelo fue destruida por incendios provocados.

Así, es posible afirmar que en todas las ecuaciones, fórmulas y modelos (SCS-USDA (1975)-FAO-PNUMA 1980) que tratan de evaluar la erosión hay importantes deficiencias con relación a la realidad, ya que no consideran el efecto de protección y naturaleza de la hojarasca. Por otra parte, también es un problema grave para las prácticas de reforestación el hecho de que no se elijan especies arbóreas adecuadas que en realidad disminuyan la erodabilidad del suelo. En la mayoría de los casos, se eligen aquellas especies de crecimiento rápido y alta resistencia que muestren algún interés económico, pero que en muchas ocasiones no proporcionan ningún beneficio real al suelo. La observación de estos principios elementales resolvería, significativamente, el problema de la hidroerosión tan severa que se manifiesta en los bosques de México.

## OBJETIVOS

- **Específicos:**

1. Evaluar el efecto agregante de los compuestos hidrosolubles derivados de tres tipos de hojarasca, en un suelo altamente erodable.
2. Evaluar el efecto de los compuestos hidrosolubles en la microflora total del suelo.
3. Evaluar el efecto de dichos hidrosolubles vegetales en las propiedades del suelo que, según la SCCS – USDA (1975), determinan su erodabilidad, como son: (1) contenido de arena total, (2) porcentaje de arena muy fina y limo, (3) porcentaje de materia orgánica, (4) forma, tamaño y estabilidad de agregados y (5) permeabilidad

## HIPOTESIS

Con base a la revisión bibliográfica realizada y, consecuentemente, en el marco teórico generado y establecido en esta tesis, se plantearon las siguientes hipótesis:

1. Las fórmulas y modelos matemáticos o paramétricos actualmente empleados para predecir y cuantificar la hidroerosión de un suelo, con relación al factor de vegetación (Factor C), sólo estiman el porcentaje de cobertura vegetal y el uso del suelo. Así, al omitirse el efecto protector y dinámico de la hojarasca sobre el suelo, los resultados obtenidos se caracterizarán, necesariamente, por un grado alto de incertidumbre.
2. Durante la mineralización primaria de la hojarasca los hidrosolubles liberados actúan directamente sobre las propiedades y dinámica de las diferentes fracciones de los apartados texturales del suelo. Su acción propicia, en un grado y tiempo variable que dependen del tipo y naturaleza de la hojarasca, cambios significativos en aquellas características del suelo que le confieren su erodabilidad.
3. Los diferentes tipos y naturaleza bioquímica de las hojarascas, también generan al mineralizarse, diferentes condiciones biológicas en los suelos. Esto propicia el desarrollo de diferentes organismos, de acuerdo con las condiciones generadas. La variabilidad en especies y número de individuos por especie, también son factores que inciden sobre la erodabilidad del suelo a través de la formación de distintos tipos de agregados.

## 2. MARCO TEÓRICO

La remoción de material de la superficie terrestre por efecto del intemperismo, escurrimiento, movimiento de hielo, viento y movimiento de masas, se denomina erosión (Harrison, 1997). Esta definición aunque es correcta, no refleja la complejidad del fenómeno. Así, la erosión es un fenómeno que no se rige únicamente por el principio de la casualidad, ya que su origen y dinámica son resultado de la acción conjunta de una gama de variables, algunas intercurrentes (Gama *et al.*, 1990).

En este capítulo, se presentan algunos de los principales conceptos, leyes y axiomas establecidos a través de la investigación, sobre el fenómeno de la erosión y las variables que afectan su dinámica y magnitud. Debido a la temática desarrollada en ésta tesis, se da un énfasis especial a aquellas características, como son: (a) erodabilidad del suelo (Factor K); (b) materia orgánica y mineralización de la hojarasca (c) formación de agregados y efecto de microorganismos.

### 2.1 EROSIÓN

#### 2.1.1 Erosión Geológica

Siempre ha habido y habrá erosión (Hudson, 1990). La superficie terrestre está cambiando continuamente. El modelo físico de la superficie que ahora se observa no es el resultado de cataclismos aislados que la esculpen, sino de cambios tan lentos que sólo son perceptibles cuando se aprecian después de siglos. La erosión geológica o erosión natural, es uno de los principales aspectos de este constante proceso de cambios y es fundamental para la formación de los suelos aluviales y rocas sedimentarias.

La actividad del hombre rara vez retrasa o detiene el proceso y lo normal es que lo acelere. De igual modo, si las condiciones climáticas y topográficas son tales que la erosión geológica sea más activa, estas condiciones conducirán a una erosión particularmente severa.

##### 2.1.1.1 Dinámica de la erosión

La erosión del suelo es el factor ambiental más importante que afecta la sustentabilidad y capacidad productiva de la agricultura. Durante los últimos 40 años, aproximadamente un tercio de las tierras arables del mundo se han perdido por la erosión y continúan perdiéndose a una velocidad de más de 10 millones de ha/año. Con la presencia de un cuarto de millón de gente que nace cada día, la demanda mundial de alimento se incrementa, pero al mismo tiempo, la productividad de alimento por persona va declinando (FAO-UNESCO, 1998).

Desde la aparición del hombre, la erosión se ha incrementado hasta el punto de que excede por mucho la formación de un nuevo suelo. Debido a la demanda de alimentos, la población mundial está agotando sus suelos; convirtiendo un recurso renovable en un recurso no renovable. Así, 10% de toda la energía mundial se pierde, incluyendo nutrientes, cuerpos de agua y productividad de energía fósil o derivada de ella, como son: fertilizantes, pesticidas e irrigación, para tratar de disminuir el daño causado por la erosión y mantener la producción de granos. Es posible admitir que existe una situación grave de dependencia y un riesgo también grave de desabasto, ya que la energía fósil y sus derivados son finitos (Obregón, 1999)

### 2.1.1.2 Agentes de la erosión

- **El viento.** Este fenómeno natural no puede por sí mismo desgastar las rocas; la abrasión, incluso de las rocas duras, sólo tiene lugar mediante los granos finos de arena o suelo arrastrado en la superficie por el viento (fricción general).
- **El agua.** Es probablemente el agente erosivo más importante. La lluvia, barrancos y ríos arrastran lejos el suelo y las olas erosionan las orillas de los mares y lagos, de hecho donde quiera que el agua esté en movimiento, erosiona sus contornos.
- **Los cambios de temperatura.** Un ejemplo es la ruptura y descamado de las rocas por la variación de la temperatura (termoclastia). Las oscilaciones rápidas entre el día y la noche, afectan sólo a la superficie de las rocas, mientras que los cambios debidos a variaciones más lentas entre el verano y el invierno, penetran profundamente en estos materiales
- **Mecanismos biológicos.** Algunos procesos erosivos actuales, pueden ser originados por organismos vivos tales como líquenes y musgos, pero el principal efecto de los seres vivos es su papel como aceleradores de otros agentes. Por ejemplo el pisoteo de los animales sobre las rocas y suelos crea condiciones favorables para que los fragmentos formados sean arrastrados por el viento o por el agua.

### 2.1.2 Erosión Acelerada

La erosión del suelo que resulta del uso inadecuado que el hombre hace de este recurso, se denomina erosión acelerada (antrópica). A escala mundial, las actividades no agrícolas del hombre que aceleran los procesos erosivos son apenas significativas (Hudson, 1990). Por el contrario, casi todas las actividades agrícolas tienden a incrementar la erosión. Al respecto, Gama y colaboradores (1990) citan que desde que se inició la agricultura, más de 2000 millones de hectáreas de suelos agrícolas han desaparecido o han sido inutilizadas por la erosión. Según la FAO UNESCO (1984), más de 25 000 millones de toneladas de materiales rocosos y edáficos son erosionados y transportados al mar cada año. Esta cantidad de detritos es suficiente para cubrir una superficie aproximada de 10 000 km<sup>2</sup> con una capa de 1.5 m de espesor.

Así, la erosión acelerada es un problema de alcance mundial y uno de los más graves que existen en México. Este fenómeno implica una degradación que, generalmente, culmina con la pérdida total del suelo.

## 2.2 ERODABILIDAD

Según Millward y Mersey (1999), la erodabilidad del suelo desde un punto de vista práctico, es la resistencia de éste a ser dislocado y transportado. Dos grupos de factores influyen en la erodabilidad de un suelo. Están en primer lugar, las características biofísicas del suelo, ya mencionadas en la introducción y, en segundo lugar, los tratamientos de uso a los que se haya sometido (Hudson, 1996). Desde luego, la cantidad y naturaleza de los constituyentes químicos, orgánicos e inorgánicos presentes en el

suelo, también son determinantes. Esto es debido a que la mayoría de estos compuestos, potencialmente, pueden actuar como aglutinantes que cementan las partículas del suelo y forman agregados

Se sabe, de modo categórico, que para que exista erosión en un suelo, es requisito que los agregados presentes sean disgregados y posteriormente, transportados. En suelos pobremente agregados, el orden de mayor a menor facilidad de dislocamiento y transporte de las partículas primarias del suelo es: limo > arena > arcilla. Esto se debe a que las arenas, por su tamaño de partícula y las arcillas, debido a las cargas de superficie que presentan son difícil de transportar por el viento o por el agua. En contraste, el limo debido a su escaso peso y baja cantidad de cargas resulta el material más viable de ser erosionado.

En el caso, no común, de algunos suelos forestales de México, en el que se incluyen los Andisoles (Gama, *et al.*, 1990 b), el valor de erodabilidad es bajo, no obstante los altos contenidos de limo que presentan. Esto se debe fundamentalmente a cuatro factores: (1) porcentaje de cobertura vegetal y presencia de hojarasca sobre el suelo, (2) porcentajes de materia orgánica y actividad biológica, (3) agregación de las partículas del suelo a tamaños de limos (pseudolimos) y arenas muy finas que muestran una alta densidad de carga variable y (4) excelente permeabilidad.

Sin embargo, casi cualquier cambio de uso o perturbación que afecte la cobertura vegetal y el mantillo, incrementa de modo desproporcionado su erodabilidad, ya que afecta rápidamente los contenidos de materia orgánica y la biota del suelo. Todo ello, como se mencionó, dentro de un equilibrio metaestable. Pero, si el cambio es tan drástico como para romper este equilibrio, la erodabilidad del suelo se incrementa a tal grado que se inicia una erosión casi irreversible, coadyuvada por los altos contenidos de limo presentes y por la disminución en la permeabilidad, que facilita el incremento de la escorrentía.

### 2.2.1 La Erodabilidad (Factor K) y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

La erodabilidad del suelo, como factor paramétrico de la EUPS, se denomina Factor K y corresponde, según Wischmeier *et al.* (1971), a una unidad parcelaria por unidad índice de erosión. Una unidad parcelaria está definida como una superficie de 22.1 m de longitud, 9% de pendiente, que es continuamente labrada y se mantiene libre de cualquier cobertura vegetal.

La ecuación se desarrolló, teóricamente, para estimar la tasa de erosión bajo diversas condiciones de tipos de manejo agrícola y es la siguiente:

$$A = RKLSCP \text{ -----(1)}$$

Donde:

A = tasa pronosticada de pérdida de suelo en ton/ha/año

R = índice de erosión de lluvia

K = factor de erodabilidad del suelo

L y S = factores de longitud y gradiente de pendiente, respectivamente

C = factor de cobertura vegetal, cultivos y manejo

P = factor de prácticas de conservación

Como puede notarse, la EUPS no considera dentro de sus variables el efecto de protección que la hojarasca da al suelo contra la energía cinética de la lluvia, así como tampoco el efecto de los hidrosolubles liberados por la mineralización de la materia orgánica fresca sobre el suelo. Estas dos variables, aún no contempladas, constituyen una parte medular en la investigación realizada. Como se discute posteriormente, se considera que el efecto de las citadas variables debería ser incluido dentro de la Ecuación EUPS, para que en realidad fuera universal y aplicable con baja incertidumbre.

### 2.2.2 La Erodabilidad (Factor K) y la Vegetación Natural (Factor C)

La vegetación natural presenta, fundamentalmente, dos funciones importantes para la conservación de los suelos:

1. Protege al suelo de la erosión a través de interceptar las gotas de lluvia y absorber su energía cinética (Stoking, 1988).
2. Es la fuente principal de materia orgánica para el suelo.

La primera afirmación virtualmente resulta verdadera, pero no es absolutamente real, como recientemente lo han demostrado diferentes experimentos realizados por Elwell y Wendelaar (1977), Stoking (1984) y Elwell y Stoking (1986). De estos experimentos es posible concluir que:

- La relación erosión – cobertura vegetal es curvilínea.
- La tasa de erosión es poco diferente en bosques con coberturas de 100 a 60%, cuando está presente una capa de hojarasca.
- El escurrimiento muestra el mismo patrón, en coberturas de 100 a 60% cuando está presente una capa de hojarasca.

Por otra parte, dependiendo de la especie arbórea que constituya la cobertura vegetal, su acción puede ser ambivalente. Por ejemplo, en un bosque de Pinus-Quercus poco alterado, que tenga una producción de hojarasca de 6 o más ton/ha/año, generalmente la pérdida de suelo por erosión es menor a 500 kg/ha/año. En contraste, Stoking (1988) reporta para una plantación de Eucaliptus sp. con una producción similar de hojarasca localizada en Val do río Brasil, una pérdida de suelo superior a 15 ton/ha/año por efecto de la erosión laminar.

¿Cuáles son las causas de esta diferencia? Existen varios motivos aparentes:

- La altura de las cubiertas vegetativas sobre la superficie del suelo
- La forma de las hojas
- El porcentaje de hojarasca que cae al suelo, previo a la estación de lluvias
- La velocidad de mineralización primaria de esta hojarasca
- La naturaleza de los hidrosolubles derivados de la descomposición de la hojarasca, y
- La interrelación entre la hojarasca, sus derivados y la biota del suelo

Así, Sreenivas (1987), demostró que la formación de gotas de agua de mayor tamaño y masa que las de lluvia original, puede llevarse a cabo en algún tipo de hoja que por su forma retiene el agua. Estas gotas neoformadas, en su caída al suelo pueden acelerarse suficientemente, hasta obtener una energía cinética con alto porcentaje erosivo. Por ejemplo, una gota de lluvia de 2 mm de diámetro, con una velocidad terminal de 6 m/seg tiene la misma energía cinética que una gota de 3mm cayendo a 3.25 m/seg velocidad que alcanza en su primer metro de caída a partir del follaje. Stoking (1988), advierte que



“ nunca se debe subestimar la energía cinética de las gotas de agua que caen de la vegetación”.

Por otra parte, la presencia de hojarasca sobre el suelo tiene una influencia determinante como factor de protección física o mecánica contra la lluvia y la radiación solar, como lo muestran los trabajos realizados por Curiel (1990). Sus resultados están sintetizados en la Tabla 1. Otros autores como Perrott (1987), consideran que la hojarasca es un factor intermedio entre las plantas y el humus.

**TABLA 1. VALORES PARAMETRICOS PARA LA COBERTURA DE LA HOJARASCA**

Cubierta	Cobertura (%)	Valor C	Eficiencia (%)
Suelo desnudo	0 0	0.65	35
Andosol			
Pino sin hojarasca	<60	0.55	45
Encino sin hojarasca	<60	0.31	69
Pino con hojarasca	<60	0.02	99.8
Encino con hojarasca	<60	0.01	99.9
Pasto	100	0.01	99.9

Como puede apreciarse en la Tabla 1, el suelo desnudo sólo tiene una capacidad para disminuir en 35% la fuerza erosiva de la lluvia. En el caso del bosque de Pino y Encino sin hojarasca, esta capacidad se eleva, adquiriendo un incremento significativo cuando los bosques presentan hojarasca.

Por otra parte, De Ploey (1976), demostró, que efectivamente, el pasto reduce la erosión en pendientes menores de 5<sup>o</sup>, pero en pendientes mayores de 8<sup>o</sup>, la erosión puede, con frecuencia, exceder el valor establecido para un suelo desnudo. Concluye que en las pendientes fuertes, se originan corrientes en remolino alrededor del pasto, lo que origina una pérdida considerable de suelo.

Obviamente, existe una interrelación compleja entre la vegetación, la pendiente, la unidad de suelo, su erodabilidad y la erosión.

### 2.2.3 La Erodabilidad y su Medición

Existen varias formas de determinar la erodabilidad de un suelo, pero tres de ellas de acuerdo con Páez *et al.*, (1992) son las más importantes:

- **Parcelas de erosión.** Se utilizan para medir la erosión directamente bajo condiciones de campo. Esta técnica es costosa en tiempo y dinero, además de que requiere un cuidado minucioso.
- **Medición de K bajo lluvia simulada.** El simulador de lluvias es el aparato más empleado para ello; consiste en colocar el suelo en un recipiente de madera que debe tener las siguientes dimensiones: 1 m de ancho por 2 m de largo y 15 cm de profundidad. El recipiente debe estar colocado con una pendiente ajustada a 7<sup>o</sup>. El suelo colocado en dicho recipiente es sujeto a una lluvia simulada donde se controlan las diferentes intensidades de la precipitación y se expone a un tiempo

predeterminado de 30 min. Los sedimentos que son desalojados de la charola son recolectados y medidos por peso.

- **Predicción de K usando ecuaciones de regresión.** La predicción de K puede ser hecha usando ecuaciones de regresión que relacionan a K con las propiedades físicas y químicas del suelo. Como se ha mencionado, entre las propiedades que más influyen sobre K está el contenido de limo en el suelo y la arena muy fina, el contenido de arena total, el porcentaje de materia orgánica, el tipo de estructura y la permeabilidad del suelo.

La ecuación para valorar K es la siguiente:

$$100K = 2.1 \times 10^4 \times (2 - Om) (ML 0.14 + 3.25 \times St - 2) + 2.5 \times (Pt - 3) \text{ -----(2)}$$

Donde:

Om = Contenido de materia orgánica

m = Suma de limo más arena muy fina

St = Estructura del suelo

Pt = Permeabilidad

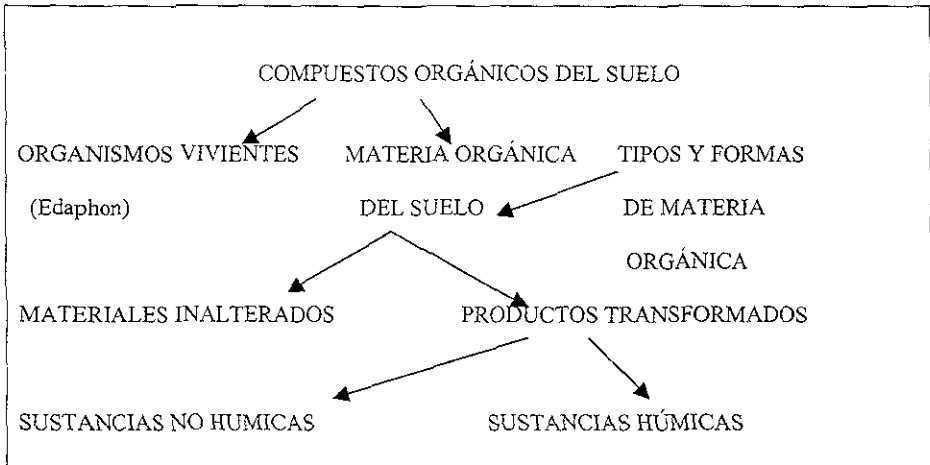
Esta ecuación también puede ser calculada a través del nomograma de Wischmeier *et al.* (1971). La pérdida de suelo se interpreta por toneladas/suelo/año

## 2.3 LA HOJARASCA Y LA MATERIA ORGÁNICA

### 2.3.1 Origen y Diagnóstico

La materia orgánica ha sido definida por Kumada (1987), como la masa de materia contenida en los organismos vivos y no vivos. Así, el término materia orgánica del suelo se utiliza para representar a los constituyentes orgánicos contenidos en el suelo, incluyendo restos de plantas y tejidos de animales, productos de su descomposición parcial y la biomasa del suelo. Este término, por definición, incluye: (i) materiales orgánicos de alto peso molecular como son los polisacáridos y proteínas; (ii) sustancias simples como azúcares, aminoácidos y otras pequeñas moléculas y (iii) sustancias húmicas. En la Figura 1 se ilustra la distribución de la materia orgánica en el suelo.

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO



Con la finalidad de ilustrar adecuadamente ésta figura, algunos investigadores como Buckman y Brandy (1971), Drozd y Weber (1996), Gliński (1993) y Kononova (1966), entre otros, dan las siguientes definiciones:

- **Compuestos orgánicos del suelo.** Incluye a los organismos vivos y sus productos, tanto los no descompuestos, como los parcial o totalmente descompuestos, así como los productos de esta transformación.
- **Organismos vivos.** Constituyen el edafón.
- **Materia orgánica del suelo.** Por definición se trata de una serie de componentes, no vivos, que constituyen una mezcla heterogénea formada principalmente por productos que resultan de la transformación química y microbiológica de restos orgánicos. La materia orgánica puede existir en diferentes patrones morfológicos, que son las bases de la clasificación denominada: Formas y Tipos de Humus.
- **Materiales inalterados.** Se refiere a los restos orgánicos frescos cuyos compuestos no han sido transformados.
- **Productos transformados.** Incluye compuestos cuya estructura morfológica es muy diferente a aquella de donde derivaron. Estos compuestos transformados son producto del proceso de humificación.
- **Sustancias húmicas.** Son sustancias con alto peso molecular, de color pardo ó negro, formadas por reacciones de síntesis secundarias. Este término es usado como un nombre genérico para describir el material orgánico oscurecido o sus fracciones obtenidas con base en sus características de solubilidad: (i) ácidos húmicos; (ii) ácidos fúlvicos y (iii) huminas.
- **Sustancias no húmicas.** Son compuestos que pertenecen a clases bioquímicas conocidas como son: carbohidratos, lípidos y aminoácidos.

Con base en éstas definiciones, se constituyó la definición conceptual sobre el término hojarasca utilizado en esta tesis. Así, la hojarasca representa en este caso particular, “una acumulación de hojas, ramitas y otras formas de materia orgánica, inicialmente no alterada, que está constituida fundamentalmente por sustancias no húmicas”. De acuerdo

con Mc Carthy *et al.*, (1990), el mayor porcentaje de adición de materia orgánica al suelo, es a través de la acumulación de hojarasca sobre su superficie.

### 2.3.2 Funciones de la Materia Orgánica - Hojarasca

Como se ha mencionado, además de la protección que la hojarasca proporciona al suelo al irse descomponiendo por efecto del intemperismo, presenta tres funciones fundamentales:

- **Nutricional.** Sirve como fuente de N y P para el crecimiento vegetal.
- **Biológica.** Afecta de modo significativo a los organismos de la microflora y microfauna.
- **Física y físico-química.** Proporciona una buena estructura al suelo, mejor aereación y retención de humedad, incrementando la capacidad buffer, así como la de intercambio.

### 2.3.3 Mineralización de la Hojarasca y de la Materia Orgánica

Al morir una planta o un animal, sus residuos se depositan sobre y dentro del suelo, empezando su descomposición. De modo especial, en esta primera etapa, el intemperismo físico y mecánico de los residuos es dominante; sin embargo, la depolimerización de compuestos proteicos y aromáticos, también se lleva a efecto (Nye y Greenland, 1965).

En la segunda etapa, la destrucción de los residuos orgánicos por intemperismo físico ha propiciado que ésta se fragmente a tamaños muy finos (limo – arena muy fina) lo que permite que, además de mezclarse con el resto del suelo, incremente su superficie de intemperismo bioquímico. Durante esta etapa además de liberarse elementos y aglutinantes, también se liberan algunos ácidos orgánicos que ayudan a disolver minerales y a hacerlos accesibles para las plantas (Bazilevich, 1967).

Durante la tercera etapa, la mineralización de la materia orgánica que fue adicionada por la descomposición de la hojarasca, es en primer lugar un proceso biológico que involucra a la microfauna del suelo. En ésta etapa participan principalmente las bacterias, los hongos, las levaduras, las algas y los actinomicetes. En primer lugar, son casi totalmente degradados los carbohidratos solubles, el almidón, las pectinas y las proteínas. Después de la degradación de la celulosa por bacterias, se pierde la estructura química de los restos quedando sólo la lignina, la cual puede ser descompuesta lentamente por algunos basidiomicetes.

En esta etapa se produce la separación final de los compuestos orgánicos y liberación de minerales. La velocidad de degradación de la materia orgánica depende, en primer lugar de la composición química del sustrato (Tabla 2). Cuando más viejas sean las plantas y mayor su contenido de lignina, menor será la velocidad de mineralización.

La relación C/N, el contenido de minerales como N, S, P, Ca, Mg y K del material vegetal, así como las condiciones de temperatura, humedad, aireación y pH del suelo, son factores que influyen sobre la velocidad de mineralización. La mineralización de los derivados de las ligninas es más lenta y complicada. En la Tabla 2 se da la composición química promedio de varios elementos vegetales que adicionan materia orgánica al suelo.

**TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL DE ALGUNOS RESTOS VEGETALES (Kononova, 1965).**

Resto vegetal	Resinas Ceras y Grasas	Proteínas	Celulosa	Hemicelulosa Carbohidratos solubles	Ligninas
Leguminosas Perennes Hojas Raíces	10-12 -----	10-15 12-20	20-25 15	25-30 10-12	10-15 5
Gramíneas Perennes Raíces	5-12	5-10	25-35	25-30	15-20
Especies Caducifolias Hojas Madera	3-5 -----	4-10 0.5-1	15-25 40-50	10-20 20-30	10 20-25
Especies Coníferas Hojas Madera	20-25 -----	5-7 0.1-1	20 45-50	15-20 15-25	15 20
Musgos Líquenes Algas Bacterias	----- ----- ----- -----	5-10 3-5 10-15 40-70	15-25 5-10 5-10 trazas	30-60 60-80 50-60 trazas	Trazas 8-10 trazas trazas

### 2.3.4 Medición de la Descomposición de la Materia Orgánica

Varias condiciones del suelo afectan la intensidad y velocidad de descomposición del material orgánico, tanto a través de agentes químicos como microbiológicos. Por ejemplo, los microorganismos del suelo tienen un rango óptimo de actividad entre los 21 y 38 °C. Las temperaturas fuera de este rango retardan su actividad.

La proporción con que se descompone la materia orgánica puede expresarse como el cambio en el contenido de carbono por unidad de tiempo, representado por la siguiente fórmula:

$$dc/dt = A - rC \text{ -----(3)}$$

Donde:

A = adición anual de materia orgánica

C = contenido de materia orgánica en el suelo

t = tiempo

r = constante de descomposición ó la fracción de carbono orgánico descompuesto cada año

El porcentaje de producción de CO<sub>2</sub>, puede afectar el porcentaje de intemperismo químico. Cuando el valor de r es alto, la oxidación de la materia orgánica es alta así como la producción de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a partir del CO<sub>2</sub> liberado. Esto da al suelo un mayor

índice de intemperismo y, consecuentemente, una mayor liberación de hidrosolubles y productos transformados. Tales condiciones son típicas de regiones tropicales, donde no obstante que la producción de materia orgánica es alta, su rápida mineralización empobrece a los suelos propiciando un intenso intemperismo químico, como en el caso de los Oxisoles (Van Wambeke, 1991).

En contraste, cuando el valor de  $r$  es bajo, la oxidación de la materia orgánica es lenta y existe menor producción de  $\text{CO}_2$ , consecuentemente, el intemperismo químico de la materia orgánica se reduce, lo que reduce su humificación. Tales condiciones son típicas de los Mollisoles.

En los suelos forestales, similares al estudiado las condiciones de acidez propician una lenta degradación de la materia orgánica, la cual se acumula en el horizonte A. Sin embargo, ante un cambio permanente de uso, la materia orgánica se pierde, en su mayoría, por lavado o erosión.

## 2.4 AGREGADOS Y FORMACIÓN DE AGREGADOS

Los agregados del suelo son grupos de partículas que están unidas a otras de modo más fuerte que las partículas adyacentes. El espacio poroso entre ellos es absolutamente necesario para la retención e intercambio del aire y del agua.

Su estabilidad es fundamental para evaluar la erodabilidad del suelo. Esta estabilidad se refiere a la resistencia para soportar su rompimiento cuando fuerzas externas, usualmente asociadas con agua, son aplicadas. Es importante mencionar que las características de los agregados, no alterados, dan índices adecuados. En tanto que las características de aquellos secados al horno, son usadas para la predicción de la erosión eólica.

Así, la agregación afecta la erodabilidad, la erosión, el movimiento del agua y el crecimiento de las plantas. Como ha sido mencionado, los agregados más deseables son aquellos que permanecen estables ante la lluvia y la escorrentía. Los agregados que se rompen en presencia del agua, o floculan por efecto de la lluvia crean, partículas individuales que pueden sellar la superficie del suelo por oclusión de los poros. Este rompimiento, además de sellar los poros, crea costras que incrementan el escurrimiento del agua, impiden su paso, al igual que del aire y restringen la emergencia de las plántulas que se desarrollan en el suelo.

La estabilidad de los agregados está directamente afectada por la textura del suelo, el tipo predominante de arcillas, la cantidad de hierro y cationes extractables, el contenido y tipo de materia orgánica presente y de modo significativo el contenido y tamaño de la población microbiana (NRCS – USDA 1998).

Algunas arcillas se expanden de acuerdo con su capacidad de absorción de agua. La expansión y contracción de las arcillas puede debilitar a los agregados, crear grietas en la masa del suelo y separar las partículas.

Los iones de calcio asociados con las arcillas generalmente promueven la agregación, mientras que los iones de sodio promueven la dispersión. Suelos con cerca del 5% de óxido de hierro, expresado como hierro elemental, tienden a generar una gran estabilidad, sin embargo, ésta depende del tipo de materia orgánica, de su relación C/N y de la aceptación que tenga para ser transformada por los microorganismos.

Las adiciones de materia orgánica incrementan la estabilidad de los agregados, la cual se origina después de su descomposición por medio de los microorganismos, que producen

cementantes químicos o micelios. Los microorganismos del suelo producen diferentes tipos de compuestos orgánicos que, dependiendo del tipo de materia orgánica y de la especie de microorganismos que la metaboliza, da lugar a agregados con diferente grado de estabilidad. Los micelios de los hongos al crecer, también unen las partículas del suelo, con frecuencia de modo más efectivo que los pequeños organismos, como son las bacterias (NRCS – USDA 1998).

Sin embargo, la estabilidad de los agregados declina rápidamente en suelos con cultivos o en suelos con barbecho.

## 2.5 AGREGADOS Y SU ESTABILIDAD

La proporción de agregados estables en agua menores de 0.5 mm en un suelo, es un buen índice de erodabilidad Rai *et al.*, 1954 Así, mientras mayor sea la proporción de agregados < 0.5 mm. mayor será la erodabilidad del suelo. Ya que generalmente, los suelos arenosos son más fácilmente erosionables por efecto de la precipitación pluvial, que los suelos arcillosos, ya que los agregados de los primeros se colapsan más rápidamente y sellan la superficie del suelo. Los suelos con mayor contenido de arcilla, de materia orgánica y microorganismos, tienen agregados más estables debido a los fuertes enlaces que existen entre sus coloides (Greenland, 1965<sup>a</sup>, b).

En los suelos bien agregados, las costras no se forman sobre los podios, o son más delgadas, por lo que las tasas de infiltración en estos suelos siguen siendo eficientes (Borst y Woodburn, 1942). Así mismo, mientras más agregados tenga una superficie edáfica menor será el material que se pierde por dispersión debido al impacto de las gotas de lluvia.

(Greenland *et al.*, 1975), han demostrado que los suelos de las tierras bajas de Inglaterra que tienen menos de dos por ciento de carbón orgánico (o sea 3.5 % de materia orgánica, tienen agregados inestables. Los suelos con menos de dos por ciento de materia orgánica se consideran erosionables en los Estados Unidos (Smith *et al.*, 1954).

Bajo cultivo permanente, el contenido de materia orgánica de los suelos disminuye a medida que se oxida por exposición al aire y los suelos ricos en arena fina y limo que tienen baja proporción de materia orgánica y baja actividad microbiana, se vuelven erosionables (Skidmore *et al.*, 1975)

Al respecto, para 110 suelos localizados en las tierras bajas de Inglaterra y Gales, hay datos publicados por el Soil Survey (1975), sobre tipo y porcentaje de arcilla, limos finos (2 – 20  $\mu$ ), limos gruesos (29 – 60  $\mu$ ) y fracciones arenosas en el estrato arable. En estos suelos, existe una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica (se mide por su pérdida por ignición) y las fracciones arcillosa – limosa fina. La relación es menos exacta para los suelos constituidos por limos finos, ya que ésta fracción generalmente comprende material inerte con pocas partículas de arcilla mineral. Por lo tanto, los epipedones arcillosos con contenidos > 2% de materia orgánica tendrán mejores estructuras y serán más resistentes a la fragmentación de los agregados Allison (1973)

Dos características, de la agregación como son la distribución en el tamaño y la estabilidad de los agregados, son medidas comunes y un gran número de investigadores las usan como índice de erodabilidad.

## 2.6 MEDICIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS

Numerosos métodos para la medición de la estabilidad de los agregados se emplean a nivel mundial, sin embargo, el método estandar de la NRCS Soil Survey laboratory (1998) puede ser usado tanto en el campo como en el laboratorio. Este procedimiento involucra una agitación repetida de los agregados en agua destilada. Después de un periodo predeterminado, el número de agregados que permanecen estables da el porcentaje de agregación. Se ha observado que los agregados constituidos por un alto porcentaje de limo, muestran una baja estabilidad debido a que el agua en este tipo textural destruye rápidamente la estructura.

Entre los otros métodos frecuentes en su uso para medir la estabilidad de los agregados se tienen los siguientes:

- Adams, (citado por Kirkby y Morgan, 1984) usó el índice de dispersión y estabilidad de agregados en estudios de erosión. Comparó los resultados con relaciones de infiltración y escorrentía y valores de erosión obtenidos bajo lluvia simulada en campo. Encontró que el porcentaje, en peso, de los agregados estables al agua mayores de 2 mm, fueron significativos al correlacionarlos con las pérdidas de suelo. Es decir, a mayor número de agregados > 2 mm, la erodabilidad disminuye.
- Lutz (1934), con base en un gran acervo de datos, encontró una relación muy fuerte entre la erodabilidad y el estado de agregación, por lo que examinó suelos de Carolina del Norte y probó que diferían en sus características de erodabilidad según el tamaño de los agregados. Los agregados de aquellas muestras erodables eran pequeños, densos e impermeables, mientras que los de aquellas no erodables, eran grandes y porosos. La agregación de los suelos como característica a considerar, fue cobrando importancia dentro de los estudios sobre erosión que se realizaron desde la tercera década del siglo XIX.
- Yoder (citado por Hudson, 1982), desarrolló una técnica que más tarde se modificó y adaptó a los estudios de estructura de los suelos, para medir la erodabilidad de los agregados y partículas, cuando son agitados mecánicamente en agua. Esta técnica junto con la propuesta por NRSC (1998), son utilizadas actualmente en la mayoría de las investigaciones sobre erodabilidad de los suelos.

## 2.7 EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EN LA AGREGACIÓN

En suelos que muestran agregados estabilizados por efecto de la materia orgánica, la estabilidad depende del contenido de carbohidratos, de la biomasa microbiana y de la longitud y tipo de hifas en el suelo (Lynch, 1984, Tisdall, 1991).

En suelos con vegetación nativa, los microagregados son estabilizados principalmente a través de las raíces y de las micorrizas (Oades, 1982). En general todos los hongos, incluyendo los saprófitos, estabilizan los agregados (Bragg, 1985). Emerson *et al.*, (1986) sugieren que las hifas de las ectomicorrizas estabilizan los agregados de muchos suelos forestales. Pojasal y Kal (1990) demostraron que los exudados, de raíces como el maíz, dan una gran estabilidad a los macroagregados. Ellos concluyeron que los exudados están relacionados con policonaciones, en principio no quelatados, los cuáles se localizan en la solución del suelo.

Estos policonaciones, así como los exudados, establecen puentes entre partículas formando uniones muy fuertes entre la materia orgánica y las arcillas, lo que incrementa la



estabilidad de los agregados. Además, se sugiere que los exudados de las hifas retienen los cationes monovalentes ya sea de la superficie de la hifa o del suelo mineral. Así, los cationes liberados tienden a flocular a las arcillas y a formar puentes catiónicos con los polisacáridos de las hifas y las arcillas, lo que origina la formación de agregados estables.

Los bacidiomicetes también son importantes como formadores de agregados y microagregados. Otros organismos frecuentes en la rizósfera de los suelos forestales son las bacterias gran negativas. Observaciones al microscopio electrónico de estas bacterias, muestran que muchas de ellas están rodeadas por una cápsula hecha de monosacáridos (Foster, 1983). Con frecuencia esta cápsula interactúa con cationes del suelo o polímeros fenólicos que también tienden a formar agregados estables. Tisdall (1994) concluye que los agregados están constituidos por diferentes agregantes según el tamaño. Las raíces y las hifas estabilizan generalmente a los macroagregados (> 250  $\mu\text{m}$  de diámetro) y las bacterias tienden principalmente a estabilizar los microagregados. Sin embargo, señala que para cada tipo de suelos es necesario determinar las mejores combinaciones y manejos de plantas, hongos y bacterias si se pretende incrementar la estabilización de los agregados

### 3. METODOLOGIA

A nivel de objetivo, inicialmente se acordó que el suelo utilizado para la fase experimental de esta tesis, fuera un suelo forestal. Posteriormente, se determinó que el suelo debía, además, reunir las siguientes características:

- a. Presentar una alta erodabilidad ( $K > 0.35$ ) y un grado de erosión actual, que oscilara de moderado a severo.
- b. Estar constituido por minerales primarios resistentes al intemperismo (félsicos), bajo condiciones de zona templada. Consecuentemente, ser pobre en bases intercambiables.
- c. Presentar una textura con altos contenidos de limo y arena muy fina, además de una deficiente estructuración, pobreza de materia orgánica y hojarasca, así como una baja actividad microbiana.
- d. Estar localizado en una zona templada sometida a una alta influencia antrópica.

Como se observa en la Tabla 3, una vez establecidas las especificaciones relativas al suelo que debería ser sometido a análisis y experimentación, se procedió a la realización de las siguientes etapas metodológicas.

#### 3.1 COMPILACION DE LA INFORMACION BASICA.

Consistió en el análisis y selección de información disponible, tanto escrita como cartográfica y electrónica (Geored UNAM, Internet), sobre los suelos de México que pudieran presentar características similares a las requeridas para iniciar este estudio.

#### 3.2 FOTOIDENTIFICACION Y LOCALIZACION DEL SITIO DE MUESTREO.

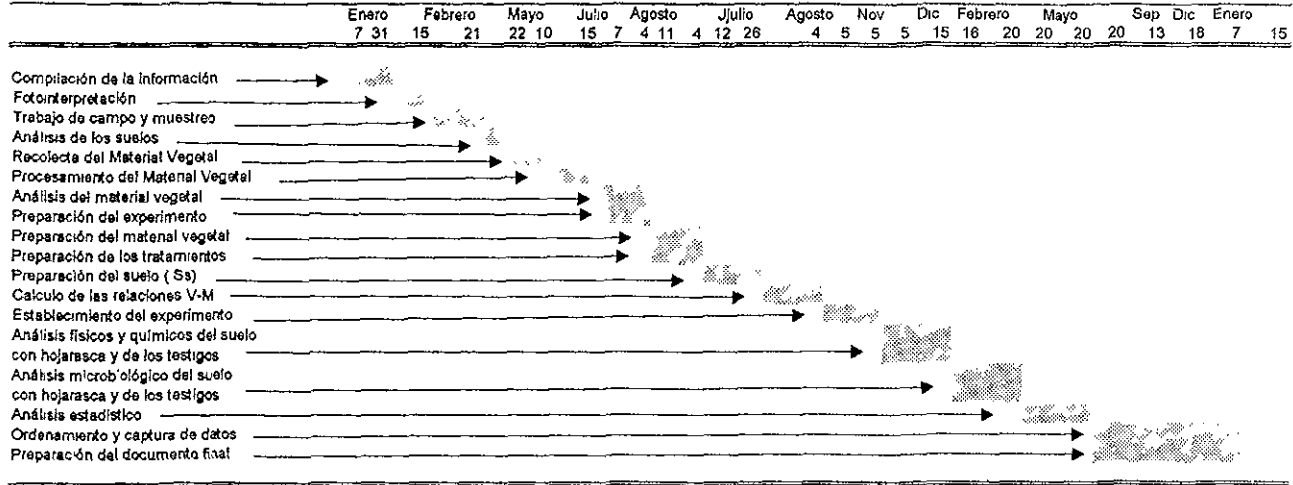
Con base en la información compilada, principalmente la disponible en el Banco de datos de INEGI (1996), así como en fotografías aéreas escala 1:25000 e imágenes Landsat 2, se determinó que el área geográfica denominada "Bosque la Primavera", localizada en el Estado de Jalisco (Fig. 2), podría ser la más adecuada. Esto debido a que en esta área predominan suelos con la características mencionadas.

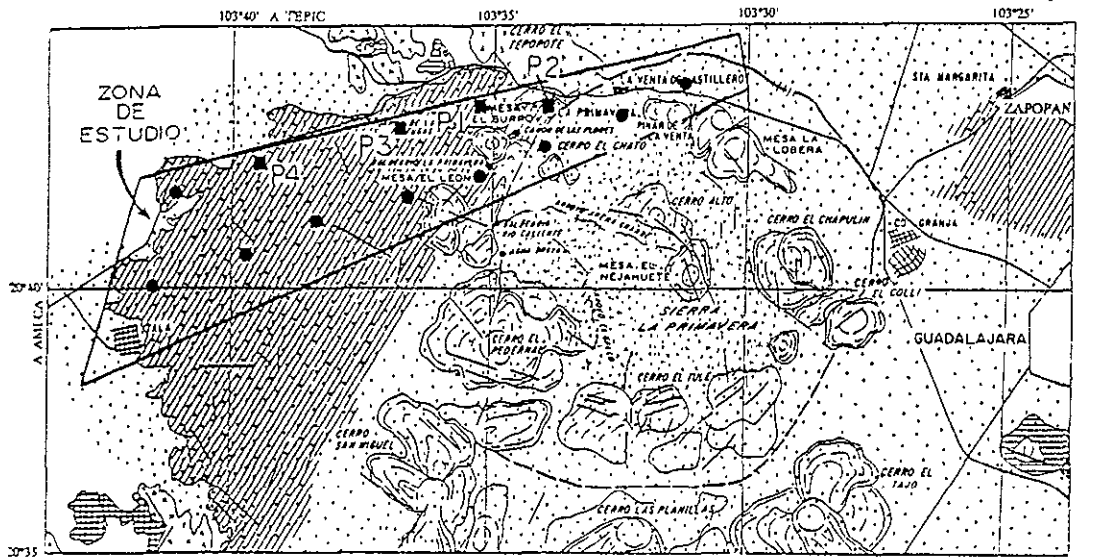
#### 3.3 TRABAJO DE CAMPO Y RECOLECTA DE LOS SUELOS.

Durante el mes de Febrero, se realizó la apertura y muestreo de siete unidades de suelos poco desarrollados, localizados próximos al área de actividad geotérmica de una caldera volcánica, localizada en el Bosque la Primavera (Fig. 2).

Desafortunadamente, ninguno de los suelos muestreados poseía análisis sobre su composición multielemental, la cual resultaba necesaria para elegir uno de los siete perfiles como el idóneo para ser utilizado en este estudio (Testigo Universal = TU). En la Figura 2 se muestra la localización de los perfiles muestreados.

**TABLA 3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES REALIZADAS**





SIMBOLOGÍA












- |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
| Límite de la caldera (8)  | Domo riolítico (7)  | Pómez de caída aérea (6)  | Sedimento intracaldera (5)  | Toba Tota (4)   | Basalto plioceno-cuaternario (3)  |
|   |  |  |  |    |  |
|   | Ignimbrito miocénico (2)  | Andesito oligocénico (1)  | Perfil  | Verificación  |   |

FIGURA 2. LOCALIZACION DEL SITIO Y PERFILES MUESTREADOS.

### 3.4 ANALISIS DE LOS SUELOS MUESTREADOS Y SELECCION DEL SUELO PARA LA ETAPA EXPERIMENTAL.

La realización del análisis multielemental de estos suelos (Oxidos totales) con la finalidad de determinar cuál era el más adecuado para realizar este trabajo, además de costoso, representaba una gran inversión de tiempo (estimado en > 3 meses). Consecuentemente, se pensó en utilizar algún método o métodos analíticos que además de confiables dieran en forma rápida un análisis multielemental de las muestras de suelo recolectado. La solución fue el empleo de Técnicas de Origen Nuclear (TAON), que comúnmente se utilizan en el Instituto de Física, Torre 1 UNAM.

Así, mediante el uso de un acelerador de partículas Van de Graaff 5.5 Mev, fueron analizadas 35 muestras en su composición elemental (5 muestras por cada suelo). Estos análisis, cuya duración fue de solamente 3 días. (22 al 24 de Febrero), permitió conocer que el suelo denominado Perfil II era, por sus características elementales, el más apto para ser utilizado en esta tesis (Testigo Universal).

Una vez determinado que el Perfil II era el adecuado como material básico, se regreso al área de estudio y se procedió a tomar muestras compuestas con un peso aproximado de 20 kg del epipedón. Las muestras se colocaron en una bolsa de plástico previamente esterilizada y etiquetada, se dividieron en dos partes equivalentes en peso (10 kg cada una); una parte fue colocada en el refrigerador a < 5°C, la otra se secó al aire en el invernadero, a una temperatura que osciló de 30 a 35°C. Esta muestra se molió y tamizó (tamiz de 2mm) con el fin de prepararla para el análisis de laboratorio.

#### 3.4.1 Técnicas de Análisis Utilizadas para Caracterizar al Suelo Seleccionado (Testigo Universal)

- **Análisis de tamaño de partículas para evaluar el Factor K.** Se realizó por vía húmeda utilizando un tamiz de apertura de malla de 0.047 mm. El suelo (50g) que pasó a través del tamiz correspondió a partículas de tamaño de arena muy fina, limo y arcilla, las cuales una vez secas, fueron pesadas y se determinó su porcentaje. El material que fue retenido por la malla correspondió al tamaño de arena muy gruesa, gruesa media y fina. Este método se basa en el establecido por USDA (1996).
- **Color.** Se determinó en seco (1500 kPa) y húmedo (33 kPa), por comparación con las tablas de Munsell (1998).
- **Textura.** Se realizó por el método de Bouyoucos (modificado por Villegas, *et al.*, 1977), y por el método de pipeta (Blume, 1966).
- **Densidad aparente.** Se realizó por dos métodos.
  - a. En el laboratorio se utilizó una probeta de 10 ml relacionando peso y volumen del suelo (Am. For Tes and Mat, 1958).
  - b. En campo, se excavó un pozo el cual fue recubierto con plástico. El suelo extraído fue pesado y posteriormente, el pozo recubierto con el plástico fue llenado con un volumen conocido de agua para conocer la masa y volumen del suelo.

- **Densidad real.** Se utilizó el método del picnómetro, relacionando la masa total de partículas sólidas con su volumen (Black, 1966).
- **Porosidad.** Se obtuvo relacionando la densidad real y la densidad aparente del suelo (Vomocil, 1966).
- **pH.** Se determinó con un potenciómetro Corning modelo 7, usando una relación suelo: agua destilada hervida 1: 2.5.
- **Materia orgánica.** Se determinó por el método de Walkley y Black (1975) que consiste en una oxidación por digestión húmeda con ácido crómico (dicromato de potasio y ácido sulfúrico), titulando el exceso de ácido con una solución reductora de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ )
- **Capacidad de intercambio catiónico total.** Se determinó por el método de percolación, que consiste en saturar el suelo con acetato de amonio pH 7, eliminando el exceso de amonio mediante lavados con alcohol etílico y saturando de nuevo con  $\text{NaCl}$  1N pH 7. Se tituló con versenato (EDTA) 0.02 (Jackson, 1982).
- **Calcio y magnesio intercambiables.** Se obtuvieron por centrifugación extrayendo con acetato de amonio 1N pH 7. El calcio y el magnesio se titularon por el método del Versenato, usando como indicadores murexida y negro de ericromo T (Jackson, 1982).
- **Sodio y potasio intercambiables.** Por flamometría, usando acetato de amonio a pH 7; para su determinación se empleó un flamómetro Corning 400.
- **Determinación del Factor K.** Se calculó utilizando el Nomograma de Wishmeier *et al.*, 1971 (Fig. 3).
- **Composición total del suelo en óxidos.** Se utilizaron 35 muestras (2 repeticiones en suelo no alterado). Fueron analizadas en su composición multielemental (al vacío), mediante el uso del Acelerador de Partículas Van de Graaff 5.5 MeV del Instituto de Física de la UNAM. Los datos mostraron la composición elemental total de cada muestra y sus repeticiones. La interpretación de los datos se realizó a través del programa GUPIX y el método empleado fue PIXE.

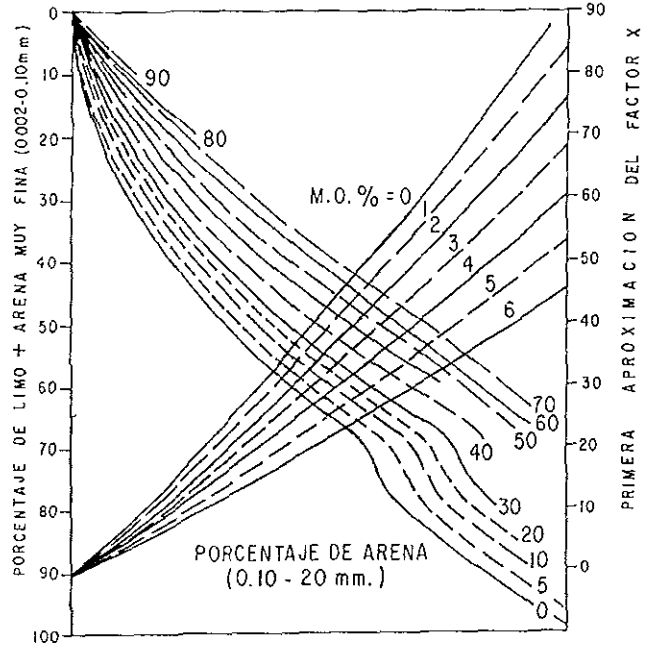
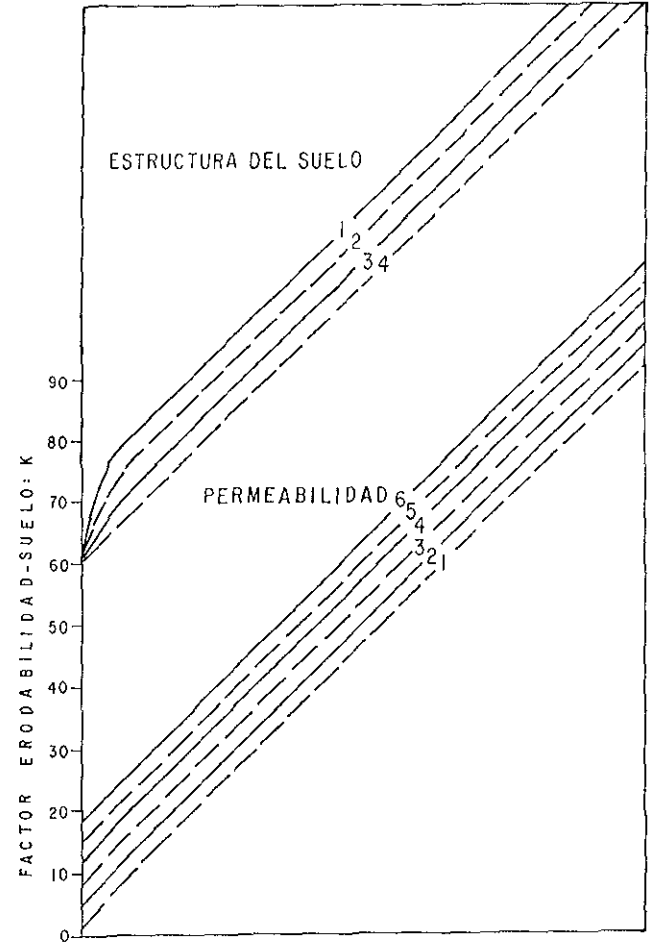


FIG 3 NOMOGRAMA DE WISCHMEIER  
(Sistema Métrico)



- **Índice de alteración.** Para calcular los índices de alteración se utilizó la siguiente fórmula:  

$$T L_n / 10^2 \quad (1)$$

Donde: T= Temperatura máxima anual

$L_n$ = Lluvia de lavado

- **Índice de desbasificación.** Para calcular el índice de desbasificación se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{(K_2O / PM + Ca_2O / PM) SiO_2 / PM}{(K_2O / PM + Ca_2O / PM) SiO_2 / PM} - W \text{ horizonte} \quad (2)$$

Donde: W = Horizonte superficial, P = Horizonte C

- **Índice de humedad.** Para calcular el índice de humedad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{100 \times S}{EP} \quad (a) \quad (3)$$

Donde: S= Demasía de agua (cm)

$E_p$ = Evapotranspiración corregida (cm)

a= anual

- **Índice de aridez.** Para calcular el índice de aridez se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{100 \times d}{EP} \quad (a) \quad (4)$$

Donde: d= deficiencia de agua

$E_p$ = Evapotranspiración corregida (cm)

a= anual

- **Índice pluviual.** Para calcular el índice pluviual se utilizó la siguiente fórmula:

$$(h - 0.6) \times a \quad (5)$$

Donde: h= precipitación

0.6= constante

a= anual

- **Índice de calor mensual.** Para calcular el índice de calor mensual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{T(m)}{5} \times 1.514 \quad (6)$$

Donde: T= Temperatura en °C

m= mensual y 1.514= constante



- **Índice de agresividad climática.** Para calcular el índice de agresividad climática se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{p(m)^2}{P(a)} \quad (7)$$

Donde : R= índice

p= precipitación mensual (m)

P= precipitación anual (a)

- **Índice de lixiviación.** Para calcular el índice de lixiviación se utilizó la siguiente fórmula:

$$Ph - Eh + P (a) / 10 \quad (8)$$

Donde: Ph= Precipitación máxima

Eh= Evapotranspiración máxima

P= precipitación total

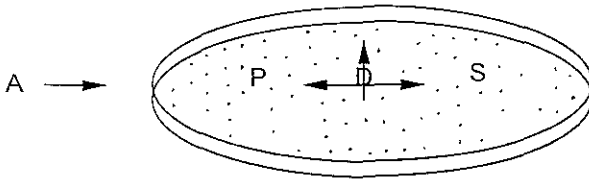
- **Estabilidad de agregados.** En el campo se evaluó, depositando aproximadamente 10 agregados de diámetro entre 1 a 3 mm en una cápsula de porcelana y saturándolos con agua. Tras hacer rotar suavemente durante 30 segundos la cápsula en la palma de la mano, se evaluó el grado de ruptura y colapsamiento de los agregados, según Schlichting y Blume (1966).

### 3.5 RECOLECTA DEL MATERIAL VEGETAL.

#### 3.5.1 Trampas para Hojarasca Arbórea.

- Fueron diseñadas con base en Proctor (1983) y consistieron en una serie de 30 cajas de cartón recubiertas en su base y bordos con plástico para protegerlas contra la intemperie. Las cajas son de forma circular con un diámetro (D) de 50.50 cm una altura (A) de 5 cm y una superficie (S) aproximada de 2003 cm<sup>2</sup>. Todas las trampas presentan un drenaje libre en su base. Este drenaje está conferido por la presencia de poros (P) distribuidos con una densidad de 5 poros/cm<sup>2</sup> y un diámetro de poro menor a 1 mm, con el fin de retener las fracciones finas de hojarasca (Fig. 4).

FIGURA. 4 ESQUEMA DE LA TRAMPA UTILIZADA PARA RECOLECTAR LA HOJARASCA ARBOREA.



- Debido a limitaciones en infraestructura y recursos económicos, la hojarasca fue recolectada dentro del Campus Universitario, UNAM. La Figura 5 indica los sitios de muestreo. El cuidado adecuado de las trampas de hojarasca fue posible debido a la ayuda recibida por el personal de mantenimiento y conservación de las áreas verdes de esta Institución. Esta recolecta se inició del 22 de mayo de 1997 y terminó el 10 julio de 1997. Este lapso, según el Manual de Métodos para Suelos Tropicales y Subtropicales (UNESCO- IUBS, 1989), es el adecuado para este tipo de estudios.
- Las especies arbóreas seleccionadas incluyeron tres géneros: *Pinus*, *Eucalyptus* y *Quercus*. Estos géneros también están presentes en el bosque la Primavera. Los géneros *Pinus* y *Eucalyptus* son frecuentemente utilizados para la reforestación no solo a nivel de la Universidad (UNAM), si no a nivel nacional. En contraste, el género *Quercus* aunque es reconocido como un eficiente mejorador de suelos, es sistemáticamente destruido y hasta ahora no se utiliza para reforestar áreas degradadas.
- Debido a lo homogéneo del paisaje y condición ambiental del Campus Universitario se pudo aplicar el criterio de Newboul (1967), relativo a la distribución óptima de las trampas de hojarasca. Así, se colocaron abajo de cada copa de los árboles con una distribución al azar y fuera de sitios perturbados, 30 trampas divididas en: 10 para árboles de Pino, 10 para

árboles de Eucalipto y 10 para árboles de Encino, es decir, una trampa para cada uno de los treinta árboles (Fig.5).

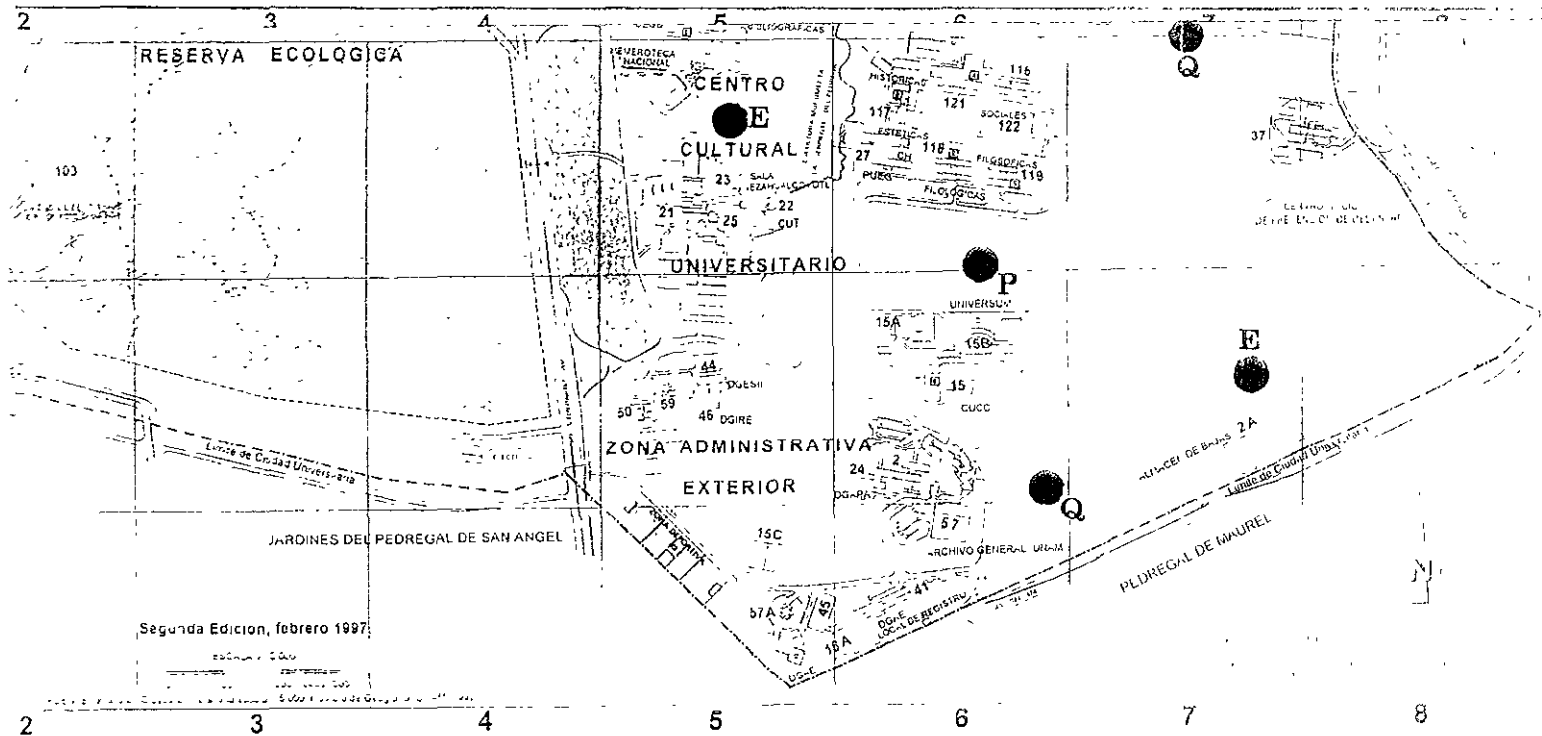
- La recolecta de la hojarasca fue realizada con base en el programa “ Hombre y Biosfera “ de la Rockefeller Center.

En el capítulo de Resultados (Tabla 4 y 5) se dan las principales características ambientales del área de muestreo de suelos así como del área de recolecta de hojarasca.

**FIGURA. 5 LOCALIZACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO DE LA HOJARASCA.**

# CIUDAD UNIVERSITARIA

## Universidad Nacional Autónoma de México



### 3.6 PROCESAMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL.

Durante 50 días la hojarasca fue recolectada de las trampas, en periodos de 10, 13, 9, 8 y 10 días. Newboul (1967), considera que la recolecta de la hojarasca debe realizarse cada 15 días durante tres meses. El material recolectado debe ser secado y clasificado

En este caso particular, la hojarasca se recolectó aproximadamente en periodos de 10 días. Esto con base en el Manual de Métodos para Suelos, preparado por la UNESCO-IUBS (1989). En el capítulo de resultados y discusión se detallan los datos obtenidos de esta fase. El material vegetal obtenido en cada periodo fue secado al aire, pesado, protegido en bolsas de plástico y refrigerado

Al término de la recolecta, las muestras de hojarasca se mezclaron, de acuerdo con la especie y se obtuvo una muestra representativa de hojarasca para cada una de las tres especies arbóreas estudiadas. Cada muestra, con un peso aproximado de 700 g fue separada en las siguientes fracciones:

- Hojas donde se incluyeron los peciolo y nervadura central.
- Fragmentos de madera.
- Organos reproductores: flores y frutos.
- Fragmentos de hojarasca menor a 5mm de diámetro y
- Fragmentos ajenos a la hojarasca, o no identificados.

De acuerdo con Rhoades (1982), las diversas fracciones de hojarasca obtenidas fueron pesadas y se estimó su porcentaje. La selección de las fracciones fue hecha por duplicado para obtener un promedio confiable. En el capítulo de resultados se indican, detalladamente, los porcentajes obtenidos para cada fracción.

Con base a los objetivos planteados, una vez seleccionadas y separadas en fracciones las muestras de hojarasca, se efectuaron los siguientes pasos metodológicos:

- **Selección física de la fracción hoja**, en cantidades de 100 g (100 g de la hoja de Pino, 100 g de la hoja de Eucalipto y 100 g de la hoja de Encino).
- **Secado de este material a 110 °C**. Secado a la estufa hasta peso constante.
- **Se realizó molido y tamizado** del material a un tamaño homogéneo que pasa la abertura de 0.15 mm (UNESCO -IUBS, 1989).
- **Conservación a 0 °C de temperatura del material restante no utilizado.**
- **Determinación de la Humedad en el Material Vegetal (fracción hoja)**. Fue utilizada la técnica recomendada por UIBS - UNESCO - MAB (1989), la cual consiste en:
  - a. Pesar 1 g de material vegetal y colocarlo en un recipiente seco ( $W_1$ ).
  - c. Pesar el recipiente junto con el material vegetal ( $W_2$ ).
  - d. Secar a 110 °C por 2 horas.
  - e. Colocar en un desecador y una vez frío volver a pesar ( $W_3$ ).

Cálculo:

$$\text{Por ciento del material seco} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \times 100 \quad \text{-----(9)}$$

### 3.7 ANALISIS DE LA HOJARASCA, PREVIO AL EXPERIMENTO.

- **Resistencia de la hoja a carga confinada.** Sobre la hoja seca, previamente fijada entre dos bordes, se colocó perpendicularmente una columna hueca de vidrio. Esta columna se llenó sistemáticamente con pequeñas municiones de plomo, hasta el momento en que la hoja se rompía. Se hicieron 20 repeticiones para cada tipo de hoja. Los resultados que se presentan son el promedio y se expresan en  $\text{g/cm}^2$ .
- **Color** Se determinó en seco y húmedo por comparación con las tablas de Munsell (1998).
- **Densidad aparente.** Se utilizó una probeta de 10 ml, relacionando peso y volumen de la hojarasca molida (Am. For Test and Mat, 1958).
- **Densidad real.** Se utilizó el método del picnómetro, relacionando la masa total de partículas sólidas (hojarasca molida) con su volumen (Black, 1966).
- **pH.** Se determinó con un potenciómetro Corning modelo 7 usando una relación hojarasca: agua destilada 1: 2.5. Se tomó a los 30' y a las 24 horas.
- **Materia orgánica.** Se determinó por el método de Walkley y Black (1975) que consiste en una oxidación por digestión húmeda con ácido crómico (dicromato de potasio y ácido sulfúrico), titulando el exceso de ácido con una solución reductora de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ).
- **Carbono orgánico.** Se determinó según el método de Nelson and Suommers (1975).
- **Nitrógeno total.** Por el método de la batería de digestión y destilación Kjeldahl. Procedimiento Semi- micro Kjeldahl descrito por Bremner (1965).
- **Relación C: N.** A través del método de digestión ácida y destilación en Kjeldahl Bremner (1965).
- **Hidrosolubles.** Se determinaron utilizando un espectrofotómetro de adsorción modelo 3110. Ca y Mg por adsorción atómica. Na y K por emisión atómica.
- **Lignina y celulosa.** Se determinó con base en el método de Klason (Eg Browning, 1967) y por el método de lignina y celulosa vía ácida (ADF 1989). Estos análisis se realizaron en la UAM Iztapalapa.
- **Polifenoles extractables.** Que incluyen los taninos hidrosolubles, taninos condensados y taninos polifenólicos. Fueron reportados como polifenoles totales a través del método de King and Heath (1967). Estos análisis fueron realizados en la UAM Iztapalapa.
- **Capacidad de intercambio catiónico total.** Se determinó por el método de percolación, que consiste en saturar la hojarasca finamente molida con acetato de amonio pH 7, eliminando el exceso de amonio mediante lavados con alcohol etílico, saturando de nuevo con  $\text{NaCl}$  1N pH 7 y titulando con versenato ( $\text{EDTA}$  0.02) Jackson. (1982).

- **Calcio y magnesio intercambiables.** Se obtuvieron por centrifugación extrayendo con acetato de amonio 1N pH 7. El calcio y el magnesio se titularon por el método del Versenato, usando como indicadores murexida y negro de ericromo T (Jackson 1982).
- **Sodio y potasio intercambiables.** Por flamometría, usando acetato de amonio pH 7 Para su determinación se empleó un flamómetro Corning 400.

### 3.7.1 Etapas Metodológicas previas al Experimento.

Después de ser analizadas las características físicas químicas y mineralógicas del suelo seleccionado (Tabla 5 Capítulo de Resultados), así como las características físicas y químicas de la hojarasca (Tabla 10 Capítulo de Resultados), se inició en el mes de Agosto la etapa experimental, realizada en las siguientes fases:

#### **Etapa I Determinación de las características físicas y de las relaciones volumen – masa en el espacio experimental.**

Dado que se trataba de un experimento a nivel invernadero, se consideró absolutamente necesario determinar las características físicas del recipiente que contenía al suelo seleccionado, así como las características físicas del suelo en un determinado volumen experimental.

Las características físicas del recipiente, entre las que se incluyeron: (a) altura, (b) forma, (c) diámetro interno, máximo y mínimo, (d) volumen en  $\text{cm}^3$  y (e) capacidad para contener suelo, fueron medidas directamente en el recipiente. Es importante mencionar que todos los recipientes empleados en este experimento son similares en sus características físicas

Por otra parte, las condiciones físicas del suelo utilizado, dentro de este volumen experimental, fueron definidas y medidas con base a Hiller (1992). Los resultados obtenidos se basan en ecuaciones y datos de laboratorio sobre propiedades de los suelos. Estos cálculos representan, hipotéticamente, las condiciones de volumen y masa de las tres fases del suelo en un determinado espacio experimental. El espacio para cada Unidad Experimental fue constante.

Fueron determinadas las siguientes características:

- **Densidad de sólidos.** Se reconoció la densidad específica de partícula en  $\text{g/cm}^3$ . Fue utilizada la siguiente fórmula:  

$$P_s = M_s / V_s \text{ -----(10)}$$
- **Densidad aparente en seco.** Se refiere a la relación entre la masa del suelo seco y su volumen total.  

$$P_b = M_s / V_t = M_s / (V_s + V_a + V_w) \text{ -----(11)}$$
- **Porosidad.** Es el índice de espacios en un volumen dado del suelo. Se obtiene con base en los datos de densidad del sólido y densidad aparente.

$$f = (V_f/V_t = V_a + V_w) (V_s + V_a + V_w) \text{ -----(12)}$$

- **Relación de espacios.** Es un índice de volumen fraccional de los poros del suelo, pero está relacionado más con el volumen de los sólidos presentes (partículas) que con el volumen del suelo.

$$e = (V_a + V_w) / V_s = V_f (V_t - V_f) \text{ -----(13)}$$

- **Humedad del suelo.** Se refiere al contenido relativo de agua en el suelo, el cual puede ser expresado como: (a) masa de humedad; (b) volumen y (c) grado de saturación.

La masa de humedad es la masa del agua con relación a la masa de partículas del suelo seco. El volumen de humedad es el contenido volumétrico del agua total en un suelo y el grado de saturación se refiere al volumen de agua presente en el suelo con relación al volumen de poros presentes.

$$W = M_w/M_s \text{ -----(14)}$$

$$O = V_w/V_t = V_w (V_s + V_f) \text{ -----(14.1)}$$

$$S = V_w/V_f = V_w (V_a + V_w) \text{ -----(14.2)}$$

- **Porosidad llena de aire.** Es la medida del contenido relativo del aire en el suelo.

$$f_a = V_a/V_f = V_a (V_s + V_a + V_w) \text{ -----(15)}$$

- **Interrelaciones adicionales.** Son las relaciones entre dos parámetros, por ejemplo:

Relación entre porosidad y espacios vacíos

$$E = f (L - f) \text{ -----(16)}$$

$$F = e (L + e) \text{ -----(16.1)}$$

Relación entre volumen de humedad y grado de saturación

$$O = S f \text{ -----(16.2)}$$

$$S = O/f \text{ -----(16.3)}$$

Relación entre porosidad y densidad aparente

$$F = (P_s - p_h) / P_s = 1 - P_h/P_s \text{ -----(16.4)}$$

$$P_b = (1 - i) P_s \text{ -----(16.5)}$$

Relación entre masa húmeda y volumen de humedad

$$O = w_h b/P_w \text{ -----(16.6)}$$

$$W = O p_w/P_b \text{ -----(16.7)}$$

Donde:

$P_s$  = densidad de sólidos;  $M_s$  = masa del suelo;  $V_s$  = volumen del suelo,  $P_b$  = densidad aparente del suelo seco;  $V_t$  = volumen total;  $V_s$  = volumen de sólidos;  $V_a$  = volumen del aire;  $V_w$  = volumen del agua;  $f$  = porosidad;  $V_f$  = volumen fraccional;  $e$  = relación de espacios;  $w$  = masa de humedad;  $M_w$  = masa del agua en el suelo;  $O$  = volumen en húmedo;  $S$  = grado de saturación;  $f$  = porosidad;  $f_a$  = poros llenos de aire.



## Etapa II. Preparación del material vegetal.

### • Molienda y tamizado.

Una vez determinadas las características físicas y químicas, se procedió a moler, en seco, cada uno de los tipos de hojarasca recolectados. Esto se realizó en un mortero de ágata hasta obtener un tamaño de partícula vegetal que pudiera atravesar la abertura de 0.15 mm. Este tamaño de partícula, según UNESCO -UIBS, (1989) resulta adecuado para realizar los análisis de hojarasca.

### • Pesado y fraccionamiento de la hojarasca.

Fueron obtenidos 30 g de hojarasca muy finamente molida por cada una de las especies arbóreas. Resulta importante mencionar que este material estaba constituido únicamente por la fracción de hojas recolectada en trampas de acuerdo con los objetivos del estudio. A continuación, cada porción de 30 g fue fraccionada en 15 partes iguales con un peso de 2 g cada una. Este material estuvo en refrigeración a 5 °C durante un lapso de 4 días.

## Etapa III Preparación del suelo seleccionado (Ss).

A este suelo le fue destruida, por oxidación e hidrólisis, la escasa materia orgánica que presentaba. Posteriormente, este suelo, con un peso total de 2835 g fue homogeneizado ("cuarteado") y dividido en 63 porciones iguales, cada una con 45 g

El día 5 de Agosto, fecha en que se establece formalmente el experimento, cada una de las 63 porciones de suelo fue colocada en los recipientes de un "semillero" de plástico, (previamente esterilizado con luz ultravioleta). El suelo ocupó un volumen de 33 cm<sup>3</sup>, dentro del cono. Los conos que contenían al suelo presentan un drenaje libre.

En esa misma fecha le fueron adicionados 2 g de la hojarasca de Pino, 2 g de la hojarasca de Eucalipto y 2 g de la hojarasca de Encino a cada una de las siguientes Unidades Experimentales; repartidos del siguiente modo:

- Hojarasca de Pino.** Unidades experimentales.  $SS_1 + P_1, SS_2 + P_2, SS_3 + P_3, SS_4 + P_4, SS_5 + P_5, SS_6 + P_6, SS_7 + P_7, SS_8 + P_8, SS_9 + P_9, SS_{10} + P_{10}, SS_{11} + P_{11}, SS_{12} + P_{12}, SS_{13} + P_{13}, SS_{14} + P_{14}, SS_{15} + P_{15}$  (Fig. 6).
- Hojarasca de Eucalipto.** Unidades experimentales  $SS_{16} + E_1, SS_{17} + E_2, SS_{18} + E_3, SS_{19} + E_4, SS_{20} + E_5, SS_{21} + E_6, SS_{22} + E_7, SS_{23} + E_8, SS_{24} + E_9, SS_{25} + E_{10}, SS_{26} + E_{11}, SS_{27} + E_{12}, SS_{28} + E_{13}, SS_{29} + E_{14}, SS_{30} + E_{15}$  (Fig. 6).
- Hojarasca de Encino.** Unidades experimentales  $SS_{31} + Q_1, SS_{32} + Q_2, SS_{33} + Q_3, SS_{34} + Q_4, SS_{35} + Q_5, SS_{36} + Q_6, SS_{37} + Q_7, SS_{38} + Q_8, SS_{39} + Q_9, SS_{40} + Q_{10}, SS_{41} + Q_{11}, SS_{42} + Q_{12}, SS_{43} + Q_{13}, SS_{44} + Q_{14}, SS_{45} + Q_{15}$  (Fig. 6).
- Testigos control.** Las unidades experimentales.  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9, T_{10}, T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{15}$  durante el desarrollo del experimento, sólo contuvieron cada una, los 45g de suelo seleccionado, sin adición de ningún tipo de hojarasca.

#### Etapa IV Preparación de las Soluciones.

Fueron empleadas 5 soluciones con la finalidad de incrementar la velocidad de alteración de la hojarasca molida y la liberación de hidrosolubles presentes en ésta.

- **Solución A<sub>1</sub>** (H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>, 0.1 N)

Este tratamiento fue aplicado a las siguientes 12 unidades experimentales T<sub>1</sub>, Ss<sub>1</sub> + P<sub>1</sub>, Ss<sub>2</sub> + P<sub>2</sub> y Ss<sub>3</sub> + P<sub>3</sub> del bloque 1, así mismo, a las unidades T<sub>6</sub>, Ss<sub>16</sub> + E<sub>1</sub>, Ss<sub>17</sub> + E<sub>2</sub> y Ss<sub>18</sub> + E<sub>3</sub> del bloque 2 y a las unidades T<sub>11</sub>, Ss<sub>31</sub> + Q<sub>1</sub>, Ss<sub>32</sub> + Q<sub>2</sub> y Ss<sub>33</sub> + Q<sub>3</sub> del bloque 3 (Figura 6)

Procedimiento:

- Para las tres Unidades Experimentales: Ss<sub>1</sub> + P<sub>1</sub>, Ss<sub>2</sub> + P<sub>2</sub> y Ss<sub>3</sub> + P<sub>3</sub>, fueron preparados 2099.7 ml de H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>, 0.1 N. A esta solución se le adicionaron 2g de la hojarasca de Pino, previamente tamizada y molida. Esta infusión, estuvo sometida a una temperatura de 22 °C durante un periodo de 15 días.
  - Para las tres Unidades Experimentales: Ss<sub>16</sub> + E<sub>1</sub>, Ss<sub>17</sub> + E<sub>2</sub> y Ss<sub>18</sub> + E<sub>3</sub>, también fueron preparados 2099.7 ml de H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>, 0.1 N, pero en este caso a la solución se le adicionaron 2g. de la hojarasca de Eucalipto, siguiendo un procedimiento similar al anteriormente descrito.
  - De igual modo, para las tres Unidades Experimentales: Ss<sub>31</sub> + Q<sub>1</sub>, Ss<sub>32</sub> + Q<sub>2</sub> y Ss<sub>33</sub> + Q<sub>3</sub>, fueron preparados 2099.7 ml de H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>, 0.1 N, al cual se le adicionaron 2g. de la hojarasca de Encino previamente tamizada y molida. Esta infusión también estuvo sometida a una temperatura de 22 °C durante un periodo de 15 días.
  - Para las tres Unidades Experimentales: T<sub>1</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>11</sub> fueron preparados también 2099.7 ml de solución de H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>, 0.1 N, pero en este caso, no se le adicionó a la solución ningún tipo de hojarasca. Así, las unidades T<sub>1</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>11</sub> fueron consideradas como Testigos de Control del Tratamiento A<sub>1</sub> empleado en este experimento.
- Con relación a las otras **Soluciones** empleadas A<sub>2</sub> (CaCOH<sub>2</sub>), A<sub>3</sub> (CH<sub>2</sub>COO), A<sub>4</sub> (H<sub>2</sub>O 35 °C) y A<sub>5</sub> (H<sub>2</sub>O destilada 22 °C), se siguió un procedimiento similar al descrito para el tratamiento A<sub>1</sub>, salvo el caso del Tratamiento A<sub>4</sub>, donde la infusión estuvo sometida a una temperatura de 35 °C, durante el lapso comprendido de 15 días.
1. La cantidad total de solución fue de 2099.7 ml con el fin de que cada una de las 63 Unidades Experimentales (Fig.6) pudiera recibir 30 aplicaciones de 23.33 ml, repartidas en 90 días que duró el experimento. Esto implica que cada Unidad Experimental recibió, aproximadamente, 700ml de la solución correspondiente.
  2. La cantidad de 23.33 ml por cada aplicación, se debió a que previamente se había observado, a nivel invernadero, que dicha cantidad era suficiente para humedecer los 45 g del suelo seleccionado (Ss) contenido en un recipiente, para evitar la sequía en él al igual que la sobresaturación. Este recipiente, presentaba en su base 5 perforaciones de 2mm de diámetro cada una. Estas perforaciones permitieron que el suelo tuviera un drenaje eficiente durante el tiempo que duró instalado el experimento.

- La aplicación de los tratamientos a través de dispersión, se debió a que se trató, en lo posible, de no crear sobre la superficie del suelo contenido en los conos, ningún tipo de perturbación por impacto de la gota de agua, lo cual ocurre en el riego normal.

### 3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL.

#### 3.8.1 Establecimiento del Experimento

Este experimento se desarrolló durante el periodo del 5 de Agosto al 5 de Noviembre, bajo las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura: máxima 25 °C mínima 12 °C – Presión atmosférica: 1023 - 1050
- Humedad ambiente: máxima 56 % mínima 28% - Punto de rocío: 11 – 15%
- Iluminación: Luz natural. Periodo de iluminación: Promedio 12 hrs.

#### 3.8.2 Descripción del Diseño Experimental.

El diseño experimental fue bifactorial con distribución de los tratamientos completamente al azar con tres repeticiones. Para el análisis de los resultados se aplicó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey, con una confiabilidad de 99%.

Se consideraron dos factores que fueron:

##### 1. Tipo de hojarasca

- Suelo seleccionado (Ss) al que se le adicionó hojarasca de Pino (P)
- Suelo seleccionado (Ss) al que se le adicionó hojarasca de Eucalipto (E)
- Suelo seleccionado (Ss) al que se le adicionó hojarasca de Encino (Q)

##### 2. Soluciones

- $H_2NO_3$  con una normalidad de 0.1 y un pH de 6.6
- $Ca(OH)_2$  con una normalidad de 0.1 y un pH de 7.3
- $CH_2COOH$  con una conductividad eléctrica de < 1 mmho y un pH de 6.7
- $H_2O$  35 °C con una conductividad eléctrica de < 1 mmho y un pH de 7.0
- $H_2O$  22 °C con una conductividad eléctrica de < 1 mmho y un pH de 7.0

##### Testigos de Control

Se consideró necesario conocer el efecto de las soluciones en forma independiente; por lo cual se consideraron 5 Testigos de Control.

T<sub>1</sub> al que se le adicionó la Solución A<sub>1</sub>

T<sub>2</sub> al que se le adicionó la Solución A<sub>2</sub>

T<sub>3</sub> al que se le adicionó la Solución A<sub>3</sub>

T<sub>4</sub> al que se le adicionó la Solución A<sub>4</sub>

T<sub>5</sub> al que se le adicionó la Solución A<sub>5</sub>

y un Testigo Universal (TU) regado únicamente con agua destilada.

Se consideraron por lo tanto 21 Tratamientos con tres repeticiones cada uno lo que da un total de 63 Unidades Experimentales.

Los Tratamientos estuvieron conformados por un tipo de suelo, un tipo de hojarasca y una solución, además de los Testigos de Control que consistieron en el suelo sin hojarasca más la adición de la solución y el Tratamiento denominado Testigo Universal (TU) o absoluto que fue el suelo sin hojarasca y regado únicamente con agua destilada.

**FIGURA 6. UNIDADES EXPERIMENTALES: DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.**

**Smbología**

TU= Testigo Universal

T = Testigo Control

Ss = Suelo seleccionado

P = Hojarasca de Pino

E= Hojarasca de Eucalpto

Q= Hojarasca de Encino

A<sub>1</sub> = Tratamiento con H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>

A<sub>2</sub> = Tratamiento con Ca (OH)<sub>2</sub>

A<sub>3</sub> = Tratamiento con CH<sub>3</sub>COOH

A<sub>4</sub> = Tratamiento con H<sub>2</sub>O 35 °C

A<sub>5</sub> = Tratamiento con H<sub>2</sub>O 22 °C

T <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> A <sub>3</sub>	T <sub>4</sub> A <sub>4</sub>	T <sub>5</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>1</sub> + P <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>4</sub> + P <sub>4</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>7</sub> + P <sub>7</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>10</sub> + P <sub>10</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>13</sub> + P <sub>13</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>2</sub> + P <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>5</sub> + P <sub>5</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>8</sub> + P <sub>8</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>11</sub> + P <sub>11</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>14</sub> + P <sub>14</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>3</sub> + P <sub>3</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>6</sub> + P <sub>6</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>9</sub> + P <sub>9</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>12</sub> + P <sub>12</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>15</sub> + P <sub>15</sub> A <sub>5</sub>
T <sub>6</sub> A <sub>1</sub>	T <sub>7</sub> A <sub>2</sub>	T <sub>8</sub> A <sub>3</sub>	T <sub>9</sub> A <sub>4</sub>	T <sub>10</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>16</sub> + E <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>19</sub> + E <sub>4</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>22</sub> + E <sub>7</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>25</sub> + E <sub>10</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>28</sub> + E <sub>13</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>17</sub> + E <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>20</sub> + E <sub>5</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>23</sub> + E <sub>8</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>26</sub> + E <sub>11</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>29</sub> + E <sub>14</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>18</sub> + E <sub>3</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>21</sub> + E <sub>6</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>24</sub> + E <sub>9</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>27</sub> + E <sub>12</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>30</sub> + E <sub>15</sub> A <sub>5</sub>
T <sub>11</sub> A <sub>1</sub>	T <sub>12</sub> A <sub>2</sub>	T <sub>13</sub> A <sub>3</sub>	T <sub>14</sub> A <sub>4</sub>	T <sub>15</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>31</sub> + Q <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>34</sub> + Q <sub>4</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>37</sub> + Q <sub>7</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>40</sub> + Q <sub>10</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>43</sub> + Q <sub>13</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>32</sub> + Q <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>35</sub> + Q <sub>5</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>38</sub> + Q <sub>8</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>41</sub> + Q <sub>11</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>44</sub> + Q <sub>14</sub> A <sub>5</sub>
SS <sub>33</sub> + Q <sub>3</sub> A <sub>1</sub>	SS <sub>36</sub> + Q <sub>6</sub> A <sub>2</sub>	SS <sub>39</sub> + Q <sub>9</sub> A <sub>3</sub>	SS <sub>42</sub> + Q <sub>12</sub> A <sub>4</sub>	SS <sub>45</sub> + Q <sub>15</sub> A <sub>5</sub>
TU	TU	TU		

El Diseño Experimental utilizado estuvo conformado por 63 Unidades Experimentales. Para fines prácticos las Unidades Experimentales fueron divididas en 3 bloques, donde cada bloque estaba constituido por 15 entidades de suelo seleccionado (Ss) y un tipo de hojarasca, así como 5 Testigos de Control (T), y un Testigo Universal (TU).

- El semillero fue colocado en un espacio adaptado para controlar, en lo posible, la temperatura y humedad ambientales, así como el periodo de iluminación a través de la luz natural. (Temperatura máxima, promedio de 25 °C - 3 °C. Temperatura mínima, promedio de 12 °C + 3 °C).
- Se aplicaron, por aspersión, los diferentes soluciones previamente establecidos para Testigo Universal, Testigos de Control y Unidades Experimentales.
- Los Testigos de Control sólo recibieron las soluciones empleadas, en forma pura, es decir; no mezcladas con ningún tipo de hojarasca, ya que era necesario conocer el efecto del tratamiento por sí mismo en las propiedades del suelo seleccionado para este experimento, principalmente en las propiedades que se relacionan con su erodabilidad.
- Las Unidades Experimentales de suelo con hojarasca, recibieron las soluciones a las que previamente, se le había adicionado hojarasca. Estas infusiones que contenían 2g de hojarasca, respectivamente, de pino, eucalipto y encino, permanecieron a una temperatura de 22 °C durante 15 días, al cabo de los cuales fueron filtradas para eliminar residuos sólidos del material vegetal (hojarasca). Así, las Unidades Experimentales, recibieron, a partir del 5 de Agosto, los diferentes soluciones señalados, con una concentración de hidrosolubles orgánicos, procedentes de los diferentes tipos de hojarasca utilizados.
- Los análisis químicos y bioquímicos de los hidrosolubles orgánicos contenidos en cada una de las soluciones empleadas, fueron sólo cualitativos, y se realizaron en el Departamento de Bioquímica de la UAM - Iztapalapa. Estos análisis mostraron la presencia de azúcares, carbohidratos, lignina y algunos compuestos fenólicos. En general se determinaron compuestos simples y no se reportaron compuestos polimerizados (Tabla 5).

### 3.8.3 Infraestructura Necesaria para el Desarrollo del Experimento.

#### • Materiales utilizados.

- a. Suelo seleccionado: 2835g, fraccionado en 63 partes, con un peso de 45 g cada una.
- b. Hojarasca de Pino: 45 porciones, cada una con un peso de 2 g.
- c. Hojarasca de Eucalipto: 45 porciones, cada una con un peso de 2 g.
- d. Hojarasca de Encino: 45 porciones, cada una con un peso de 2 g.
- e. Solución de H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>, 0.1 N.
- f. Solución de CH<sub>2</sub>COOH .
- g. Solución de Ca (OH)<sub>2</sub>.
- h. Agua destilada a temperatura de 22 °C.
- i. Agua destilada a temperatura de 35 °C.
- j. Semillero con 72 conos, marca Landmark Akon Ohio.
- k. Aspersor para soluciones.
- l. Papel filtro No. 2.

#### • Equipo utilizado.

- a. Estufa con temperatura regulable, marca Riossa Nom
- b. Baño María, marca Riossa Nom.
- c. Balanza electrónica (Analytic plus) Ohaus.

- d. Potenciómetro (pH) marca Olympus
- e. Microscopio de disección, marca Olympus TL2
- f. Microscopio electrónico de barrido, marca Olympus TL2.
- g. Prensa con capacidad de 7 toneladas/cm<sup>2</sup>.
- h. Acelerador de Partículas Van de Graaff, 5.5 Mev.
- i. Computadora Micosoft Windows 97, marca Samsung.
- j. Programas: Axil y Gupix. Técnica: Pixe.
- k. Centrifuga, IEC HN – SII (International Equipement Company).
- l. Colony counter, Gallenkamp.
- m. Flujo laminar, Veco.
- n. Autoclave, marca Industrias Steele.
- o. Cristalería, marca Pyrex.
- p. Reactivos, marca Bioxon.

- **Estructuras utilizadas.**

- a. Cuarto “frío”. Temperatura 0 a 5 °C
- b. Cuarto de incubación. Temperatura 22 °C.
- c. Invernadero.

### 3.8.4 Procedimientos de Medición y Análisis Utilizados Durante el Experimento.

- Medición diaria de la temperatura ambiente. Se realizaron en el siguiente horario: 8 hr. a.m, 14 hr. p.m y 18 hr. p.m
- Determinación, en húmedo, del color del suelo para cada uno de los tratamientos. Esta determinación se efectuó, sistemáticamente, cada 10 días.
- Observación al microscopio de los agregados del suelo formados durante el experimento. Fueron efectuadas un total de 6 observaciones, una cada 15 días. Estas observaciones tenían como objetivo: (a) determinar si había formación de agregados. En caso positivo, caracterizar su forma y tamaño, (b) observar la presencia de posibles cutanes o estructuras oximórficas o reductomórficas que pudieran presentarse en los agregados del suelo y (c) vigilar la posible cristalización de las sales solubles que pudieran estar contenidas en el suelo o en los tratamientos aplicados. Los datos obtenidos se presentan en el capítulo de Resultados.
- Finalización de la Etapa experimental.  
El día 5 de Noviembre, se dio por concluido el experimento. El semillero, junto con las Unidades Experimentales Testigos de Control y Testigo Universal, fue colocado en un cuarto frío a una temperatura de 5 °C, durante 24 h. Antes de iniciar los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las Unidades Experimentales, Testigos de Control y Testigo Universal.

### 3.9 ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DEL TESTIGO UNIVERSAL, TESTIGOS CONTROL Y UNIDADES EXPERIMENTALES DESPUES DEL EXPERIMENTO.

Al finalizar el experimento, se procedió a realizar los siguientes análisis:

- **Color.** Se determinó en seco y húmedo por comparación con las tablas de Munsell (1998).
- **Textura.** Se realizó por el método de Bouyoucos modificado por Villegas *et al.* (1977). La separación de arenas muy finas y limos se realizó a través del tamizado y por el método de pipeta (Blume, 1966).
- **Densidad aparente.** Se utilizó una probeta de 10 ml, relacionando peso y volumen del material vegetal (Am for test and mat, 1958).
- **Densidad real.** Se utilizó el método del Pícnómetro, relacionando la masa total de partículas de sólidos con su volumen (Black, 1965).
- **pH.** Se determinó en un potenciómetro Cornig modelo 7 usando una relación suelo: agua destilada hervida 1: 2.5.
- **Materia orgánica.** Se determinó por el método de Walkley y Black (1975), que consiste en una oxidación por digestión húmeda con ácido crómico (dicromato de potasio y ácido sulfúrico), titulando el exceso de ácido con una solución reductora de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ).
- **Capacidad de intercambio catiónico total.** Se determinó por el método de percolación que consiste en saturar el suelo con acetato de amonio pH 7, eliminando el exceso de amonio mediante lavados con alcohol etílico y saturando de nuevo con NaCl 1N pH 7. Se tituló con versenato (EDTA 0.02), Jackson (1982).
- **Microscopía de barrido.** A los agregados se les sometió a microscopía de barrido, para lo cual las muestras fueron recubiertas con oro por medio de una ionizadora marca jeol modelo jfc-1100. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca jeol model jsm-35c. Las fotografías se obtuvieron con un acercamiento de 1000x.

### 3.10 ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS SUELOS (UNIDADES EXPERIMENTALES)

#### • Medio de cultivo para Bacterias y Actinomicetes del Suelo.

Método: Conteo en placa

Extracto de Suelo – Agar, modificado para microflora total del suelo (Alexopoulos y Platnick citados por Peisajovich, 1984)

Reactivos utilizados

K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.4 g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.5 g
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.05 g
Mg Cl <sub>2</sub>	0.1 g
Fe Cl <sub>3</sub>	0.1 g
Ca Cl <sub>2</sub>	0.1 g
Peptona	1.0 g
Extracto de levadura	1.0 g
Extracto de suelo	250 ml
Agua	750 ml
Agar	15 ml

**Preparación:** La mezcla fue ajustada a un pH de 7.4, se calentó por 30 minutos y se filtró. Se esterilizó en autoclave de presión marca I. Steele a 15 lb durante 20 minutos. El extracto de suelo se preparó con 1 kg de Suelo fértil y un litro de agua, la mezcla se esterilizó por 3 días consecutivos en el autoclave a 15 lb de presión durante 20 minutos, posteriormente se filtró.

#### • Medio de cultivo para Hongos del Suelo.

Método: Peptona- Dextrosa- Agar. (Alexopoulos y Platnick citados por Peisajovich, 1984).

Reactivos utilizados

Agar	20 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1 g
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.5 g
Peptona	5 g
Dextrosa	10 g
Agua destilada	100 ml
Rosa de Bengala	0.034 g
Streptomycina	30 mg/ml
Aurocmycina	2 mg/ml

**Preparación:** Todos los reactivos, excepto el rosa de bengala y los antibióticos, se disolvieron en el agua. La mezcla se calentó lentamente hasta que empezó a hervir, ya homogéneo el medio, se agregó el rosa de bengala, de manera que se tuviera una dilución 1:30.000 se agregó 1 ml por cada 100 ml del medio. Se esterilizó en el autoclave de presión marca I. Steele, por 15 minutos a 15 lb. Se ajustó el pH previamente a 4.2, cuando el medio ha sido vaciado y enfriado en las cajas petri, se añadió el antibiótico.



- **Medio de cultivo para Microorganismos Celulolíticos** (Alexander y Parkinson citados por Peisajovich, 1984)

Reactivos utilizados

$K_2HPO_4$	1 g
Na $NO_3$	0.5 g
Mg $SO_4 \cdot 7 H_2O$	0.5 g
KCl	0.5 g
Fe $SO_4 \cdot 7H_2O$	01 g
Agua destilada	1000 ml

- **Actividad celulolítica.**

Se determinó el número más probable de bacterias celulolíticas con base en las siguientes diluciones: 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000, 1:100000, 1:1000000.

Se prepararon 100 tubos de ensaye con 10 ml del medio específico para bacterias celulolíticas, más una tira de papel filtro se hicieron las diluciones:  $10^1$ ,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$  y  $10^5$  de cada una de las cuales se prepararon tubos por quintuplicado, para lo cual fue transferido 1 ml de la dilución correspondiente a cada tubo. Todo se llevo a cabo en condiciones asépticas.

Los tubos se incubaron a  $28^{\circ}C$ , por un período de 30 días, al cabo de los cuales se hizo la lectura de los tubos como sigue: se consideraron tubos positivos (+) o fértiles, aquéllos en donde fue evidente la destrucción del papel, y negativos (-) o infértiles, aquéllos en donde no hubo destrucción.

El número más probable de bacterias celulolíticas se determinó por el método de McCrady, (Vicent, 1970) el cual se basa fundamentalmente en el número de tubos fértiles (+) por dilución, y de cuya combinación se obtiene "El Número Característico" que sirve para definir el número más probable, de acuerdo con las tablas del método indicado.

- **Cuantificación de los microorganismos.**

La cuantificación de bacterias actinomicetos y hongos se efectuó empleando el método de palca de agar y el método de diluciones;  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  para bacterias y actinomicetos, y para los hongos la dilución  $10^2$ .

Se utilizaron los siguientes medios selectivos:

- Medio albúmina-agar para bacterias y actinomicetos.
- Medio de martin rosa de bengala estreptomycin -agar para hongos.

De los medios selectivos antes indicados, se prepararon placas por cuadruplicado, se colocó 1 ml de cada dilución en su correspondiente caja petri estéril y posteriormente, 10 ml de medio estéril licuado y enfriado a  $40^{\circ}C$ . Se agitaron las cajas por medio de movimientos giratorios en ambos sentidos, con objeto de que la dilución inoculante se mezclara uniformemente con el medio de cultivo. Las cajas petri fueron incubadas a  $28^{\circ}C$ .

Los períodos de incubación fueron los siguientes:

- Para hongos: 4 días
- Para bacterias: 6 días
- Para actinomicetos: 6 días

Una vez transcurrido el período de incubación, se procedió a llevar a cabo la cuenta de colonias, seleccionando las placas que contenían 40 a 300 colonias aproximadamente.

Se optó por usar el suelo húmedo (libre de partículas gruesas), con el fin de evitar posibles contaminaciones, por tanto, el recuento en términos generales fue como sigue.

$$\frac{(\text{X aritmética de recuentos}) (\text{factor de dilución})}{\text{gramos de suelo seco utilizados en la dilución } 10^1} = \text{No. de organismos formadores de colonias (UFC) por gramo de suelo seco.}$$

### 3.11 ANALISIS ESTADISTICO.

Para la cuantificación de Microflora Total del suelo, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey con una confiabilidad del 99%.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION.

## 4.1 CARACTERISTICAS AMBIENTALES DEL AREA DE MUESTREO DE SUELOS.

El área de muestreo del suelo utilizado como Testigo Universal (TU), durante la fase experimental, se encuentra ubicada en el Estado de Jalisco, al Oeste de Guadalajara, entre los paralelos 20°39' y 20°45' N y los meridianos 103°30' y 103°42' W, ocupando una superficie aproximada de 42 km<sup>2</sup>.

Esta área, ocupa una porción pequeña de la caldera volcánica denominada la Sierra "La Primavera". De acuerdo con Mahood (1977), dicha caldera se originó hace aproximadamente 100,000 años. Está constituida por derrames de lavas riolíticas, domos volcánicos, cenizas, pómez ácida, vidrio ácido, tobas y sedimentos lacustres. (Figura 2).

En la Tabla 4 se muestran las principales características biofísicas de esta zona.

TABLA 4. RASGOS BIOFISICOS DE LA ZONA DE MUESTREO DE SUELOS.

1. Geoforma	Caldera volcánica del Pleistoceno Tardío.
2. Relieve	Varía de plano a normal en las geoformas más estables y antiguas; y de normal a excesivo en las más jóvenes.
3. Clima	Tipo Ganges, precipitación promedio anual de 980 mm, temperatura promedio anual de 20.6 °C (Koppen, 1948).
4. Litología	Rocas ígneas extrusivas ácidas.
5. Vegetación dominante	Bosque de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i> con estrato inferior de arbustos, matorrales y herbáceas.
6. Suelos	Entisoles e Inceptisoles (Regosoles, Leptosoles, Cambisoles)
7. Edad	Holoceno.
8. Hidrografía	Se presenta un patrón de sistema dendrítico en la mayor proporción del área y, secundariamente, un sistema radial y semiparalelo.
9. Uso actual del suelo	Forestal, turístico y urbano, ocasionalmente agrícola.
10. Factores de degradación ambiental	Tala, erosión severa, quema de pastizales, compactación, contaminación, precipitación ácida.

Por las características descritas en la Tabla 4, se trata de un bosque típico de la zona ampliada de México (Rzedowski 1986). Este bosque se ha establecido sobre materiales geológicos ricos en sílice, pero pobres en bases, lo que ha originado por intemperismo suelos muy poco desarrollados y de carácter distrófico.

Por su origen geológico, el cual aún muestra evidencias de actividad tectónica, es común encontrar en esta área actividad hidrotermal. El impacto antropogénico representado principalmente por la tala, la construcción de caminos, la construcción de fincas y el sobrepastoreo, ha propiciado una degradación severa por hidroerosión en los suelos de la zona. Dicha degradación ha afectado, en diferentes grados según Gama *et al.* (1990), varias funciones de los suelos, entre ellas:

- (a) Su capacidad para regular la recarga de agua, (b) su capacidad para reciclar los materiales de deshecho, (c) la calidad de hábitat para los organismos del suelo y (d) los contenidos de materia orgánica del suelo. Esto último resulta evidente si se observan las características de color, estructura, CICT y saturación de bases que se indican en la descripción del Perfil II (Tabla 5).

#### 4.2 CARACTERISTICAS DEL SUELO SELECCIONADO PARA ESTA INVESTIGACION

En la Figura 2 se indicó la localización de los perfiles de suelo que representan el contexto edafológico de la zona denominada la Sierra "La Primavera". Como ha sido mencionado, dentro de estos perfiles se determinó con base a su composición elemental (análisis PIXE), que el Perfil II, por sus características particularmente adversas, con relación a su erodabilidad, era el más adecuado para este estudio. A este perfil se le consideró con base en su composición multielemental y riesgo de erodabilidad como el suelo Testigo Universal (Tabla 5). En la Figura 7 se dan las características del balance del agua en el suelo y en la Figura 8 se dan las características morfológicas relevantes del perfil seleccionado

Como puede observarse en la tabla 5 el suelo (TU) se caracteriza por un escaso desarrollo de horizontes, pobreza en materia orgánica y bases, muy baja CICT y por una textura arenosa constituida por partículas ricas en sílice, que tienden a compactarse fácilmente. Su retención de humedad es baja.

A continuación se describen sus principales propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas, así como su clasificación.

**FIGURA 5. DETERMINACION DEL BALANCE HIDRICO EN LA SIERRA "LA PRIMAVERA"**

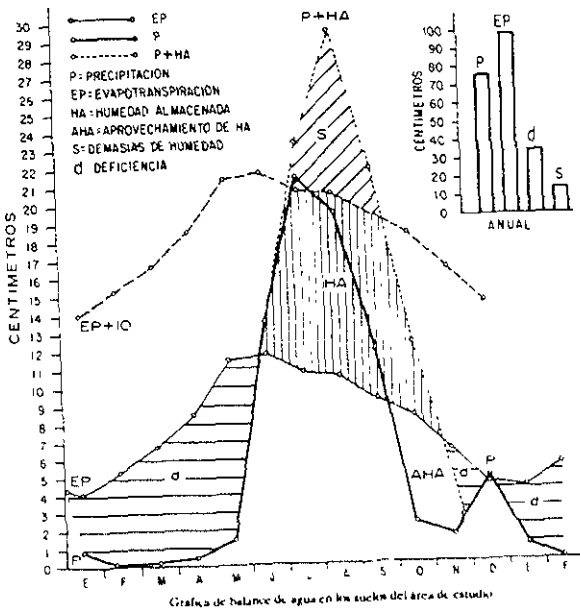
Concepto	Clave	VALORES PROMEDIOS MENSUALES (mm)												Anual	
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
1. Tiempo húmedo	T.H.	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
2. Precipitación	P	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
3. Índice de humedad	I.H.	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
4. Evapotranspiración potencial	EP	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
5. Humedad	H	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
6. Evapotranspiración por déficit	EPD	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
7. Movimiento de humedad almacenada	MA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. Humedad almacenada	HA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9. Demanda de agua	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10. Deficiencia promedio	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11. Esparcimiento horizontal	EH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12. Mensual	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13. Anual	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14. Comentarios	C														

Indicador	Clave	Fórmula	Unidad
Índice de humedad	I.H.	$\frac{P}{EP}$	Adimensional
Índice de aridez	A	$\frac{EP}{P}$	Adimensional
Índice pluviométrico	P	$\frac{P}{100}$	%
Índice de calor húmedo	H	$\frac{P}{EP}$	Adimensional
Índice de agua almacenada	MA	$\frac{MA}{100}$	%
Índice de almacenamiento	AL	$\frac{AL}{100}$	%
Índice de humedad	I.H.	$\frac{P}{EP}$	Adimensional

Fuente: "El tiempo húmedo y el índice de humedad".  
 En: "Evapotranspiración y humedad almacenada".

**CLIMOGRAMA**  
 DETERMINACION DEL BALANCE DEL AGUA (THORNTHWAITE, 1948)  
 ESTACION TALA



## FIGURA 8. DETALLE MORFOLOGICO DEL PERFIL II. TESTIGO UNIVERSAL. (TU)

**Situación.** Sierra "La Primavera", Estado de Jalisco.

**Topografía.** Ondulada (10-15%). Altitud: 1,700 m.s.n.m.

**Vegetación.** Pastizal: *Bouteloua* - *Rynchelytrum* - *Muhlenbergia*

Arbóreas: *Pinus sp.*, *Quercus sp.*



Se aprecia un desarrollo incipiente y su degradación intensa.

### Morfología:

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A <sub>11</sub>	0-10/15	Franco arenoso fino, gris claro (10YR 7/2), sin estructura, sólo presenta en menos del 10%, por volumen, bloques subangulares finos, mal desarrollados, muy friables; poco poroso; conductividad hidráulica moderadamente lenta; retención de humedad de baja a moderada; raíces escasas; transición clara.
A <sub>12</sub>	10/15-40	Franco arenoso; gris claro (10YR 7/2); sin estructura; poco poroso; aireado; conductividad hidráulica moderada, retención de humedad de baja a moderada, transición brusca.
C	40-70	Fianco arenoso grueso; color blanco (10YR 8/2), sin estructura; consistencia suelta.
CR	70-125	Ligeramente compactado y cementado (de 70-125 cm) no presenta raíces; muy rico en cuarzo

#### 4.2.1 Propiedades Geoquímicas y Edáficas, del Suelo Testigo Universal (TU).

- **Granulometría:** Arenosa fina y relativamente homogénea, aunque se observa un incremento gradual en el porcentaje de arena y un decremento en limo con la profundidad; estas variaciones son producto de una degradación mecánica de los elementos texturales (Tabla 5) Las arcillas son muy escasas y, además, no se observa migración de estos elementos (cutanes). Consecuentemente, los procesos de transformación y translocación, están muy atenuados en este suelo.
- **Mineralogía:** Las fracciones de arena y limo están constituidas por minerales resistentes al intemperismo. Predomina el cuarzo, la cristobalita y el feldespato alcalino, incluso del tamaño de la arcilla. Las estructuras microcristalinas secundarias, menores a 2 micras, están representadas por Haloisita y Metahalosita, arcillas típicas de suelos de zonas templadas que muestran un periodo de sequía anual.
- **Complejo absorbente:** La C.I.C.T. es muy baja debido a la pobreza en materia orgánica y en arcillas. El valor de la suma de las bases es muy bajo en  $A_{11}$  ( $1.6 \text{ cmol (+) Kg}^{-1}$ ) bajo en C ( $2.88 \text{ cmol (+) Kg}^{-1}$ ); la relación S/T es de 32.7%, se incrementa en C. Dichas características resultan comunes en suelos que no muestran cargas variables debido a la ausencia de amorfos.
- **El pH:** es fuertemente ácido en todo el perfil, debido a la naturaleza del material parental y al lavado de bases, así como a los contenidos altos de aluminio intercambiable (Tabla 5). La relación  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / \text{K}^+)$ , es  $<3$  lo que indica una gran deficiencia de calcio en el suelo, que colateralmente explica la falta de agregación y estructura y su tendencia a compactarse, con la consecuente disminución de la porosidad.
- **Hidróxidos:** El hierro y aluminio libres, igual que la arcilla, están distribuidos uniformemente en el perfil: 0.22% de hierro libre y 3% de aluminio (Tabla 5). Este último valor, bastante elevado, (carácter alítico), es el resultado del aporte de aluminio al suelo por vía lateral. (Drenaje lateral).
- **Características bioquímicas:** El contenido de materia orgánica es moderadamente pobre en  $A_{11}$ , mediano en  $A_{12}$  y muy pobre en C; la relación C/N es alta en  $A_{11}$  (Tabla 5).
- **Evolución:** Se trata de un suelo mineral, residual, caracterizado por un horizonte A ócrico, muy poco evolucionado y diferenciado. Su color pálido (litocromo) y los bajos porcentajes de materia orgánica, arcilla y hierro libre, así como la casi nula migración de arcillas, indican que la alteración mineral y los procesos edafogénéticos son muy reducidos (Tabla 5). La formación de un horizonte (Bw) está limitada, en este caso, por la naturaleza félsica del material parental, así como por los efectos de la erosión acelerada y la presencia de degradación física, química y biológica que eliminan gran parte de los escasos lixiviados liberados por la alteración.

Perfil	Profundidad cm	Horizonte	Análisis granulométrico (%)			Densidad de masa g/cm <sup>3</sup>	Porosidad (%)	Retención de humedad % 1/3 bar	15 bar
			Fracción <2mm						
			Arena	Limo	Arcilla				
II	0-10/15	A <sub>11</sub>	66.0	31.0	3.0	1.8	41.0	11.2	2.50
	10/15-40	A <sub>12</sub>	67.0	30.0	3.0	1.7	43.0	11.7	2.85
	40-70	C	69.0	28.0	3.0	1.4	40.0	10.9	2.60
	70-125	CR	72.0	28.0	2.0	1.5	39.0	10.3	2.60

Perfil	Profundidad cm	Conductividad hidráulica cm/h	pH H <sub>2</sub> O 12.5	C.I.C.T (T) meq/100g	Cationes Intercambiables meq/100g			Suma de bases	
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup>		
II	0-10/15	1.95	5.0	5.2	0.65	0.2	0.35	0.4	1.60
	10/15-40	2.22	5.0	5.2	0.66	0.2	0.65	1.0	2.51
	40-70	1.6	5.0	5.1	0.63	0.3	0.55	1.4	2.88
	70-125	0.49	5.0	3.3	0.45	0.3	0.55	1.2	2.50

Perfil	Profundidad cm	Saturación de bases (%)	Al <sup>3+</sup> intercambiable meq/100g	Fe <sup>3+</sup> libre (%)	Materia Orgánica (%)	C (%)	N (%)	C/N
II	0-10/15	30.76	3.1	0.22	0.86	0.65	0.01	65.0
	10/15-40	48.27	3.2	0.22	1.02	0.59	0.05	11.8
	40-70	56.47	3.3	0.22	0.28	0.16	0.01	16.0
	70-125	75.75	0.0	0.22	Trz			

Perfil	Profundidad cm	Análisis	Mineralógico	Fracción 0.1-0.5mm
		Minerales Principales	Accesorios	Difracc por Rayos X
II	0-10/15	Qz-FD-GS	GW-Re	Qz-QC-FD
	10/15-40	Qz-FD-GS	GW-Ma	Qz-QC-FD-MH
	40-70	GS-Qz-FD	GW-Re	Qz-QC-FD-KH
	70-125	GS-Qz-FD	GW	Qz-FD-QC

Código  
 G/N = Vidrio a terado                      Qz = Cuarzo                      FD = Feldespato potásico  
 MA = Agregados microcristalinos        QC = Cristobalita  
 MH = Melaholita                              Re = Filotofos  
 KH = Halosita                                  Trz = Trazas



Por otra parte, un porcentaje significativo de los complejos orgánicos y minerales, formados en el horizonte A, son drenados lateralmente debido a la presencia de capas compactadas y erosión lo que empobrece al perfil en todos los cationes e impide la formación de un horizonte B. La humificación y la mineralización de la materia orgánica están limitadas por la acidez y, posiblemente, por los altos contenidos de aluminio, tóxico para los microorganismos presentes en el suelo.

#### 4.2.2 Clasificación, Nomenclatura y Correlación del Suelo Testigo Universal ( TU).

El perfil II (TU), con base en FAO (1994), se clasifica como Regosol eútrico similar a un Typic Ustorthem (USDA, 1998) y semejante a los suelos de Aporte Volcánico de la Clasificación Francesa (Figura 6). Como puede observarse en la Tabla 5, el suelo se caracteriza por una escasa horizontalización y pobre desarrollo edáfico.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA ZONA DE RECOLECTA DE MATERIAL VEGETAL.

Como se señaló en la Metodología, el área de muestreo del material vegetal utilizado en esta tesis, se ubicó dentro del Campus de la Ciudad Universitaria (Figura 5). En la Tabla 6 se presentan las principales características biofísicas de dicha zona, según la revisión bibliográfica efectuada.

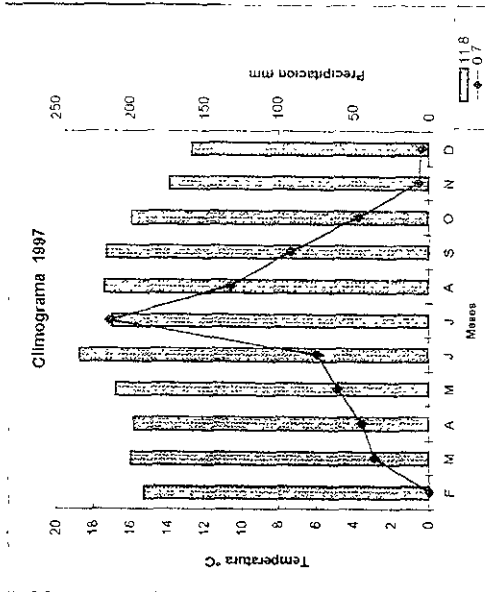
**TABLA 6. RASGOS BIOFÍSICOS DE LA ZONA DE MUESTREO DEL MATERIAL VEGETAL.**

1. Geoforma:	Derrame de lava basáltica (Mal país – Pedregal).
2. Relieve:	Oscila de plano a quebrado. (<1 a > 35%)
3. Clima:	Co (Wo) (w) (i')g Subhúmedo (Koppen, 1998)
4. Litología:	Basalto andésitico.
5. Vegetación dominante:	Especies inducidas: <i>Pinus</i> – <i>Eucaliptus</i> .
6. Suelos:	Leptosoles y Antroposoles.
7. Edad:	+ 2000 años
8. Hidrografía	Nula.
9. Uso actual del suelo:	Áreas verdes y Zona urbana.
10. Factores de degradación ambiental.	Presión demográfica, urbanismo, contaminación, cambio de uso del suelo, deforestación, antropización de los suelos.

FIGURA 9. REGISTRO DE LOS DATOS CLIMATOLOGICOS CORRESPONDIENTES AL CICLO 1996-1997 PROPORCIONADOS POR LA ESTACION METEOROLOGICA UBICADA EN C.U. A 2278 MSNM.

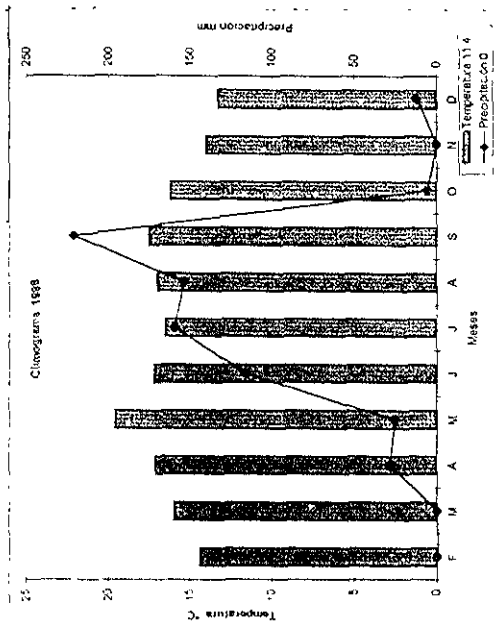
Climograma ciclo 1997

Meses	Temperatura	Precipitación
E	11.8	0.7
F	15.3	0
M	16	367
A	15.8	45.2
M	16.8	61
J	18.7	745
J	17	2149
A	17.4	133.3
S	17.3	92.5
O	15.9	47.2



Climograma ciclo 1998

Meses	Temperatura	Precipitación
E	11.4	0
F	14.4	0
M	16	0
A	17.1	28.8
M	19.6	26
J	17.2	116.7
J	16.5	160
A	17	154.2
S	17.5	222.2
O	16.2	6.2
N	14	0
D	13.3	12.6



#### 4.4 FUNCIONAMIENTO Y NIVEL DE EFICIENCIA DE LAS TRAMPAS DE MUESTREO.

De acuerdo a lo previsto en la metodología propuesta por Proctor (1995), las trampas funcionaron de modo eficiente para la recolección del material vegetal. Se infiere con base en las observaciones realizadas, que ésta eficiencia fue debida principalmente, a los siguientes cinco factores:

1. **El diseño estructural de las trampas fue sencillo y poco atractivo.** Esto implicó que las trampas no requerían, prácticamente, de mantenimiento para su funcionamiento adecuado. Por otra parte, no causaron curiosidad entre los usuarios de las instalaciones Universitarias. Esto permitió que dichas trampas no fueran dañadas, modificadas o sustraídas del lugar asignado.
2. **Localización de las trampas.** Como se observa en la Figura 5, las 30 trampas fueron colocadas en sitios aislados o poco frecuentados. Algunos de ellos de difícil acceso.
3. **Apoyo y vigilancia.** Gracias al apoyo recibido por empleados de la UNAM, responsables del mantenimiento de las áreas verdes, las trampas fueron cuidadas y protegidas de cualquier eventualidad.
4. **Sistema de monitoreo.** Como se indicó en la metodología, la recolecta de la hojarasca fue hecha durante cinco periodos regulares (Anexo 1). Esto permitió tener control de cada una de las trampas y, de modo oportuno, solucionar cualquier eventualidad que se presentara.
5. **Cualidad de los materiales.** Debido a que las trampas estaban constituidas únicamente por plástico y cartón forrado con plástico, el intemperismo ambiental a que estuvieron sujetas durante 50 días no logró afectarlas, ni en su estructura ni en su funcionamiento.

Se consideró importante destacar éstas cinco especificaciones debido a que se logró de modo eficiente y sencillo, la recolecta del material vegetal. Este paso metodológico era básico para el desarrollo de esta tesis.

#### 4.5 CARACTERISTICAS Y COMPOSICION DEL MATERIAL VEGETAL RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS.

Como puede observarse, en las Tablas 7, 8 y 9 se presentan los porcentajes, por peso, de las fracciones vegetales recolectadas de pino, eucalipto y encino, respectivamente. Así mismo se indica la fecha de recolecta. (Columna 1).

En cada trampa se obtuvieron cinco elementos principales: (1) hojas, (2) madera, (3) flores y frutos, (4) ramas y (5) fragmentos ajenos, donde se incluyeron: restos de insectos, hojas de otras especies, pedazos de papel y plástico, principalmente. (En el Anexo 1 Tablas 19, 20, 21 y Figuras 22, 23, 24, 25 y 26 se detallan los porcentajes por peso de las fracciones vegetales recolectadas por cada especie arbórea).

Son varios los aspectos fisiológicos, relativos al material vegetal recolectado, que destacan. Los principales son.

- a) Durante 50 días los árboles de eucalipto, fueron los que mayor cantidad de hojas aportaron, seguidos por los encinos y pinos, respectivamente (Tablas 7, 8 y 9). Sin embargo, a diferencia de las hojas de los encinos y pinos, las hojas de eucalipto no presentaban ninguna evidencia de alteración física (ruptura, desgarramiento, fragmentación) no obstante el tiempo ( $\leq 8$  días) en que el material vegetal estuvo expuesto a la intemperie.
- b) El eucalipto fue el único árbol que durante el lapso antes señalado aportó, de modo significativo, madera, flores y frutos dentro de cada trampa. Como puede observarse en la Tabla 8, la cantidad de madera, en peso, era muy parecida a la cantidad de hojas que proporcionó (456.6 g de hojas y 440.8 g de madera).
- c) Es importante hacer notar que dentro del concepto "Fragmentos Ajenos," el eucalipto nuevamente se distinguió por su aporte. Dicho aporte, en más del 80%, por peso, de los "fragmentos" (74.3 g) estuvo constituido por restos de insectos (Tabla 8).
- d) Los árboles de pino, y, principalmente, encino fueron los que mostraron las relaciones, por peso, más altas entre: (a) hojas vs madera, (b) hojas vs flores y fruto y (c) hojas vs fragmentos ajenos. En el caso de eucalipto, dichas relaciones fueron 1.03:1, 3.22:1 y 6.14:1, para el pino 107:1, 329.67:1 y 471.63:1, para el encino 189.9:1, 436.70:1 y 121.3:1.

Estos cuatro aspectos, antes citados, tienen gran importancia si se reconsidera el marco teórico desarrollado en esta tesis, relativo al intemperismo físico y mecánico de los residuos orgánicos.

Así, el hecho de que el eucalipto aportara la mayor cantidad de hojas, madera, flores y frutos (Tabla 8), resultó de relativa importancia; si se considera que gran parte de dicho material, mostró una resistencia alta a la fragmentación por acción de los factores ambientales. Según Nye y Greenland (1965), la fragmentación es un prerequisite indispensable para iniciar la mineralización de la materia vegetal.

Por otra parte, casi el 40% del material vegetal (por peso) que aportaron los eucaliptos (Tabla 8), consistió en materiales ricos en compuestos de difícil alteración física, química y biológica. Tales materiales, como la madera, están constituidos por porcentajes altos en celulosa, hemicelulosa y ligninas (Tabla 10).

Desde luego, también se debe considerar, además, que la composición química elemental varía en cada una de las especies utilizadas en esta tesis y en cada una de las fracciones colectadas. Por ejemplo Nye y Greenland (1960), indican de modo general, la presencia significativa de P y S en las hojas de especies arbóreas y que el contenido promedio de N de las hojas, madera y raíces es de respectivamente: 2.26, 0.29 y 0.78%; consecuentemente la disponibilidad de elementos como N, P y S se incrementa en proporción directa al porcentaje, en peso, de hojas que constituyen la hojarasca.

**ESPECIE PINO**

Fecha de recolecta	Periodo en dias	TP <sup>1</sup>	TP <sup>2</sup>	TP <sup>3</sup>	TP <sup>4</sup>	TP <sup>5</sup>	TP <sup>6</sup>	TP <sup>7</sup>	TP <sup>8</sup>	TP <sup>9</sup>	TP <sup>10</sup>	Total de cada periodo
22-31/05/97	10	9.7	9.3	9.5	9.2	9.4	10.2	8.9	9.8	10.1	9.0	95.1
1-13/06/1997	13	7.5	6.9	7.3	6.9	7.8	7.3	6.9	7.2	7.3	7.4	72.5
14-22/08/97	9	5.4	5.5	6.0	5.7	5.6	5.2	5.6	5.9	5.8	6.0	56.7
23-30/06/97	8	7.2	7.0	7.0	7.8	6.8	7.3	7.0	6.9	6.8	7.1	70.9
1-10/07/97	10	4.7	4.5	4.4	4.6	4.2	4.5	4.6	4.5	4.8	4.6	45.4
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>34.5</b>	<b>33.2</b>	<b>34.2</b>	<b>34.2</b>	<b>33.8</b>	<b>34.5</b>	<b>33</b>	<b>34.3</b>	<b>34.8</b>	<b>34.1</b>	<b>340.6</b>

**Composición Porcentual, por peso de la Hojarasca de PINO**

	TP1 g	TP1 %	TP <sup>2</sup> g	TP <sup>2</sup> %	TP <sup>3</sup> g	TP <sup>3</sup> %	TP <sup>4</sup> g	TP <sup>4</sup> %	TP <sup>5</sup> g	TP <sup>5</sup> %	TP6 g	TP6 %
1 Hojas peciolos y raquis foliar	33.81	98	32.2	97	32.49	95	33.174	97	33.462	99.0	32.43	94.2
2 Fragmentos de madera	0.17	0.5	0.0	0.0	0.342	1.0	0.684	2.0	0.0	0.0	0.69	2.0
3 Flores y frutos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 Material vegetal >5 mm	0.34	1.0	1.0	3.0	1.368	4.0	0.342	1.0	0.338	1.0	1.035	3.0
5 Fragmentos ajenos	0.18	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.345	1.0
<b>Total</b>	<b>34.5</b>	<b>100.0</b>	<b>33.2</b>	<b>100.0</b>	<b>34.2</b>	<b>100.0</b>	<b>34.2</b>	<b>100.0</b>	<b>34.8</b>	<b>100.0</b>	<b>34.5</b>	<b>100.0</b>

	TP6 %	TP7 g	TP7 %	TP8 g	TP8 %	TP9 g	TP9 %	TP10 g	TP10 %	TOTAL g	TOTAL %
1 Hojas peciolos y raquis foliar	94.0	32.01	97.0	33.957	99.0	33.408	96.0	32.736	96.0	329.677	96.8
2 Fragmentos de madera	2.0	0.33	1.0	0.0	0.0	0.696	2.0	0.1705	0.5	3.0825	0.90
3 Flores y frutos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
4 Material vegetal >5 mm	3.0	0.66	1.0	0.343	1.0	0.522	1.5	1.1935	3.5	7.1415	2.10
5 Fragmentos ajenos	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.174	0.5	0.0	0.0	0.699	0.20
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>33.0</b>	<b>100.0</b>	<b>34.3</b>	<b>100.0</b>	<b>34.8</b>	<b>100.0</b>	<b>34.1</b>	<b>100.0</b>	<b>340.6</b>	<b>100.00</b>

**PINO**

<b>1 HOJA</b>	329.677g/2.0m <sup>2</sup> /50 DIAS=1.65T/ha/50 DIAS, Aprox
<b>2. MADERA</b>	3.0825g/2.0m <sup>2</sup> /50 DIAS=15.4Kg/ha/50 DIAS, Aprox
<b>3 FLORES Y FRUTOS</b>	0.0g/2.0m <sup>2</sup> /50 DIAS=0.0Kg/ha/50 DIAS, Aprox
<b>4 MATERIAL VEGETAL &gt; 5 mm</b>	7.1415g/2.0m <sup>2</sup> /50 DIAS=35.71Kg/ha/50 DIAS, Aprox
<b>5 FRAGMENTOS AJENOS</b>	0.699g/2.0m <sup>2</sup> /50 DIAS=3.5Kg/ha/50 DIAS, Aprox

Donde

El concepto Material vegetal >5mm, comprende principalmente fragmentos de ramas

% en peso

g= gramos

TP<sup>1</sup> a TP<sup>10</sup> = Trampa de Pino

**TOTAL**

**PINO: 1.7T/ha/50D**

ESPECIE EUCALIPTO												Total de
Fecha de	Período	TE <sup>1</sup>	TE <sup>2</sup>	TE <sup>3</sup>	TE <sup>4</sup>	TE <sup>5</sup>	TE <sup>6</sup>	TE <sup>7</sup>	TE <sup>8</sup>	TE <sup>9</sup>	TE <sup>10</sup>	cada período
22-31/05/97	10	15.7	12.9	14.3	13.9	11.5	16	14.2	11.7	12.9	14.3	137.4
1-13/06/1997	13	18.1	17.6	19.2	20.3	18.1	19.5	19.3	18.5	20.2	20	190.8
14-22/05/97	9	20.3	19.7	22.7	21.6	24.1	23.2	21	22.7	23.3	23.7	222.3
23-30/05/97	8	25.2	25.7	24.9	25.1	25.9	24.7	25.3	26.2	25.8	26.1	254.9
1-10/07/97	10	33.1	29.6	32.1	36.2	34.7	31.3	33.3	31.9	30.5	33.6	328.3
Total	50	112.4	105.5	113.2	117.1	114.3	114.7	113.1	111	112.7	117.7	1131.7

Composición Porcentual, por peso de Hojarasca de Eucalipto

	TE <sup>1</sup> g	TE <sup>1</sup> %	TE <sup>2</sup> g	TE <sup>2</sup> %	TE <sup>3</sup> g	TE <sup>3</sup> %	TE <sup>4</sup> g	TE <sup>4</sup> %	TE <sup>5</sup> g	TE <sup>5</sup> %	TE <sup>6</sup> g	TE <sup>6</sup> %
1 Hojas, pecoños y raquis foliar	48.0	42.7	39.0	36.97	49.5	43.77	45	38.43	50.1	43.83	46.0	46.0
2 Fragmentos de madera	42.0	37.37	51.0	48.34	33.2	29.33	55.5	47.39	37.7	32.98	44.0	44.0
3 Flores y frutos	17.0	15.12	13.2	12.51	15.3	13.51	15.7	13.41	12.2	10.67	14.5	14.5
4 Material vegetal >5 mm	3.3	2.94	1.3	1.23	0.5	0.44	0.0	0.0	3.3	2.89	2.0	2.0
5 Fragmentos ajenos	2.1	1.87	1.0	0.95	14.7	12.95	0.9	0.77	11.0	9.63	8.2	8.2
Total	112.4	100.0	105.5	100.0	113.2	100.0	117.1	100.0	114.3	100.0	114.7	114.7

	TE <sup>5</sup> %	TE <sup>7</sup> g	TE <sup>7</sup> %	TE <sup>8</sup> g	TE <sup>8</sup> %	TE <sup>9</sup> g	TE <sup>9</sup> %	TE <sup>10</sup> g	TE <sup>10</sup> %	TOTAL g	TOTAL %
1 Hojas, pecoños y raquis foliar	40.1	39.3	34.75	47.5	42.79	45.7	40.55	46.5	39.51	456.6	40.34
2 Fragmentos de madera	38.36	38	33.6	45.5	40.99	43.9	38.95	50	42.48	440.8	38.98
3 Flores y frutos	12.64	13.2	11.67	12	10.81	14.1	12.51	14.3	12.15	141.5	12.5
4 Material vegetal >5 mm	1.74	1.9	1.68	1.8	1.62	2.3	2.04	2.1	1.78	18.5	1.64
5 Fragmentos ajenos	7.16	20.7	18.3	4.2	3.79	6.7	5.95	4.8	4.08	74.3	6.54
Total	100.0	113.1	100.0	111.0	100.0	112.7	100.0	117.7	100.0	1131.7	100.0

EUCALIPTO

1. HOJA

456.6g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=2.28T/ha/50 DIAS, Aprox

2. MADERA

440.8g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=2.204T/ha/50 DIAS, Aprox

3. FLORES Y FRUTOS

141.5g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=70.75Kg/ha/50 DIAS, Aprox

4. MATERIAL VEGETAL > 5mm

18.5g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=9.25Kg/ha/50 DIAS, Aprox

5. FRAGMENTOS AJENOS

74.3g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=37.15Kg/ha/50 DIAS, Aprox

TOTAL

EUCALIPTO: 5.28T/ha/50D

Donde

El concepto Material vegetal >5mm, comprende principalmente fragmentos de ramas en peso

g= gramos

TE<sup>1</sup> a TE<sup>10</sup> = Trampa de Eucalipto

**ESPECIE ENCINO**

Fecha de recolecta	Período en días	TQ <sup>1</sup>	TQ <sup>2</sup>	TQ <sup>3</sup>	TQ <sup>4</sup>	TQ <sup>5</sup>	TQ <sup>6</sup>	TQ <sup>7</sup>	TQ <sup>8</sup>	TQ <sup>9</sup>	TQ <sup>10</sup>	Total de cada periodo
22-31/05/97	10	12.5	11.5	13.2	12.3	11.9	12.2	11.8	11.6	12	12.1	121.1
1-13/06/1997	13	11.7	11.3	11.1	10.9	11.2	11.1	11	10.3	11.1	11	110.7
14-22/06/97	9	9.5	10.4	9.6	10.3	9.8	9.9	9.8	9.1	9.2	9.7	97.3
23-30/06/97	8	5.3	4.7	5.5	4.9	5.3	5.1	5.3	5.0	5.4	5.2	51.7
1-10/07/97	10	9.2	8.9	8.5	9.0	9.5	9.0	9.1	9.2	9.2	9.1	90.7
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>48.2</b>	<b>46.8</b>	<b>47.9</b>	<b>47.4</b>	<b>47.7</b>	<b>47.3</b>	<b>47.0</b>	<b>45.2</b>	<b>46.9</b>	<b>47.1</b>	<b>471.5</b>

**Composición Porcentual, por peso de Hojarasca de ENCINO**

	TQ <sup>1</sup> g	TQ <sup>1</sup> %	TQ <sup>2</sup> g	TQ <sup>2</sup> %	TQ <sup>3</sup> g	TQ <sup>3</sup> %	TQ <sup>4</sup> g	TQ <sup>4</sup> %	TQ <sup>5</sup> g	TQ <sup>5</sup> %	TQ <sup>6</sup> g	TQ <sup>6</sup> %
1 Hojas, peciolo's y raquis foliar	46.3	96.06	42.5	90.81	40.1	83.72	46.4	97.89	47.7	100	100	42.1
2 Fragmentos de madera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
3 Flores y frutos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 Material vegetal >5 mm	1.9	3.94	4	8.55	7.3	15.24	1.0	2.11	0.0	0.0	0.0	4.2
5 Fragmentos ajenos	0.0	0.0	0.3	0.64	0.5	1.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
<b>Total</b>	<b>48.2</b>	<b>100</b>	<b>46.8</b>	<b>100.0</b>	<b>47.9</b>	<b>100.0</b>	<b>47.4</b>	<b>100.0</b>	<b>47.7</b>	<b>100.0</b>	<b>47.3</b>	<b>47.3</b>

	TQ <sup>6</sup> %	TQ <sup>7</sup> g	TQ <sup>7</sup> %	TQ <sup>8</sup> g	TQ <sup>8</sup> %	TQ <sup>9</sup> g	TQ <sup>9</sup> %	TQ <sup>10</sup> g	TQ <sup>10</sup> %	TOTAL g	TOTAL %
1 Hojas, peciolo's y raquis foliar	89.0	43.0	91.49	43.1	95.35	40.2	85.71	45.3	96.18	436.7	92.62
2 Fragmentos de madera	1.06	0.0	0.0	1.0	2.21	0.3	0.64	0.5	1.06	2.3	0.5
3 Flores y frutos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 Material vegetal >5 mm	8.88	4.0	8.51	0.1	0.23	5.1	10.87	1.3	2.76	28.9	6.11
5 Fragmentos ajenos	1.06	0.0	0.0	1.0	2.21	1.3	2.78	0.0	0.0	3.6	0.77
<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>47.0</b>	<b>100.0</b>	<b>45.2</b>	<b>100.0</b>	<b>46.9</b>	<b>100.0</b>	<b>47.1</b>	<b>100.0</b>	<b>471.5</b>	<b>100.0</b>

**ENCINO**

**1. HOJA**  
436.7g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=2.18T/ha/50 DIAS, Aprox

**2. MADERA**  
2.3g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=1.15Kg/ha/50 DIAS, Aprox

**3. FLORES Y FRUTOS**  
0.0g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=0.0Kg/ha/50 DIAS, Aprox

**4. MATERIAL VEGETAL > 5 mm**  
28.9g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=14.45Kg/ha/50 DIAS, Aprox

**5. FRAGMENTOS AJENOS**  
3.6g/2.0m<sup>2</sup> /50 DIAS=18Kg/ha/50 DIAS, Aprox

**TOTAL**  
**ENCINO 2.34T/ha/50D**

Donde

El concepto Material vegetal >5mm, comprende principalmente fragmentos de ramas en peso

g= gramos

TQ<sup>1</sup> a TQ<sup>10</sup> = Trampa de Encino

Sin embargo, como señala Fassbender (1990), con respecto a la mineralización de las hojas que se adicionan al suelo, es importante considerar otros factores como son: (a) características ambientales, (b) características intrínsecas del suelo y (c) relaciones C/N que muestren las hojas. En este caso, las características ambientales y del suelo utilizado son similares, sólo varió la relación C/N.

Como puede observarse en la Tabla 10 las relaciones C/N en las hojas frescas analizadas son: Eucalipto 229.72: 1, Pino 93.22: 1 y Encino 40.2: 1. De acuerdo con Foth (1980), los residuos de plantas arbóreas que proveen el mejor material crudo para una rápida descomposición microbiana, contienen cerca de 50% de carbón y 1% de nitrógeno (C/N 50:1) similar al valor de las hojas de encino. Sin embargo; en relaciones C/N >30 se produce inmovilización del nitrógeno, en tanto que en relaciones C/N de 15 - 30 la inmovilización y mineralización son iguales. La mineralización excede la inmovilización cuando la relación C/N es <15.

Como puede notarse en la Tabla 11, los análisis de C/N realizados en las Unidades Experimentales (U) que contenían hojarasca y que fueron sometidos a los Tratamientos (A) durante 50 días, (diseño experimental) disminuyeron sus valores de C/N de modo similar a cuando se "compostean" residuos orgánicos.

Como es evidente, las relaciones C:N adecuadas para una rápida y completa mineralización de la hojarasca, se presentaron en el caso del pino y, principalmente, del encino.

#### 4.6 COMPORTAMIENTO FISICO DEL MATERIAL VEGETAL

Otro aspecto relevante, fue el hecho de que se observó un comportamiento físico muy específico de cada tipo de hojarasca, depositada sobre el suelo, ante la presencia del agua. Así, se notaron las siguientes características:

- Las hojas de eucalipto depositadas sobre el suelo eran, aparentemente, impermeables al agua debido a la superficie de la hoja tan plana y lisa. El agua de riego que caía sobre ellas, incrementaba su velocidad de escurrimiento, especialmente en los sitios con pendiente.
- En el caso de las hojas de pino, debido a su forma acicular, el agua de riego tendía a represarse entre la hojarasca. Sin embargo, cuando la masa de agua retenida por la hojarasca era mayor que el peso de las hojas, las desplazaba y el agua escurría con mayor masa y volumen que el inicial. Este escurrimiento, arrastraba partículas de suelo y otros fragmentos orgánicos, creando corrientes en remolino alrededor de objetos pesados como gravas o piedras. En zonas con pendiente > 3% la energía de estas corrientes en remolino, se incrementaba y tendía a socavar el suelo, disgregándolo y transportándolo.
- Las observaciones relativas al comportamiento de las hojas de encino ante el agua de riego, mostraron que debido a su rugosidad, una cantidad significativa de agua, en forma de gota, permanecía por periodos considerables sobre las hojas. Además, la propia hoja absorbía cierta cantidad de agua. Así, ambas propiedades, rugosidad y absorción, tendían a disminuir el volumen y velocidad del flujo de agua sobre el suelo.



TABLA 10. COMPOSICION DEL MATERIAL VEGETAL (HOJARASCA), ANTES DEL EXPERIMENTO

FISICAS	PINO	EUCALIPTO	ENCINO
Edad del árbol	17 años	20 años	15 años
Edad hojarasca	1 mes	1 mes	15 días
Fecha de recolecta	22/05/97	22/05/97	22/05/97
Acumulación relativa	0.2 gC cm <sup>-1</sup>	0.2gC cm <sup>-1</sup>	0.2gC cm <sup>-1</sup>
Diametro de partícula	250 micras	250 micras	250 micras
Divisibilidad mecánica	Resistencia alta	Resistencia moderada	Resistencia baja
Dolor [1500kPa]	7.5YR4/6 pardo	2.5YR5/4 olivo claro	5Y5/4 olivo
Olor	Pino fuerte	Alcanfor	Anis
Densidad Aparente[1500kPa]	0.9404 g/cm <sup>3</sup>	0.8802 g/cm <sup>3</sup>	1.1462 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Real	0.55 g/cm <sub>3</sub>	0.63 g/cm <sup>3</sup>	0.48 g/cm <sup>3</sup>
Perdida de agua[105 °C]	8.00%	8.45%	7.85%
<b>QUIMICAS</b>			
Porcentaje M O	34.15	33.80	32.40
Porcentaje N	0.59	0.296	1.18
Porcentaje C	55.0	68.0	47.5
Relación C:N	93.22	229.72	40.2
Porcentaje celulosa	21.0	25.0	17.0
Hemicelulosa	17.0	20.0	18.0
Azúcares solubles	3.0	2.0	6.0
Lignina	16.0	8.0	6.0
Resinas, ceras-grasas	8.0	14.0	6.0
Taninos	24.0	20.0	6.0
Otros compuestos	10.0	6.0	27.0
Proteínas	6.0	5.0	9.0
Proteínas solubles	3.0	0.0	5.0
Penizas	90.6	90.8	93.2
pH [30 min.]	5.94	5.45	5.83
pH [24 hrs.]	5.69	5.25	6.15
Resistencia hc, .gr/cm <sup>2</sup>	283.0	255.0	188.0
hidrosolubles ppm			
Ca	3.36	7.27	4.07
Mg	21.8	27.1	51.4
Na	25.4	25.1	25.5
K	12.3	11.2	15.9

**TABLA 11. RELACIÓN C:N EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES\***

Unidad experimental	C %	Nt %	C .N
TU	0.65	0.01	65
TA <sub>1</sub>	0.63	0.01	63
TA <sub>2</sub>	0.66	0.01	66
TA <sub>3</sub>	0.65	0.01	65
TA <sub>4</sub>	0.65	0.01	65
TA <sub>5</sub>	0.65	0.01	65
UP <sub>1</sub>	3.65	0.27	13.5
UP <sub>2</sub>	3.85	0.3	12.8
UP <sub>3</sub>	3.2	0.25	12.8
UP <sub>4</sub>	3.5	0.26	13.4
UP <sub>5</sub>	2.95	0.18	16.3
UE <sub>1</sub>	2.1	0.09	23.3
UE <sub>2</sub>	2.25	0.08	28.1
UE <sub>3</sub>	2.35	0.1	23.5
UE <sub>4</sub>	1.8	0.07	25.7
UE <sub>5</sub>	1.9	0.08	23.7
UQ <sub>1</sub>	3.9	0.35	11.1
UQ <sub>2</sub>	4.7	0.42	11.2
UQ <sub>3</sub>	4.35	0.4	10.9
UQ <sub>4</sub>	4	0.38	10.5
UQ <sub>5</sub>	3.95	0.38	10.4

Donde:

\* = Datos promedio de las repeticiones

TU = Testigo Universal

TA<sub>1</sub> = Testigo de control tratado con HNO<sub>3</sub> (A<sub>1</sub>)

TA<sub>2</sub> = Testigo de control tratado con agua carbonatada (A<sub>2</sub>)

TA<sub>3</sub> = Testigo de control tratado con ácido acético (A<sub>3</sub>)

TA<sub>4</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (35 - 40°C) (A<sub>4</sub>)

TA<sub>5</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (<25°C) (A<sub>5</sub>)

U = Unidad experimental

P = Hojarasca de pino

E = Hojarasca de eucalipto

Q = Hojarasca de encino

Las características propias de cada tipo de hoja, también se evidenciaron en las características del flujo. Así, el flujo más turbio correspondió al que estuvo en contacto con la hojarasca de eucalipto, mientras que el más claro fue el del flujo que se relaciona con la hojarasca de encino. De acuerdo con el marco teórico, la mayor turbidez correspondió con la mayor disgregación y transporte del suelo.

#### 4.7 ANALISIS EXPERIMENTAL: VALORES ESTADISTICOS VS. VALORES CRITICOS

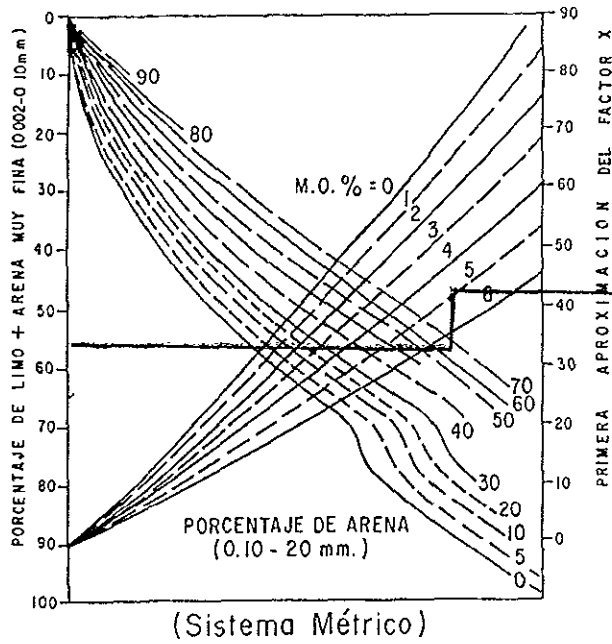
##### 4.7.1 Valores Estadísticos y Valores Críticos

En la Figura 10 se muestra el nomograma de Wischmeier (1977) y la ubicación gráfica de los 5 valores críticos, para obtener un valor de K de  $< 0.35$ .

Las Figuras 11, 12, 13, 14, 15 y 16 muestran que diferentes Unidades Experimentales (U) así como varios Testigos de Control (T) alcanzaron valores estadísticamente significativos con respecto al Testigo Universal (TU). Sin embargo, dichos valores, en muchos casos, no afectan el estatus de erodabilidad del suelo (Factor K). Esto indujo a una selección de aquellos valores estadísticamente significativos, cuya influencia claramente afectara, disminuyendo, la erodabilidad del suelo. A estos valores seleccionados se les denominó Valores Críticos.

Para hacer la selección de los valores críticos, hubo necesidad de calcular su umbral teórico. Con base en el Nomograma propuesto por Wischmeier (1977), se determinaron los valores críticos que el Testigo Universal (TU) debería, de modo teórico, presentar para obtener un valor de erodabilidad no riesgoso (Factor  $K < 0.35$ ). Así, fueron obtenidos dichos valores para las siguientes propiedades:

- **Arena Total y la suma de Limo + Arena muy fina.** Para reducir teóricamente la erodabilidad a un nivel no riesgoso, el suelo (TU) debería tener un porcentaje de la suma de Limo + Arena muy fina  $<$  de 55%, y al menos, un 13% de Arenas finas, Arenas medias, Arenas gruesas y Arenas muy gruesas (Figura 11 y 12).
- **Materia orgánica.** El nomograma de Wischmeier (1977), indicó que para abatir la erodabilidad del suelo a un nivel sin riesgo ( $K < 0.35$ ) el suelo debería presentar, al menos, 4.7% de materia orgánica. (Figura 13)
- **Estructura del suelo.** Las estructuras que se consideraron como adecuadas para disminuir la erodabilidad del suelo (TU) fueron tres: (1) bloques angulares de tamaño fino y medio, estables al agua, (2) bloques angulares y subangulares con las mismas características antes citadas y (3) agregados granulares finos y medios. Esta última estructura es la que más disminuye el riesgo de erodabilidad. (Figura 14).
- **Permeabilidad.** La permeabilidad debería presentar valores mayores de 0.5 cm/hr. para ser eficiente en el abatimiento de la erodabilidad (Figura 15).



(Sistema Métrico)

**Estructura:**

1. Granular muy fina
2. Granular fina
3. Granular mediana o gruesa
4. Blocosa, laminar o masiva

**Permeabilidad:**

1. Rápida
2. Moderada a rápida
3. Moderada
4. Lenta a moderada
5. Lenta
6. Muy lenta

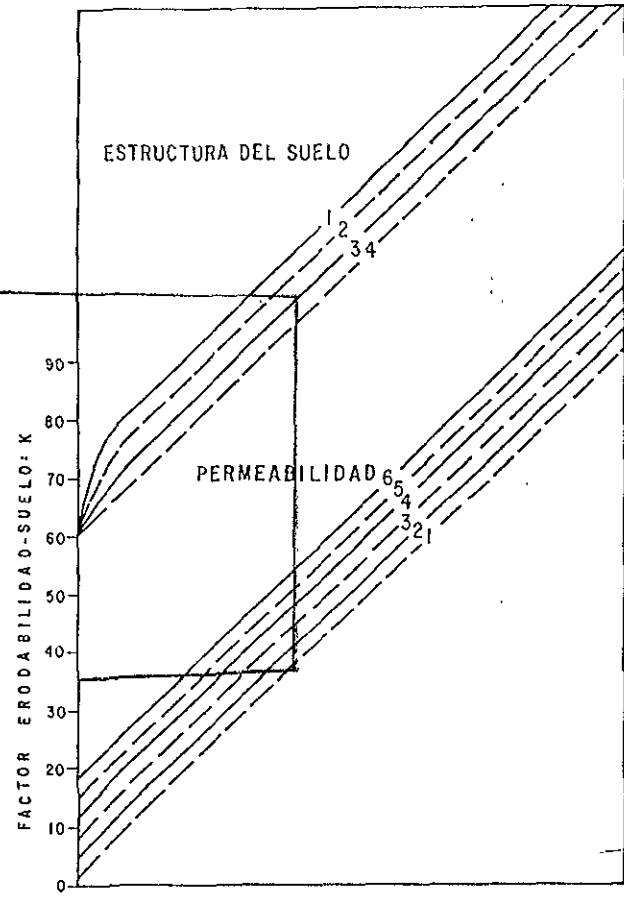


FIGURA 10. NOMOGRAMA DE WISCHMEIER Y LA UBICACION GRAFICA DE LOS 5 VALORES CRITICOS

**OBSERVACIONES.**

En la Tabla 12 se muestran los porcentajes de Arena Total (At), Arena muy fina (Amf), Limo (L) suma de Arena muy fina (Amf) y Limo (L) y Arcilla (R), tanto del Testigo Universal (TU), como de los Testigos de Control (T) y Unidades Experimentales (U). El concepto Arena Total, incluyó la sumatoria de los diferentes porcentajes de las fracciones: (a) arena muy gruesa (2.0 -1.0 mm), (b) arena gruesa (<1.0-0.50 mm), (c) arena media (<0.5-0.25 mm), (d) arena fina (<0.25-0.10 mm) y (e) arena muy fina (<0.10-0.05 mm).

Los conceptos: Arena muy fina, Limo y Arcilla, se refieren a los porcentajes, individuales, de cada uno de estos separados del suelo. Por ejemplo, el Testigo Universal (TU) presenta 66% de Arena total, 31% de Limo y 3% de Arcilla (Tabla 12). Sin embargo, del porcentaje de Arena total, 44 % corresponde con la presencia de Arena muy fina y sólo el 22% restante, con los otros tamaños de arena antes citados. En este caso, la sumatoria de Arena muy fina más Limo es de 75, lo que hace del Testigo Universal un suelo muy erodable.

#### **4.8 EFECTOS ORIGINADOS POR LOS DIFERENTES TIPOS DE HOJARASCA UTILIZADAS, CON RELACION A LAS VARIABLES EDAFICAS QUE CONDICIONAN LA ERODABILIDAD.**

A continuación, se presentan, analizan y discuten los resultados obtenidos para cada una de las variables edáficas que afectan la erodabilidad. Esto se realizó en función de los Tratamientos (A) empleados, tanto en los Testigos de Control (T) como en las Unidades Experimentales (U), y del tipo de hojarasca utilizado en cada Unidad Experimental. En todos los casos, los resultados obtenidos siempre fueron comparados y discutidos, contra las características edáficas particulares del Testigo Universal (TU).

##### **4.8.1 Arena Total (At) vs Tipos de Hojarasca**

Con base en el análisis estadístico realizado, tanto para los Testigos Control (T) como para las Unidades Experimentales (U) sometidos a las Soluciones (A): solución con ácido nítrico (A<sub>1</sub>), solución con agua carbonatada (A<sub>2</sub>), ácido acético (A<sub>3</sub>) agua con temperatura que osciló de 35° a 40° C (A<sub>4</sub>) y agua con temperatura < 25°C (A<sub>5</sub>), se elaboró la Figura 11. En dicha figura, destacan los siguientes resultados.

1. El contenido de Arena total (At) que muestran los Testigos de control no varió significativamente con respecto al Testigo Universal (TU). Estos datos, indicaron que los Soluciones (A) no produjeron artificios que afectaran la agregación ó erodabilidad de los Testigos. Consecuentemente, incrementaron el nivel de confiabilidad de los datos generados para cada una de las Unidades Experimentales (U) de suelo utilizadas
2. Con excepción de las Unidades Experimentales (UP<sub>5</sub>), (UE<sub>3</sub>) y (UE<sub>5</sub>) Figura 11, todas las demás Unidades Experimentales mostraron incrementos significativos en el contenido de Arena total. Observaciones al microscopio de las Unidades Experimentales (U), permitieron inferir que dicho incremento se dio debido a la agregación, principalmente, de las partículas de tamaño limo y de las partículas de tamaño de arena muy fina. Como puede observarse en el caso del encino todas las Unidades Experimentales incrementaron sus porcentajes de Arena total (At).

**TABLA 12. PROMEDIOS DE LOS ANÁLISIS MECANICOS DE LAS PARTICULAS\***

Unidad	Arena total %	Arena muy fina %	Limo %	Arena muy fina y Limo %	Arcilla %	Clase Textural
TU	66.0	44.0	31.0	75	3.0	Mig Arenoso
TA <sub>1</sub>	67.4	43.4	28.2	71.6	4.4	Mig Arenoso
TA <sub>2</sub>	65.8	42.2	31.2	73.4	3.0	Mig. Arenoso
TA <sub>3</sub>	67.0	42.2	27.0	69.2	6.0	Mig Arenoso
TA <sub>4</sub>	65.8	44.6	27.6	72.2	6.6	Mig Arenoso
TA <sub>5</sub>	66.0	35.8	31.0	66.8	3.0	Mig Arenoso
UP <sub>1</sub>	<b>71.0</b>	26.6	27.0	<b>53.6</b>	2.0	Arena migajosa
UP <sub>2</sub>	<b>77.3</b>	17.3	19.6	<b>36.9</b>	3.1	Arena migajosa
UP <sub>3</sub>	<b>69.3</b>	22.3	27.0	<b>49.3</b>	3.7	Mig Arenoso
UP <sub>4</sub>	<b>72.6</b>	20.3	22.0	<b>42.3</b>	5.4	Arena migajosa
UP <sub>5</sub>	66.6	32.3	30.0	<b>62.3</b>	3.4	Mig Arenoso
UE <sub>1</sub>	<b>69.0</b>	27.6	28.3	55.9	2.7	Mig Arenoso
UE <sub>2</sub>	<b>73.0</b>	22.3	23.6	<b>45.9</b>	3.4	Arena migajosa
UE <sub>3</sub>	67.3	28.0	29.0	57	3.7	Mig Arenoso
UE <sub>4</sub>	<b>71.0</b>	23.3	25.0	<b>48.3</b>	4.0	Arena migajosa
UE <sub>5</sub>	66.6	30.3	31.0	61.3	2.4	Mig Arenoso
UQ <sub>1</sub>	<b>79.6</b>	19.3	16.0	<b>35.3</b>	4.4	Arena migajosa
UQ <sub>2</sub>	<b>81.6</b>	14.3	15.0	<b>29.3</b>	3.4	Arena migajosa
UQ <sub>3</sub>	<b>79.3</b>	18.6	16.6	<b>35.2</b>	4.1	Arena migajosa
UQ <sub>4</sub>	<b>80.3</b>	19.6	15.6	<b>35.2</b>	4.1	Arena migajosa
UQ <sub>5</sub>	<b>79.0</b>	21.0	17.3	<b>38.3</b>	3.7	Arena migajosa

Donde

\* = Datos promedio de las repeticiones

TU = Testigo Universal

TA<sub>1</sub> = Testigo de control tratado con HNO<sub>3</sub> (A<sub>1</sub>)

TA<sub>2</sub> = Testigo de control tratado con agua carbonatada (A<sub>2</sub>)

TA<sub>3</sub> = Testigo de control tratado con ácido acético (A<sub>3</sub>)

TA<sub>4</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (35 - 40°C) (A<sub>4</sub>)

TA<sub>5</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (<25°C) (A<sub>5</sub>)

U = Unidad experimental

P = Hojarasca de pino

E = Hojarasca de eucalipto

Q = Hojarasca de encino

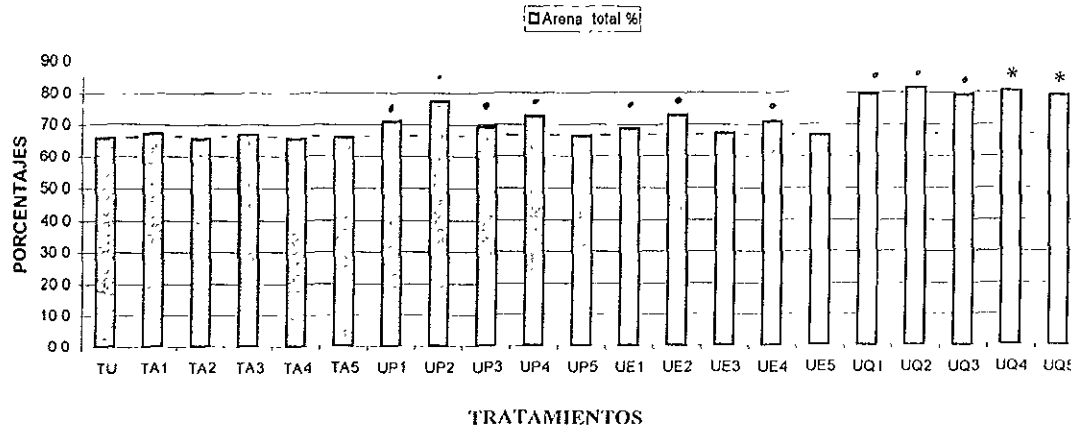
1 = Tratamiento A<sub>1</sub>, 2= Tratamiento A<sub>2</sub>, 3= Tratamiento A<sub>3</sub>, 4= Tratamiento A<sub>4</sub> y 5= Tratamiento A<sub>5</sub>

At = Arena total, incluye todas las fracciones con diametro de partícula entre 2.0 y 0.047 mm.

Amf = Arena muy fina. Este separado del suelo, sólo incluye partículas con un diametro entre 0.10 a 0.047 mm

Las cifras que se presentan en "negritas" se consideran valores criticos

FIGURA 11. PORCENTAJE DE ARENA TOTAL %



\* INDICA DIFERENCIAS ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS P<0.01

Simbología

TU= Testigo Universal

T= Testigo de Control

A= Tratamientos 1,2,3,4 y 5

UP= Unidad Experimental (Pino)

UE= Unidad Experimental (Eucalipto)

UQ= Unidad Experimental (Quercus)

68%= valor crítico

3. La Tabla 12 muestra que todas las Unidades Experimentales (U), tendieron a disminuir sus porcentajes de Arena muy fina y limo con relación al Testigo Universal (TU) lo cual fue altamente significativo en el caso de las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de encino (UQ).

De lo anterior es posible establecer los siguientes razonamientos:

1. Todas las Unidades que contenían hojarasca mostraron agregación, con diferentes grados de estabilidad, de las partículas de suelo, a tamaños de Arena gruesa.
2. La mayor agregación y estabilidad de agregados se presentó en las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de encino (UQ).
3. Los menores índices de agregación y estabilidad correspondieron con las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de eucalipto (UE).
4. Es necesario mencionar que muchos de los agregados formados en las Unidades Experimentales de pino (UP) y encino (UQ), fueron muy estables como lo demuestra el hecho de que resistieron algunos pretratamientos y tratamientos que implica el análisis granulométrico al que posteriormente fueron sometidos.

#### 4.8.2 Arena muy fina (Amf) + Limo (L) vs Tipos de Hojarasca.

Según lo establecido por Wischmeier (1977), en su nomograma, el riesgo a la erodabilidad aumenta en función directa de los incrementos de la suma de Arena muy fina (Amf) + Limo (L) y decrece en función inversa de la misma razón.

Al respecto, la Figura 12 y la Tabla 12, indican las siguientes características:

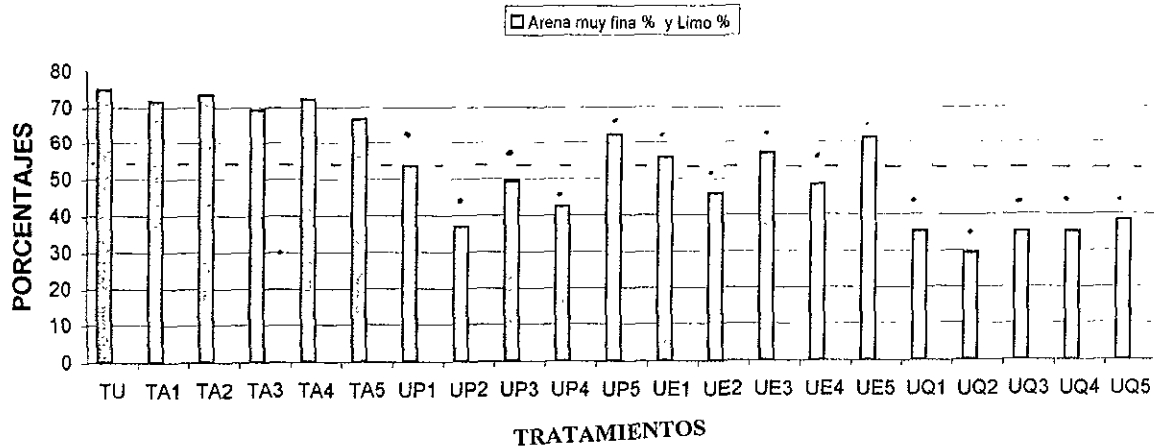
1. Los Testigos de Control: TA<sub>3</sub> y TA<sub>5</sub> muestran una disminución estadísticamente significativa con respecto al Testigo Universal (TU), en la suma de Arena muy fina y Limo. Sin embargo, esta disminución no afectó el valor de erodabilidad (Valor crítico).
2. Todas las Unidades Experimentales (U) que contenían hojarasca mostraron decrementos significativamente estadísticos en dicha suma. Con excepción de UE<sub>1</sub>, UE<sub>3</sub> y UE<sub>5</sub>, la mayoría, inferiores al valor crítico (< 55%).
3. Los decrementos más importantes con relación al valor crítico, se presentaron en las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de encino (UQ).

De lo anterior se puede establecer los siguientes puntos.

1. Los Testigos (T) sometidos a las Soluciones TA<sub>3</sub> y TA<sub>5</sub>, presentaron agregación como resultado de los Tratamientos empleados. Dichos Tratamientos propiciaron la aglutinación de partículas finas e hidrólisis y disgregación de partículas gruesas (Tabla 12). Sin embargo, los porcentajes de disminución en la suma de Arena muy fina y Limo en dichos Tratamientos (Tabla 12), no afectaron en la realidad el valor crítico del Factor K.
2. Como puede observarse en la Figura 12 todas las Unidades Experimentales que contenían hojarasca disminuyeron, significativamente, sus porcentajes de Arena muy fina y Limo, consecuentemente, el riesgo de erodabilidad.



FIGURA 12. PORCENTAJES DE ARENA MUY FINA + LIMO %



\* INDICA DIFERENCIAS ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS  $P < 0.01$

Simbología

TU= Testigo Universal

T= Testigo de Control

A= Tratamientos 1,2,3,4 y 5

UP= Unidad Experimental (Pino)

55% valor crítico

UE= Unidad Experimental (Eucalipto)

UQ= Unidad Experimental (Quercus)

Esto significa, que las Soluciones(A) a que fueron sometidos los Testigos de Control, incluyendo TA<sub>3</sub> y TA<sub>5</sub>, fueron adecuados para la realización del modelo experimental propuesto en esta tesis.

Como se discutió, anteriormente, este decremento también significa un abatimiento en el valor del Factor K<sub>y</sub>, consecuentemente, una mayor resistencia del suelo a la erosión.

Por otra parte, la Figura 12, también muestra lo siguiente:

1. El valor crítico necesario para anular el riesgo de erodabilidad con respecto a la suma de Arena muy fina + Limo, en un suelo como el Testigo Universal es de 55, según el nomograma de Wischmeier (1977). Valores más altos que 55%, incrementan la erodabilidad del suelo, dando un valor de  $K > 0.35$ .
2. Con excepción de UE<sub>1</sub> y UE<sub>3</sub> que están en el límite del valor crítico de K, así como el caso de UP<sub>5</sub> y UE<sub>5</sub> que rebasan dicho límite (Figura 10) todas las demás Unidades Experimentales dieron valores inferiores a 55%. Esto indica que en todas éstas unidades el valor K, no representa un riesgo.
3. La Solución (A) aplicada a las Unidades Experimentales (U) que más disminuyó el valor de K, en todos los casos, fue el denominado A<sub>2</sub>. Con base en Duchaufour (1984) se puede explicar, en gran parte, este fenómeno:
  - a. La presencia de soluciones alcalinas (pH 7.6) ricas en carbonatos y bicarbonatos como la empleada en el tratamiento A<sub>2</sub>, no sólo propicia una hidrólisis, particularmente, significativa en aquellos suelos ricos en silicatos, sino que también tiende a cementar las fracciones más finas del suelo por efecto de los carbonatos y
  - b. Propicia un medio que tiende de la acidez a la alcalinidad ligera, lo cual, además de disminuir la movilidad de varios elementos tóxicos para los organismos del suelo, por ejemplo aluminio, genera mejores condiciones para el desarrollo de dichos organismos, particularmente microorganismos. Este incremento de los microorganismos, se refleja en una más intensa mineralización primaria y, consecuentemente, en una mayor producción de compuestos minerales, en general solubles, que normalmente tienden a agregar partículas del suelo, junto con los exudados de los microorganismos presentes.
4. La Solución (A) aplicada a las Unidades Experimentales (U) que, relativamente, menos disminuyó el valor de K, en todos los casos, fue el denominado A<sub>5</sub>. La razón básica consistió en que tanto las hojarascas de pino como eucalipto son poco solubles en presencia de agua (pH 6.9) cuya temperatura es  $< 25^{\circ}\text{C}$ . Como se observa en la Figura 12, la solubilidad de ambas hojarascas se incrementa cuando la temperatura de agua (pH 6.9) se incrementa más de  $10^{\circ}\text{C}$  (UP<sub>5</sub>).

En el caso de la hojarasca de encino, la Solución A<sub>5</sub>, también fue la que menos disminuyó el valor K. Sin embargo, fue suficientemente efectiva para anular el riesgo de erodabilidad. Esto indica que la hojarasca de encino, finamente fragmentada, es capaz de liberar hidrosolubles minerales y orgánicos, de modo rápido, aún en presencia de agua (pH 6.9) cuya temperatura es menor a  $25^{\circ}\text{C}$ .

5. En todos los casos, las Unidades Experimentales (U) que contenían hojarasca de encino, fueron las que mostraron los valores más bajos de riesgo de erodabilidad. Esto, según el Marco Teórico, resulta totalmente congruente con la naturaleza física y bioquímica de esta hojarasca. En contraste, las Unidades Experimentales (U) que contenían la hojarasca de eucalipto, fueron las que mostraron, en todos los casos, los valores más altos de erodabilidad, con excepción de los Testigos de Control (T) y del Testigo Universal (TU). Esto, también resulta totalmente, congruente con la naturaleza física y bioquímica de dicha hojarasca.

#### 4.8.3 Materia Orgánica (MO) VS Tipos de Hojarasca.

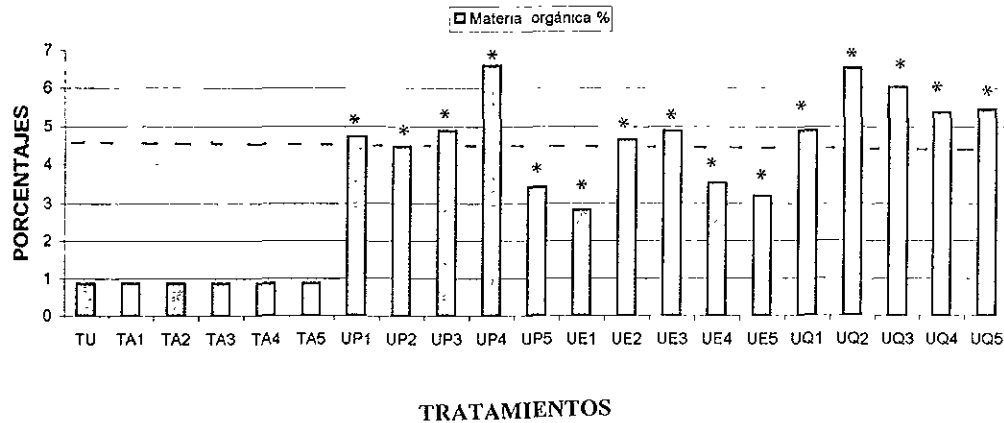
El estudio realizado mostró los siguientes aspectos:

1. Los porcentajes de materia orgánica detectados por el método de Walkley y Black (1975) en los Testigos de Control (T), los cuales, estuvieron recibiendo los Tratamientos (A) durante tres meses, no mostraron ningún cambio estadísticamente significativo, con relación al Testigo Universal (Tabla 14, Figura 13).
2. Todas las Unidades Experimentales (U) mostraron cambios estadísticamente significativos, en sus porcentajes de materia orgánica con relación al Testigo Universal (TU). Dichos cambios consistieron en un incremento, en los porcentajes de materia orgánica que osciló de 3.2 a 7.66 veces más (Tabla 14 Figura 13).
3. Como se ha mencionado, de acuerdo con las características edáficas del Testigo Universal (TU) que regulan su erodabilidad se calculó, con base en el nomograma de Wischmeier (1977), que se requiere de un mínimo de 4.7% de materia orgánica en el suelo, con el fin de obtener un valor  $K < 0.35$  (Tabla 13, Figura 10).
4. Como puede observarse en la Figura 13, todas las Unidades Experimentales (U) que contenían hojarasca de encino, aportaron una cantidad suficiente de materia orgánica para obtener un valor de  $K < 0.35$ . En los casos de las Unidades Experimentales (U) que contenían hojarasca de pino o eucalipto, sólo UP<sub>1</sub>, UP<sub>3</sub>, UP<sub>4</sub> y UE<sub>3</sub>, resultaron eficientes para lograr este fin.

Con base en estos resultados y con apoyo en el Marco Teórico, se pudo interpretar lo siguiente:

1. Las Soluciones (A) utilizadas en el diseño experimental, no adicionaron o modificaron ningún porcentaje de materia orgánica de los Testigos Control (T), ni de las Unidades Experimentales (U). Consecuentemente, el efecto de dichos Tratamientos sólo propició hidrólisis y soluviación.
2. Dado que la composición física, química y mineralógica original del sustrato (suelo) donde se colocaron los diferentes tipos de hojarasca fue idéntico, y dado que los factores ambientales a que estuvieron expuestas dichas Unidades Experimentales (U) fueron similares, las diferencias encontradas en los porcentajes de materia orgánica

FIGURA 13. PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA TOTAL %



\* INDICA DIFERENCIAS ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS P<0.01

**Simbología**

TU= Testigo Universal

T= Testigo de Control

A= Tratamientos 1,2,3,4 y 5

UP= Unidad Experimental (Pino)

4.7% valor crítico

UE= Unidad Experimental (Eucalipto)

UQ= Unidad Experimental (Quercus)

entre las Unidades Experimentales (U) (Tabla 14, Figura 13) fueron muy probablemente debidas a las siguientes causas:

**a. Diferencias en la resistencia física de cada hojarasca, a la fragmentación por efecto mecánico o biológico (Tabla 10).**

Según Bayer (1980), al fragmentarse cualquier tipo de partícula se incrementa su superficie específica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) y, consecuentemente, las cargas de la superficie, lo que favorece el incremento del área de intemperismo químico y bioquímico, así como microbiano (química de interfases).

**b. Composición química y bioquímica de la hojarasca fresca.**

De acuerdo con Duchaufour (1984), dentro de los factores positivos que incrementan la velocidad de descomposición de la hojarasca figuran: (i) riqueza del nitrógeno, expresada por la relación C/N en la hojarasca fresca (Tabla 10), (ii) resistencia a la hidrólisis y contenido de compuestos hidrosolubles, así como polisacáridos y otros elementos energéticos que estimulan la microflora, principalmente.

Dentro de los factores negativos que retardar la fragmentación y mineralización de las hojarascas se tienen: (i) contenido elevado de lípidos (resinas y ceras) (Tabla 10), (ii) contenido en polifenoles que disminuyen la biodegradación de las proteínas, (iii) contenido elevado de celulosa (Tabla 10) y (iv) contenido elevado de lignina (Tabla 10).

**c. Composición química y bioquímica de la hojarasca durante su mineralización primaria.**

De igual modo que sucede con los minerales primarios sujetos al intemperismo, la composición original, química y bioquímica de la hojarasca al alterarse sufre cambios.

Dichos cambios, según Duchaufour (1984), pueden ser fácilmente estimados, en una primera aproximación, a través de los siguientes análisis: (i) relación Carbono/Nitrógeno (Tabla 10), (ii) contenido de lignina (Tabla 10) y contenido en compuestos hidrosolubles.

De acuerdo con Schwartz (1975) y Movcawi (1981), por las relaciones C:N que muestra la materia orgánica que proviene de la hojarasca del encino, ésta puede ser clasificada como una **hojarasca mejorante**. En el caso de la materia orgánica que proviene de la hojarasca de pino y de eucalipto, éstas clasifican dentro del concepto de **hojarasca acidificante**. En el caso de la hojarasca mejorante, su velocidad de descomposición (mineralización primaria), adiciones de hidrosolubles al suelo y creación de un hábitat favorable para el desarrollo microbiano son, significativamente, superiores a las que genera la hojarasca acidificante (Duchaufour, 1984).

**d. Cambios en el sustrato (suelo) propiciados por la mineralización primaria de la hojarasca.**

La hojarasca es biodegradable de mayor a menor grado por efecto de las condiciones ambientales, tanto exteriores como interiores del sustrato (Tabla 6)

Sin embargo, ya se han destacado que los hidrosolubles liberados de la hojarasca también modifican el sustrato donde se depositan, lo cual le da una verdadera importancia ecológica.

**TABLA 13. DETERMINACIÓN DEL FACTOR K'**

Unidad Expenimental	Clase Textural	Arena total %	Arena muy fina + Limo %	Materia orgánica	Permeabilidad (cm/h)	Estructura	Estabilidad agregados	Factor K	Riesgo a la Erodabilidad
TU	Mig Arenoso	66	75	0.86	0.15 (5)	4	1	0.63	alto
TA <sub>1</sub>	Mig Arenoso	67.4	71.6	0.86	0.15 (5)	4	1	0.70	alto
TA <sub>2</sub>	Mig Arenoso	62.6	73.4	0.86	0.14 (5)	4	1	0.70	alto
TA <sub>3</sub>	Mig. Arenoso	67.6	69.6	0.86	0.15 (5)	4	1	0.70	alto
TA <sub>4</sub>	Mig Arenoso	66.8	72.2	0.86	0.15 (5)	4	1	0.70	alto
TA <sub>5</sub>	Mig. Arenoso	66	66.6	0.86	0.15 (5)	4	1	0.70	alto
Up <sub>1</sub>	Arena migajosa	71	53.6	4.71	0.50 (4)	4	4	0.48	moderado
Up <sub>2</sub>	Arena migajosa	77.3	36.9	4.46	0.49 (4)	3	3	0.31	moderado
Up <sub>3</sub>	Mig Arenoso	69.3	49.3	4.89	0.97 (3)	2	4	0.32	moderado
Up <sub>4</sub>	Arena migajosa	72.6	42.3	6.59	0.51 (4)	4	4	0.31	moderado
Up <sub>5</sub>	Mig Arenoso	68.6	62.3	3.42	0.50 (4)	4	2	0.57	moderado
Ue <sub>1</sub>	Mig Arenoso	69	55.9	2.82	0.33 (4)	4	2	0.64	alto
Ue <sub>2</sub>	Arena migajosa	73	45.9	4.65	0.34 (4)	4	3	0.41	moderado
Ue <sub>3</sub>	Mig. Arenoso	67.3	57	4.89	0.33 (4)	3	2	0.46	moderado
Ue <sub>4</sub>	Arena migajosa	71	48.3	3.53	0.33 (4)	3	2	0.39	moderado
Ue <sub>5</sub>	Mig Arenoso	66.6	61.3	3.2	0.33 (4)	3	2	0.5	moderado
UQ <sub>1</sub>	Arena migajosa	79.6	35.3	4.89	0.98 (3)	2	3	0.17	nulo
UQ <sub>2</sub>	Arena migajosa	81.8	29.3	6.5	2.16(3)	2	6	0.11	nulo
UQ <sub>3</sub>	Arena migajosa	79.3	36.2	8.03	1.66(3)	3	6	0.16	nulo
UQ <sub>4</sub>	Arena migajosa	80.379	35.2	6.37	1.36 (3)	3	3	0.22	nulo
UQ <sub>5</sub>	Arena migajosa	79	38.3	6.45	1.10 (3)	2	4	0.21	nulo

Donde	Permeabilidad	Estabilidad agregados
Estructura	1. Muy rápida	1 Muy débil
1 Granular	2 Rápida	2 Débil
2 Bloques subangulares	3. Moderada	3 Fuerte
3 Bloques angulares	4. Lenta	4 Muy fuerte
4 Masivo o grano suelto	5 Muy lenta	
	6 Nula	

Las cifras que se presentan en " negritas" se consideran valores críticos

TABLA 14. PROMEDIOS DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS TESTIGOS Y DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES\*

Unidad Experimental	Materia orgánica %	Cationes intercambiables				Suma bases	ClCT cmol/Kg	S.B %	C %	Nt %	C N
		Na *	K *	Ca **	Mg **						
TU	0.88	0.35	0.4	1.4	0.2	2.35	5.2	45.19	0.65	0.01	65
TA <sub>1</sub>	0.86	0.3	0.37	1.33	0.2	2.2	5.1	43.13	0.63	0.01	63
TA <sub>2</sub>	0.88	0.5	0.42	1.9	0.45	3.27	5.6	58.39	0.66	0.01	66
TA <sub>3</sub>	0.86	0.37	0.42	1.45	0.25	2.49	5.3	46.98	0.65	0.01	65
TA <sub>4</sub>	0.86	0.25	0.33	1.35	0.18	2.11	5.1	41.37	0.65	0.01	65
TA <sub>5</sub>	0.86	0.33	0.38	1.37	0.19	2.27	5.1	44.5	0.65	0.01	65
UP <sub>1</sub>	4.71	0.71	0.56	2.99	3.1	7.36	7.75	94.96	3.65	0.27	13.5
UP <sub>2</sub>	4.46	0.75	0.67	3.2	3.5	8.32	8.9	93.48	3.85	0.3	12.8
UP <sub>3</sub>	4.89	0.68	0.7	3	3.1	7.48	7.55	99.07	3.2	0.25	12.8
UP <sub>4</sub>	6.59	0.55	0.6	2.65	3.25	7.25	7.8	92.94	3.5	0.26	13.4
UP <sub>5</sub>	3.42	0.7	0.8	3	3.25	7.75	7.9	98.1	2.95	0.18	16.3
UE <sub>1</sub>	2.82	0.45	0.48	1.45	1.1	3.58	6	59.66	2.1	0.09	23.3
UE <sub>2</sub>	4.65	0.57	0.65	2.2	2.25	5.67	7	81	2.25	0.08	28.1
UE <sub>3</sub>	4.89	0.5	0.55	2.18	2.35	5.58	6.65	81.45	2.35	0.1	23.5
UE <sub>4</sub>	3.53	0.44	0.5	1.8	1.8	4.54	6.6	68.78	1.8	0.07	25.7
UE <sub>5</sub>	3.2	0.46	0.5	1.9	2.1	4.96	6.55	75.72	1.9	0.08	23.7
UQ <sub>1</sub>	4.89	0.73	0.65	4.5	4.1	10.18	10.2	99.8	3.9	0.35	11.1
UQ <sub>2</sub>	6.5	0.75	1.1	6.2	4.2	12.25	12.6	97.22	4.7	0.42	11.2
UQ <sub>3</sub>	6.03	0.7	0.97	6.1	3.5	11.27	11.3	99.73	4.35	0.4	10.9
UQ <sub>4</sub>	5.37	0.71	0.93	4.6	4	10.24	10.3	99.41	4	0.38	10.5
UQ <sub>5</sub>	5.45	0.72	0.93	4.35	4.55	10.55	10.6	99.52	3.95	0.38	10.4

Donde

\* = Datos promedio de las repeticiones

TU = Testigo Universal

TA<sub>1</sub> = Testigo de control tratado con HNO<sub>3</sub> (A<sub>1</sub>)

TA<sub>2</sub> = Testigo de control tratado con agua carbonatada (A<sub>2</sub>)

TA<sub>3</sub> = Testigo de control tratado con ácido acético (A<sub>3</sub>)

TA<sub>4</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (35 - 40°C) (A<sub>4</sub>)

TA<sub>5</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (<25°C) (A<sub>5</sub>)

U = Unidad experimental

P = Hojarasca de pino

E = Hojarasca de eucalipto

Q = Hojarasca de encino

1 = Tratamiento A<sub>1</sub>, 2= Tratamiento A<sub>2</sub>, 3= Tratamiento A<sub>3</sub>, 4= Tratamiento A<sub>4</sub> y 5= Tratamiento A<sub>5</sub>

TABLA 15. PROMEDIOS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS TESTIGOS Y UNIDADES EXPERIMENTALES\*

Unidad experimental	Tratamiento	Color seco	Color húmedo	Clase textural	D R g/cm <sup>3</sup>	D A g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	R H 0.33kpa	R H 1500kpa	Permeabilidad cm/h	pH 01.02.5
TU		10YR 6/3	10YR 6/3	Mig Arenoso	2.45	1.8	26.5	11.2	2.5	0.15	5.0
T	A <sub>1</sub>	10YR 6/3	10YR 6/3	Mig Arenoso	2.43	1.82	25.1	11.3	2.7	0.15	4.9
T	A <sub>2</sub>	10YR 6/3	10YR 6/3	Mig Arenoso	2.45	1.8	26.5	11.1	2.5	0.16	5.1
T	A <sub>3</sub>	10YR 6/3	10YR 6/3	Mig Arenoso	2.44	1.78	27	11.3	2.6	0.15	5.0
T	A <sub>4</sub>	10YR 6/3	10YR 6/3	Mig. Arenoso	2.45	1.8	26.5	11.1	2.4	0.15	5.0
T	A <sub>5</sub>	10YR 6/3	10YR 6/3	Mig. Arenoso	2.45	1.8	26.5	11.2	2.5	0.15	5.0
UP <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	10YR 5/4	2.5YR 4/6	Arena Gredosa	2.45	1.38	43.6	14.6	4.2	0.51	4.7
UP <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	10YR 4/4	10YR 3/2	Arena Gredosa	2.44	1.35	44.6	14.7	4.2	0.5	5.2
UP <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	10YR 6/3	2.5YR 4/2	Mig Arenoso	2.45	1.3	46.9	15.1	4.3	0.97	5.0
UP <sub>4</sub>	A <sub>4</sub>	10YR 3/4	10YR 3/2	Arena Gredosa	2.45	1.42	42	14.2	4.1	0.51	4.9
UP <sub>5</sub>	A <sub>5</sub>	10YR 4/2	10YR 3/2	Mig Arenoso	2.45	1.42	42	14.2	4.2	0.5	5.0
UE <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	2.5Y 5/4	10YR 6.5/6	Mig Arenoso	2.45	1.55	36.7	12.4	3.1	0.33	4.8
UE <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	10YR 3/3	10YR 3/2	Arena Gredosa	2.45	1.5	38.7	12.3	3.1	0.35	4.9
UE <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	10YR 5/2	5Y 3/2	Mig Arenoso	2.44	1.55	36.5	12.3	3	0.33	4.9
UE <sub>4</sub>	A <sub>4</sub>	10YR 6/2	10YR 3/2	Arena Gredosa	2.45	1.53	37.5	12.4	3.1	0.33	5.0
UE <sub>5</sub>	A <sub>5</sub>	10YR 5/2	10YR 3/2	Mig Arenoso	2.45	1.55	36.7	12.4	3.1	0.33	5.0
UQ <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	2.5YR 6/6	10YR 4/4	Arena Gredosa	2.45	1.27	48	16.7	9.3	0.98	5.3
UQ <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	10YR 4/3	10YR 2/1	Arena Gredosa	2.45	1.2	51	17.4	9.5	2.16	5.9
UQ <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	2.5YR 6/4	2.5Y 3/2	Arena Gredosa	2.44	1.24	49	17.1	9.3	1.65	5.8
UQ <sub>4</sub>	A <sub>4</sub>	10YR 3/4	10YR 3/2	Arena Gredosa	2.45	1.26	49	16.9	9.1	1.36	5.6
UQ <sub>5</sub>	A <sub>5</sub>	10YR 4/4	10YR 3/3	Arena Gredosa	2.44	1.27	48	17.1	9.2	1.10	5.5

Donde

Valores promedio, obtenidos después de 60 días de tratamiento

TU = Testigo Universal

TA1 = Testigo de control tratado con HNO<sub>3</sub> (A1)

TA2 = Testigo de control tratado con agua carbonatada (A2)

TA3 = Testigo de control tratado con ácido acético (A3)

TA4 = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (35 - 400C) (A4)

TA5 = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (<250C) (A5)

U = Unidad experimental

P = Hojarasca de pino

E = Hojarasca de eucalipto

Q = Hojarasca de encino

1 = Tratamiento A1, 2= Tratamiento A2, 3= Tratamiento A3, 4= Tratamiento A4 y 5= Tratamiento A5



### e. Composición total de elementos en óxidos del Testigo Universal y Unidades Experimentales.

Como puede apreciarse en la Figura 14, se representan los cambios más significativos en composición elemental entre el Testigo y Las Unidades Experimentales sometidas únicamente a la Solución A<sub>5</sub>. Los valores que se presentan son el análisis de cada uno. Estos análisis se determinaron a través de la Técnica de PIXE y sus valores se reportan en ppm.

Con relación a ( $Al_2O_3$ ) se observa que la Unidad Experimental de Pino, incrementó sus contenidos con respecto al Testigo Universal, en tanto que las Unidades Experimentales de Eucalipto y Encino respectivamente disminuyen este valor. Estos resultados se generan debido a los procesos que se dieron de oxidación- reducción, en las que en el caso del Pino propiciaron acumulación.

En la misma Tabla también se observa que el contenido de ( $SiO_2$ ) no vario significativamente con respecto al Testigo. Esto se debe a que el intemperismo que se provocó durante la fase experimental no fue lo suficientemente fuerte para alterar la composición química de la matriz del suelo.

Con respecto al contenido de ( $CaO$ ) todas la Unidades Experimentales lo incrementaron siendo particularmente elevado en el caso del Pino y el Encino. Esta elevación en el contenido de ( $CaO$ ) se correlaciona directamente con una mayor agregación mineral de las partículas.

Por otra parte, las condiciones del medio experimental a que estuvieron sometidas el Pino y el Encino fueron lixiviantes para el ( $K_2O$ ), en tanto que en las Unidades Experimentales de Eucalipto se presento una iluviación de este elemento, esto se debió en gran parte a los contenidos de este elemento que presentan las hojas del Eucalipto.

Con respecto al ( $Fe_2O_3$ ) los valores ligeramente más altos con relación al Testigo y ( $MnO_2$ ) se deben principalmente a las condiciones de oxidación- reducción que se crearon dentro de las Unidades Experimentales. Con respecto a algunos elementos como es el ( $ClO$ ) y ( $CuO_2$ ) en la Tabla 16 se muestra que bajo las condiciones experimentales ambos elementos fueron intensamente lixiviados.

En las Tablas 14 y 15, se observan diferencias significativas entre las características físicas y químicas del sustrato que constituye el Testigo Universal (TU), los Testigos de control (T) y las Unidades Experimentales (U), al término del experimento.

Así, en la Tabla 14 es posible observar, con relación a los Testigos (TU y T), los siguientes cambios físicos y químicos en las Unidades Experimentales (U): (a) el contenido de cationes intercambiables y, consecuentemente, la suma y saturación de bases se incrementó en todas la Unidades Experimentales (U); (b) la CICT sigue los mismos lineamientos y (c) la relación C:N decrece en todas las Unidades Experimentales (U). De modo general, varias de las propiedades químicas de los Testigos son superadas positivamente, no obstante que las Unidades Experimentales (U) siguen siendo deficientes en sus propiedades con excepción de los contenidos de materia orgánica.

Por otra parte, la Tabla 15, muestra cambios muy significativos en las características físicas de los Testigos (TU y T) con relación a las Unidades Experimentales (U). En este caso, el color, la clase textural, la densidad aparente, así como el pH, cambian de modo significativo sus valores. Por ejemplo: los cambios en color, densidad aparente y porosidad que se registran entre los Testigos y las Unidades Experimentales son resultado del efecto directo y casi inmediato, de la adición de materia orgánica al suelo, a través de la

FIGURA 14. DETERMINACION CUANTITATIVA DE OXIDOS TOTALES A TRAVES DE LA TECNICA PIXE (ppm)

	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Si-O <sub>2</sub> )	(S-O <sub>2</sub> )	(K <sub>2</sub> O)	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Cl-O)	(Ca-O)
Pino	155074	781014	2334	14353	40417	235	11355
Eucalipto	133916	795356	1190	20765	41676	160	5853
Encino	134710	791819	1714	16916	37263	160	11387
Testigo	147640	795579	385	17479	36348	332	4765

	(Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Cu <sub>2</sub> O)
Pino	5270	5
Eucalipto	1131	11
Encino	2138	120
Testigo	1455	434

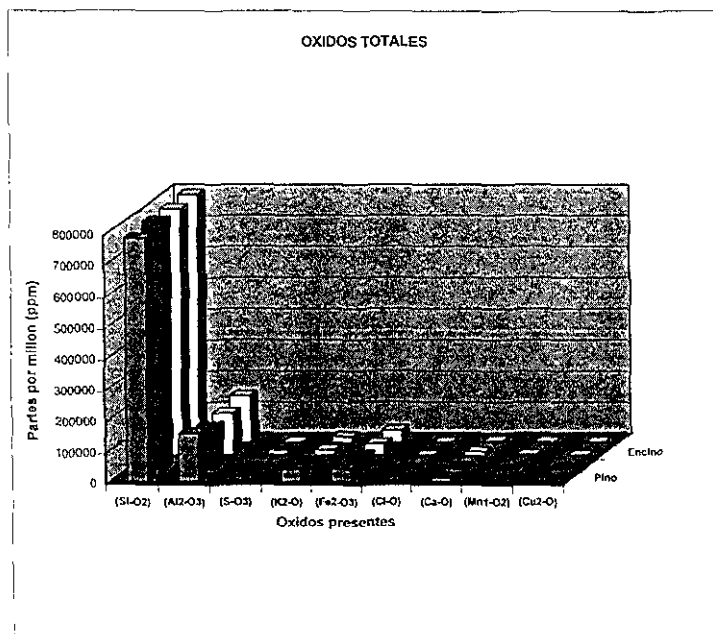


TABLA 16. DETERMINACION CUANTITATIVA DE OXIDOS TOTALES A TRAVES DE LA TECNICA PIXE (ppm)

	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Si-O <sub>2</sub> )	(S-O <sub>3</sub> )	(K <sub>2</sub> O)	(Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Ni <sub>1</sub> O <sub>1</sub> )	(Zn <sub>1</sub> O <sub>1</sub> )	(Ge <sub>1</sub> O <sub>2</sub> )	(Se <sub>1</sub> O <sub>2</sub> )
Pino	155074	781014	2334	14353	3033	266	40417	0	197	140	0
Eucalipto	133916	795356	1190	20765	1991	121	41676	33	271	130	0
Encino	134710	791819	1714	16916	2061	363	37263	57	230	196	62
Testigo	147640	795579	385	17479	2060	117	36348	0	566	137	302

	(Rb <sub>2</sub> O)	(Cl-O)	(Ca-O)	(V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Mn <sub>1</sub> O <sub>2</sub> )	(CoO)	(Cu <sub>2</sub> O)	(Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Br-O)	(Sr-O)
Pino	95	235	11355	190	5270	0	5	227	92	0	369
Eucalipto	391	160	5853	63	1131	0	11	218	81	142	214
Encino	211	160	11387	135	2138	0	120	26	52	0	0
Testigo	0	332	4765	93	1455	49	434	0	240	0	0

	(Zr <sub>1</sub> O <sub>2</sub> )	(Pb <sub>1</sub> O <sub>1</sub> )
Pino	593	179
Eucalipto	876	0
Encino	0	293
Testigo	0	0

mineralización de la hojarasca. Como una consecuencia directa de estos cambios otras propiedades del suelo estrechamente relacionadas con su erodabilidad también se incrementa de modo positivo. Entre esas propiedades figuran: (a) mayor retención de humedad a 33 kPa, (b) mayor retención de humedad a 1500 kPa y (c) mayor velocidad de permeabilidad.

Con relación al pH, solo las Unidades Experimentales (U) que contenían la hojarasca de encino (UQ), lograron influir de modo positivo y estadísticamente significativo, sobre este valor. En el caso de la hojarasca de eucalipto, su acción acidificante se hizo evidente.

#### 4.8.4 Tipos de Estructura vs Tipos de Hojarasca.

Como se aprecia en las Figuras 14 y 14A así como en la Tabla 13, ninguno de los Testigos de control sometidos a los tratamientos, desarrolló estructura. En dichos Testigos, solo se presentó compactación leve por efecto de hidroc consolidación de las partículas.

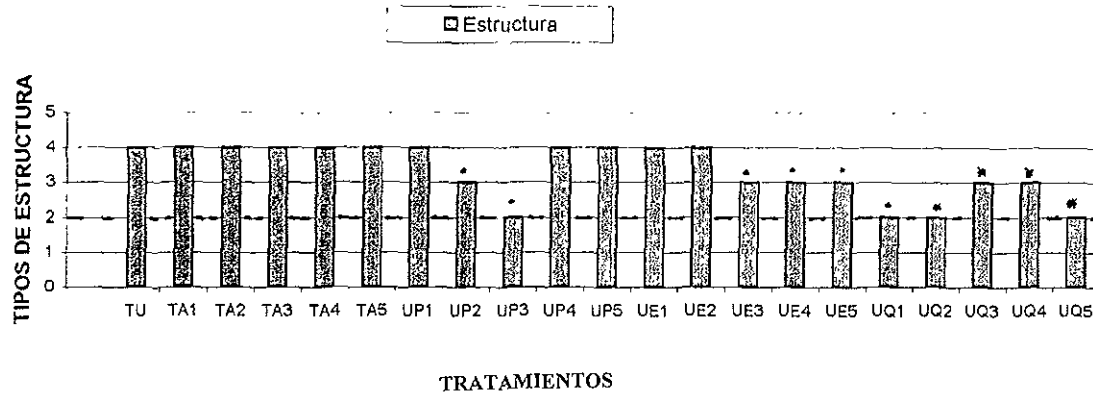
En el caso de las Unidades Experimentales  $UP_1$ ,  $UP_4$ ,  $UP_5$ ,  $UE_1$  y  $UE_2$ , (Figuras 14 y 14B) aunque formaron algunos agregados, su porcentaje fue menor al 25% por volumen de suelo. Este porcentaje fue tan bajo que prácticamente no influyó de modo estadístico sobre el valor crítico de erodabilidad (Factor K) del suelo. En contraste, en las Unidades,  $UP_3$ ,  $UQ_1$ ,  $UQ_2$  y  $UQ_5$ , (Figuras 14 y 14C) la formación de agregados estables de formas subangulares y redondeadas, excedió el 80% del volumen del suelo. Esto propició que el valor de K de dichas Unidades se abatiera considerablemente.

Para las Unidades  $UP_2$ ,  $UE_3$ ,  $UE_4$ ,  $UE_5$ ,  $UQ_3$  y  $UQ_4$ , (Figuras 14 y 14D) los resultados fueron satisfactorios ya que los porcentajes de agregación oscilaron entre 50 al 70% por volumen de suelo. En estos casos, los bloques de forma angular fueron dominantes.

De estos resultados se derivaron las siguientes consideraciones:

1. Ninguna de las Soluciones (A) aplicadas a los Testigos de Control (T) propició la formación de estructura. En este caso, el término estructura se refirió al arreglo de las partículas primarias del suelo en unidades secundarias o peds, caracterizados con base en su tamaño, forma y grado de estabilidad.
2. La hojarasca presente en todas las Unidades Experimentales (U) propició la formación de estructura, aunque en diferentes porcentajes, tamaños, formas y grados de estabilidad. Estas diferencias se atribuyen principalmente al tipo de hojarasca contenida en la Unidad Experimental y secundariamente, al tiempo utilizado en el experimento.
3. En el caso de las Unidades Experimentales  $UP_1$ ,  $UP_4$ ,  $UP_5$ , así como  $UE_1$  y  $UE_2$  donde la formación de estructura fue escasa, es necesario considerar dos limitantes potenciales:
  - a) El tiempo que duró el experimento, probablemente no fue suficiente para que se formaran agregados estructurales en cantidades significativas.
  - b) Las Soluciones empleadas en las Unidades Experimentales mostraron una cinética de reactividad mas lenta y, probablemente, menos agresividad que los demás tratamientos.

FIGURA 15. ESTRUCTURA PREDOMINANTE



\* INDICA DIFERENCIAS ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS  $P < 0.01$

Simbología

TU= Testigo Universal

T= Testigo de Control

A= Tratamientos 1,2,3,4 y 5

UP= Unidad Experimental (Pino)

UE= Unidad Experimental (Eucalipto)

UQ= Unidad Experimental (Quercus)

Donde,

1. Granular bien desarrollada

2. Bloques subangulares y redondeados

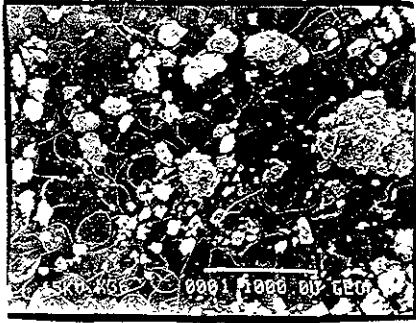
3. Bloques angulares

4. Masiva o suelta

3----- Valor crítico

## AGREGADOS

## TESTIGO UNIVERSAL



Se observan granos sueltos del tamaño de limo y arenas finas. Así mismo; la presencia, escasa, de algunos agregados de forma angular y desarrollo débil, que constituyen el 10%, por volumen del suelo.

FIGURA 15A  
Testigo Universal A<sub>5</sub>



FIGURA 15B<sub>1</sub>  
UP<sub>1</sub>



FIGURA 15B<sub>2</sub>  
UP<sub>4</sub>



FIGURA 15B<sub>3</sub>  
UP<sub>5</sub>

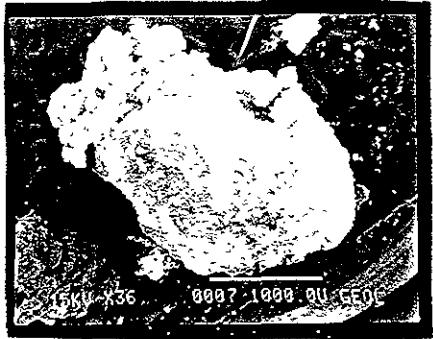


FIGURA 15B<sub>4</sub>  
UE<sub>1</sub>



FIGURA 15B<sub>5</sub>  
UE<sub>2</sub>

Como se observa en las Figuras 15B se destaca la presencia de agregados, de tamaño medio y grueso de forma subangular, en ocasiones subredondeados, de desarrollo moderado y poco porosos, ligeramente compactados.



FIGURA 15C<sub>1</sub>  
UP<sub>3</sub>



FIGURA 15C<sub>2</sub>  
UQ<sub>1</sub>



FIGURA 15C<sub>3</sub>  
UQ<sub>2</sub>

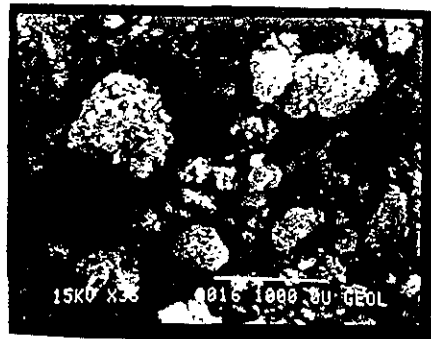


FIGURA 15C<sub>4</sub>  
UQ<sub>5</sub>

Como se observa en estas Figuras 15C los agregados además de presentar formas estructurales idóneas se caracteriza por una porosidad muy alta. En general estos cuatro tipos de agregados resultaron muy estables al agua. Otra característica importante fue que su formación excedió el 80% por volumen de suelo. Así la Figura 15C<sub>1</sub> muestra una forma migajosa, la figura 15C<sub>2</sub> subredondeada y las Figuras 15C<sub>3</sub> y 15C<sub>4</sub> francamente redondeadas.



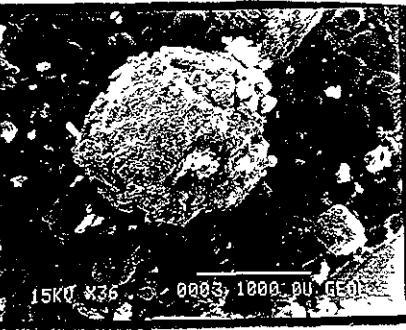


FIGURA 15D<sub>1</sub>  
UP<sub>2</sub>



FIGURA 15D<sub>2</sub>  
UE<sub>3</sub>

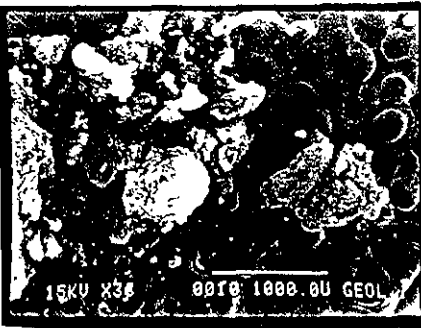


FIGURA 15D<sub>3</sub>  
UE<sub>4</sub>

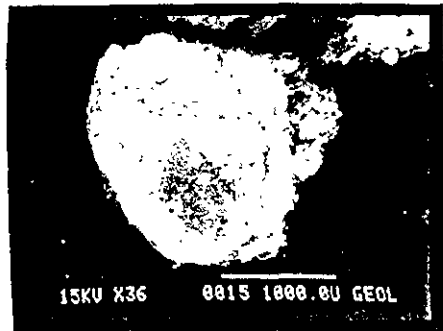


FIGURA 15D<sub>4</sub>  
UE<sub>5</sub>

La Figura 15D<sub>1</sub>, muestra la formación de agregados moderadamente estables de formas que oscilan de angulares a redondeadas y de tamaños moderadamente gruesos. El agregado es de forma redondeada y escasamente poroso.

Las Figuras 15D<sub>2</sub>, 15D<sub>3</sub> y 15D<sub>4</sub> que corresponden a agregados formados en las Unidades Experimentales con hojarasca de Eucalipto se caracterizan por su baja porosidad y deficiente estructura geométrica ya que se observan como en el caso de la Figura 15D<sub>3</sub> formas muy heterogéneas. La Figura 15D<sub>4</sub> muestra la considerable compactación de los agregados.

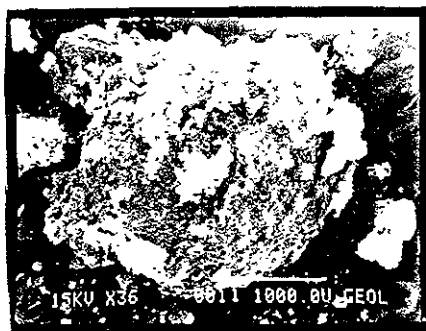


FIGURA 15D<sub>5</sub>  
UQ<sub>3</sub>

FIGURA 15D<sub>6</sub>  
UQ<sub>4</sub>

En contraste las Figuras 15D<sub>5</sub> y 15D<sub>6</sub> muestran agregados de tamaño grueso, forma redondeada, estables al agua y con una alta porosidad.

Donde:

U= Unidad Estructural

P= Hojarasca de Pino

E= Hojarasca de Eucalipto

Q= Hojarasca de Encino

1 al 5=Tratamientos

4. La formación de agregados estructurales en las Unidades Experimentales (U) que contenían hojarasca de encino fue exitosa en el caso de todos los Tratamientos empleados.

#### 4.8.5 Permeabilidad vs Tipos de Hojarasca

La Figura 15, así como la Tabla 13, muestran que tanto el Testigo Universal (TU) como los Testigos de control (T) no presentaron ningún cambio significativo en la velocidad de permeabilidad.

Los valores que se registran en la Tabla 13, indican una permeabilidad muy lenta. En dicha Figura también se observa que la Unidades Experimentales de Pino y Eucalipto con excepción de UP<sub>3</sub> presentaron valores para una permeabilidad lenta. En el caso del Encino los valores de permeabilidad se incrementaron de moderadamente lentos a moderados.

De estos resultados se generaron las siguientes consideraciones:

1. Las Soluciones a que estuvieron sometidos los Testigos de Control (T) no afectaron la velocidad de permeabilidad. Como puede apreciarse en la Tabla 13, los valores de permeabilidad son similares al Testigo Universal (TU)
2. Los valores de permeabilidad en todas las Unidades Experimentales (U) mostraron un incremento. Como se observa en la Figura 15, los valores más bajos de permeabilidad en las Unidades Experimentales correspondieron con los del Eucalipto en tanto que los valores más altos de permeabilidad correspondieron con los valores de encino.

De estas consideraciones se puede inferir lo siguiente.

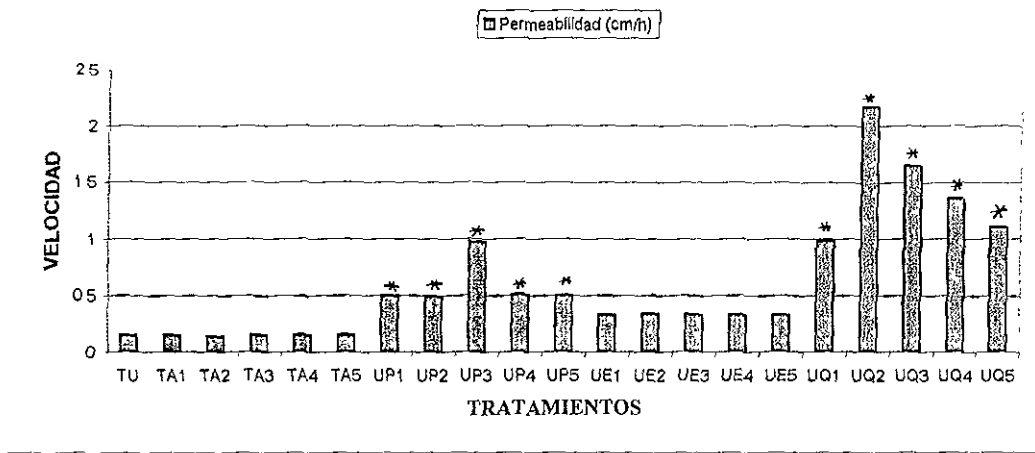
Las Unidades Experimentales UP<sub>3</sub>, UQ<sub>1</sub>, UQ<sub>2</sub>, UQ<sub>3</sub>, UQ<sub>4</sub> y UQ<sub>5</sub> incrementaron su valor de permeabilidad de tal forma que generan un cambio positivo y estadísticamente significativo con relación a la erodabilidad del suelo. Como se menciona en el Marco Teórico, un incremento en la permeabilidad reduce la escorrentía y consecuentemente, disminuye el riesgo de erosión.

#### 4.8.6 Erodabilidad vs Tipos de Hojarasca

Como se observa en la Tabla 13, y Figura 16, las Unidades Experimentales UP<sub>2</sub>, UP<sub>3</sub>, UP<sub>4</sub>, UQ<sub>1</sub>, UQ<sub>2</sub>, UQ<sub>3</sub>, UQ<sub>4</sub> y UQ<sub>5</sub> abatieron el valor de riesgo a la erodabilidad. En esta misma Tabla se observa que, aunque las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de Eucalipto redujeron en promedio hasta cerca de un 50% de riesgo de erodabilidad, ninguna de ellas alcanzó el Valor crítico de  $K = 0.35$ .

En el caso de la UP<sub>1</sub> y UP<sub>5</sub> las principales causas que limitaron reducir el valor de K fueron en orden de importancia: (1) falta de estructura (masivo), (2) altos contenidos de Arena muy fina (Amf) + Limo (L) UP<sub>5</sub>, (3) deficiente contenido de materia orgánica UP<sub>5</sub> y (4) débil estabilidad de los agregados. En las Unidades Experimentales con hojarasca de Pino el riesgo de erodabilidad fue en todos los casos moderado. Como puede observarse en la Tabla 13 la Unidad Experimental UP<sub>2</sub> no obstante que sus porcentajes de materia orgánica no alcanzaron el Valor crítico, sí se logró tener un valor reducido de K (0.31). esto fue

FIGURA 16. PERMEABILIDAD %



\* INDICA DIFERENCIAS ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS  $P < 0.01$

**Simbología**

TU= Testigo Universal

T= Testigo de Control

A= Tratamientos 1,2,3,4 y 5

UP= Unidad Experimental (pino)

UE= Unidad Experimental (Eucalipto)

UQ= Unidad Experimental (Quercus)

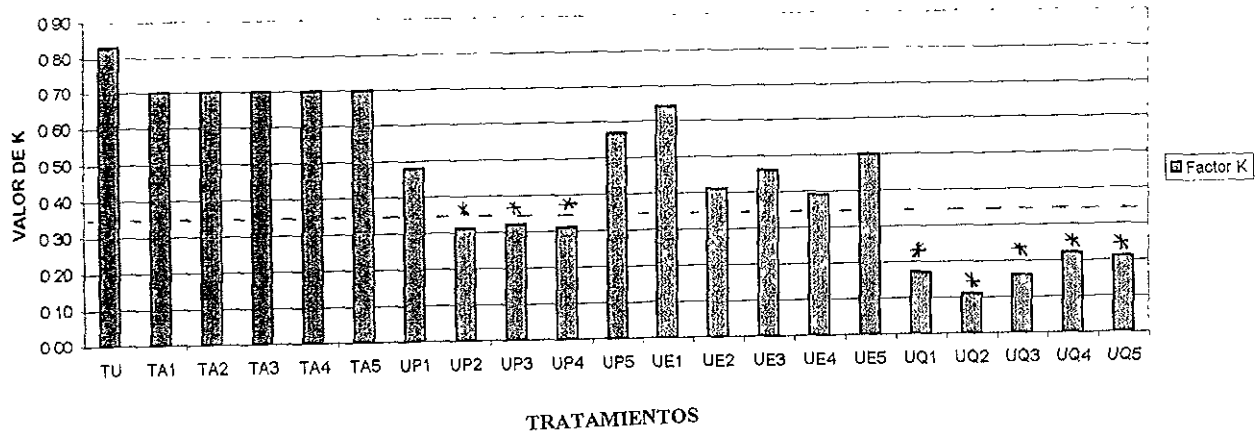
**Donde:**

1. Muy lenta

2. Moderadamente lenta

3. Moderado

FIGURA 17.FACTOR K %



\* INDICA DIFERENCIAS ESTADISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS P<0.01

**Simbología**

TU= Testigo Universal

T= Testigo de Control

A= Tratamientos 1,2,3,4 y 5

UP= Unidad Experimental (pino)

UE= Unidad Experimental (Eucalipto)

UQ= Unidad Experimental (Quercus)

Factor K= .35

debido a la formación de agregados angulares fuertemente estables que propiciaron por esta agregación una disminución en el factor de la suma de  $Amf + L$ .

En el caso de las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de Eucalipto las causas principales para no obtener un valor de  $K$  menor de .35 fueron en orden de importancia (1) altos contenidos de Arena muy fina ( $Amf$ ) + Limo ( $L$ ), (2) Porcentajes deficientes de materia orgánica, (3) débil estabilidad de los agregados y (4) falta de formación de agregados.

En el caso de las Unidades Experimentales de Encino la reducción en el Valor del Factor  $K$  fue notable en todos los casos, de tal modo que el riesgo de erodabilidad de estas Unidades Experimentales se consideró nulo (Tabla 13).

En el caso del Testigo Universal (TU) y Testigos de Control (T), los Tratamientos empleados propiciaron cambios estadísticamente significativos en la suma de  $Amf + L$ , que en todos los casos redujeron su valor con respecto al Testigo Universal (TU). En consecuencia, el valor de  $K$  disminuyó de modo estadísticamente significativo, pero en ningún caso afectaron el valor crítico de  $K$  (0.35).

Como puede observarse los porcentajes de materia orgánica en general fueron uno de los factores mas importantes para modificar el riesgo de erodabilidad.

#### 4.8 EROSION ACTUAL: PERDIDA TEORICA DE SUELO en t/ha /año

En la Tabla 16 se sintetizan los valores paramétricos de: (1) agresividad climática (Factor  $R$ ), en este caso moderada, (2) Factor  $K$  para cada uno de los Testigos y Unidades Experimentales, (3) cobertura vegetal (Factor  $V$ ) para los Testigos, representada en el caso de las Unidades Experimentales por la presencia de hojarasca y (4) valor paramétrico de la pendiente (Factor  $LS$ ), que en este caso corresponde a una pendiente teórica de 0 a 8%.

Según la metodología FAO -PNUMA (1980), con estos valores paramétricos es posible calcular la pérdida actual del suelo. Así, en el caso del Testigo Universal se estima una pérdida de 20.13 t/ha/año y de 16.97 t/ha/año en el caso de los Testigos de control (Tabla 16). De acuerdo con USLE (1990), la pérdida permisible para un suelo como el Testigo Universal es sólo de 5 t/ha/año. Como se observa, en el Testigo Universal y Testigos de control, la erosión actual supera significativamente a la pérdida permisible del suelo. Esto indica la importancia de la hojarasca y de sus efectos protectores de la erosión sobre los suelos. Sin embargo, es muy importante aclarar que aunque los valores de erodabilidad en varias de las Unidades Experimentales no alcanzaron el valor crítico de 0.35, resultan eficientes para disminuir casi totalmente la erosión. Es decir, en la Unidades Experimentales sigue presente el riesgo de erodabilidad del suelo, aunque en muchas de ellas casi no exista la erosión.

En la misma Tabla 16, se aprecia que, aunque el valor de  $R$  es moderado y el de  $K$  en todas las Unidades Experimentales es bajo, ( $UQ_1$ ,  $UQ_2$ ,  $UQ_3$ ,  $UQ_4$  y  $UQ_5$ ) a moderado ( $UP_1$ ,  $UP_2$ ,  $UP_3$ ,  $UP_4$  y  $UP_5$   $UE_2$ ,  $UE_3$ ,  $UE_4$  y  $UE_5$ ) la tasa de erosión potencial ( $RK$ ) es muy alta, oscilando de 16.94 ( $UQ_2$ ) hasta 98.56 t/ha/año ( $UE_1$ ). Esto fortalece aún más la necesidad de contar con una buena cobertura de hojarasca sobre el suelo ( $RKV$ ). Como se observa en

Experimental	Climática (R)	Factor (K)	(t/ha/año)	Vegetal	(t/ha/año)	(LS)	Pérdida de suelo (t/ha/año)*
TU	154	0.83	127.82	0.45	57.51	0.35	20.13
TA <sub>1</sub>	154	0.70	107.8	0.45	48.50	0.35	16.97
TA <sub>2</sub>	154	0.70	107.8	0.45	48.50	0.35	16.97
TA <sub>3</sub>	154	0.70	107.8	0.45	48.50	0.35	16.97
TA <sub>4</sub>	154	0.70	107.8	0.45	48.50	0.35	16.97
TA <sub>5</sub>	154	0.70	107.8	0.45	48.50	0.35	16.97
UP <sub>1</sub>	154	0.48	73.92	0.02	1.478	0.35	0.514
UP <sub>2</sub>	154	0.31	47.74	0.02	0.954	0.35	0.334
UP <sub>3</sub>	154	0.32	49.28	0.02	0.985	0.35	0.334
UP <sub>4</sub>	154	0.31	47.74	0.02	954	0.35	0.334
UP <sub>5</sub>	154	0.57	87.78	0.02	1.755	0.35	0.614
UE <sub>1</sub>	154	0.64	98.56	0.02	1.971	0.35	0.684
UE <sub>2</sub>	154	0.41	63.14	0.02	1.262	0.35	0.441
UE <sub>3</sub>	154	0.46	70.84	0.02	1.416	0.35	0.495
UE <sub>4</sub>	154	0.39	60.06	0.02	1.201	0.35	0.420
UE <sub>5</sub>	154	0.50	77.00	0.02	1.540	0.35	0.539
UQ <sub>1</sub>	154	0.17	26.18	0.02	0.523	0.35	0.183
UQ <sub>2</sub>	154	0.11	16.94	0.02	0.338	0.35	0.118
UQ <sub>3</sub>	154	0.16	24.64	0.02	0.492	0.35	0.172
UQ <sub>4</sub>	154	0.22	33.88	0.02	0.677	0.35	0.237
UQ <sub>5</sub>	154	0.21	32.34	0.02	0.646	0.35	0.226

Donde:

TU = Testigo Universal

TA<sub>1</sub> = Testigo de control tratado con HNO<sub>3</sub>

TA<sub>2</sub> = Testigo de control tratado con agua carbonatada

TA<sub>3</sub> = Testigo de control tratado con ácido acético

TA<sub>4</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (35 - 400C)

TA<sub>5</sub> = Testigo de control tratado con H<sub>2</sub>O (<250C)

U = Unidad experimental

P = Hojarasca de pino

E = Hojarasca de eucalipto

Q = Hojarasca de encino

\* La pérdida permisible de suelo por erosión, en este caso es de 5 t/ha/año

todas las Unidades Experimentales, los valores de (RKV) son muy bajos, siempre inferiores a la pérdida permisible de suelo.

#### 4.10 MICROBIOTA PRESENTE EN EL SUELO DESPUES DEL EXPERIMENTO

La descomposición de la hojarasca se origina mediante dos procesos fundamentales:

- a) Por acción mecánica (actividad animal) y
- b) Por la actividad de microorganismos como bacterias, actinomicetos y hongos.

Con respecto a los microorganismos, su actividad es directamente proporcional al pH edáfico, su función de degradación es más eficaz que el de las bacterias, transformando e incorporando a su cuerpo fungico el 50% del material orgánico descompuesto.

Sin embargo, presentan incapacidad para descomponer los compuestos ricos en amoniaco debido a la carencia de enzimas específicas para este elemento.

Así, el pH que mejores condiciones proporcionó en el experimento fue el de las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de Encino (UQ) ya que, como se observa en la Figura 17, el porcentaje de incremento con respecto al Testigo Universal (TU) fue superada en un 50%, presentando diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) lo cual proporciona características optimas para el desarrollo fúngico, el que, a su vez, beneficia al suelo al aumentar la estabilidad de los agregados, contribuyendo al desarrollo de una estructura deseable que disminuye en gran medida, la erosión del suelo, ya que los micelios fúngicos tienden a englobar partículas de arena muy fina y limo lo que origina agregados de tamaño de arena gruesa que son menos seceptibles a la erosión eólica e hídrica.

La misma Figura muestra que las Unidades Experimentales que contenían hojarasca de Eucalipto (UE) tuvieron un incremento con respecto al Testigo Universal (TU) del 20%, presentando diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) mientras que las Unidades Experimentales con hojarasca de Pino, con relación al Testigo tuvieron un comportamiento similar en lo que se refiere al desarrollo de colonias fúngicas (Tabla 16 Figura 17).

En el caso de las Bacterias, se observó un decremento de estos organismos en las Unidades Experimentales con hojarasca de Eucalipto (UE); las Unidades Experimentales con hojarasca de Pino (UP) se mantuvieron con relación al Testigo Universal, sin mostrar incremento, pero las Unidades Experimentales con hojarasca de encino (UQ), tuvieron un incremento del 60% (Figura 18, Tabla 16).

En cuanto a los Actinomicetos del suelo, que descomponen indiscriminadamente toda sustancia orgánica incluyendo aun las ligninas, se les considera como los organismos movilizadores de los compuestos húmicos, de ahí que su presencia indique suelo de alta fertilidad potencial. Para el caso de las Unidades Experimentales con hojarasca de Pino (UP) y Encino (UQ), se observó un incremento con relación al Testigo Universal (TU) de 200%, presentando diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ).

Este resultado significa que la hojarasca de Pino no fue una limitante del crecimiento de los actinomicetos y que por lo tanto, su desarrollo contribuye en este caso, a disminuir el riesgo a la erosión. El incremento en actinomicetos, además confiere cualidades optimas para el crecimiento de otros microorganismos y mayor asimilación de nutrimentos.



En el caso de las Unidades Experimentales con hojarasca de Eucalipto, el crecimiento de los Actinomicetos no presentó cambios estadísticamente significativos en cuanto al crecimiento, en relación con el Testigo Universal ya que se comportan de manera similar (Figura 19).

Los microorganismos celulolíticos son de gran importancia cuando se encuentran presentes en el suelo ya que, como se sabe, la celulosa es el compuesto orgánico más abundante en la materia orgánica que se adiciona al suelo. Debido a que es el constituyente principal de la pared celular de las plantas; como es el compuesto orgánico más abundante que llega al suelo, es un sustrato muy importante para los microorganismos. Las actividades de los microorganismos celulolíticos son fundamentales ya que al libera el C de la celulosa éste puede ser usado por otros seres vivos.

La presencia de éstos microorganismos en el suelo constituye una variable que, también, permite reconocer la fertilidad potencial.

En la Figura 20 se observa que las Unidades Experimentales con hojarasca de Encino (UQ) presentan un incremento de 130% presentando diferencias significativas  $P \leq 0.01$  con relación al Testigo Universal lo que hace que el suelo presente características óptimas para el crecimiento de los organismos.

Las unidades Experimentales con hojarasca de Pino, solamente alcanzaron un incremento con relación al Testigo Universal de 60%, no obstante, también hubo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) lo que le confiere al suelo características deseables pero no óptimas para su crecimiento.

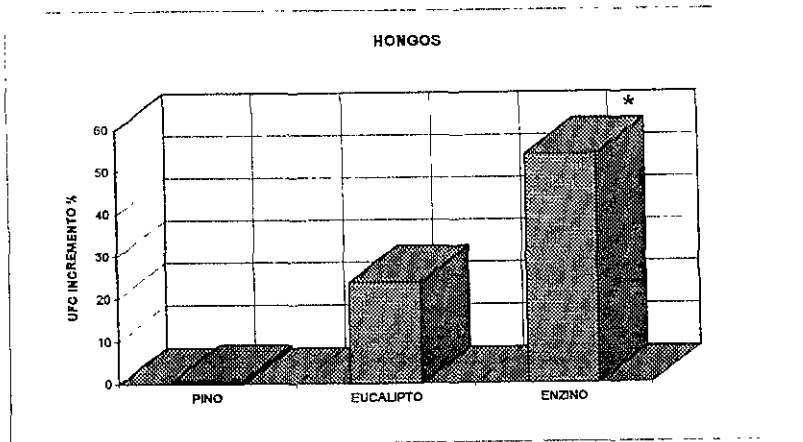
En cuanto a las Unidades Experimentales de Eucalipto (UE), se observó un decremento de los celulolíticos con relación al Testigo Universal, lo cual hace a este suelo menos adecuado que el Testigo, esto debido tal vez, a las propiedades alelopáticas que presentan los Eucaliptos lo que se relaciona con la liberación de metabolitos secundarios.

El suelo se convierte en un soporte más adecuado para el desarrollo de los organismos en la medida en que, la hojarasca que se incorpora, por su naturaleza, estimula más efectivamente a los microorganismos del suelo, propiciando una mineralización más rápida y consecuentemente, se convierte en fuente de nutrimentos para las plantas y los mismos microorganismos.

**TABLA 18. PROMEDIO DE LA MICROBIOTA PRESENTE EN EL SUELO DESPUES DEL EXPERIMENTO**

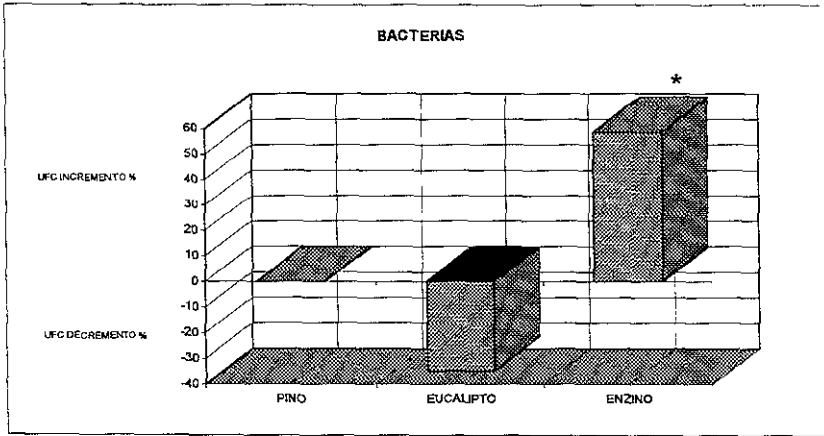
Hojarasca	Bacterias	Actinomicetos	Hongos	Celulolíticos
Pino	2520	28	1360	2.5
	2560	24	1306	1.4
	2520	32	1400	2.0
Eucalipto	1648.14	12.96	1814.81	0.4
	1592.59	9.25	1518.51	0.7
	1703.7	7.4	1666.66	3.5
Encino	4013.88	27.77	2138.88	4.5
	3986.11	29.16	2083.33	4.0
	4069.44	26.38	2000.00	2.0
Testigo	1739.72	8.21	1369.86	0.4
	1780.82	8.21	1328.76	0.2
	1808.21	10.95	1342.46	0.6

**FIGURA 18. PORCENTAJE DE INCREMENTO DE HONGOS**



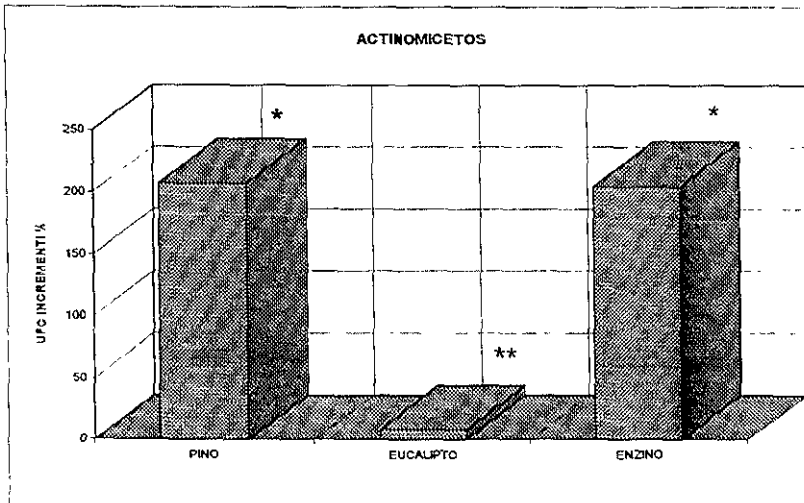
$P \leq 0.01$

FIGURA 19. PORCENTAJE DE INCREMENTO DE BACTERIAS



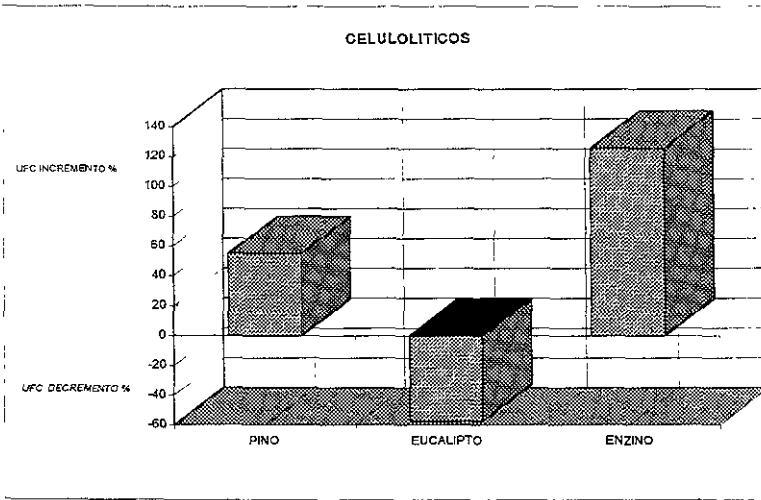
$P \leq 0.01$

FIGURA 20. PORCENTAJE DE INCREMENTO DE ACTINOMICETOS



$P \leq 0.01$

FIGURA 21. PORCENTAJE DE INCREMENTO DE CELULOTITICOS



$P \leq 0.01$

---

## CONCLUSIONES

- La presencia de la hojarasca siempre propició agregación del suelo contenido en las Unidades Experimentales. Sin embargo, dependiendo del género de la especie vegetal que aportó la hojarasca, las características de agregación conferidas por cada especie fueron siempre diferentes.
- La agregación en todos los casos propició una reducción de los porcentajes de arena muy fina y limo debido a la agregación así como al incremento en los contenidos de materia orgánica y la estabilidad de los agregados incluyendo un mejoramiento en la permeabilidad del suelo. Se observó que los valores variaron en función de la especie vegetal estudiada.
- La erodabilidad disminuyó no solo en función del porcentaje de hojarasca que se presentó en las Unidades Experimentales; sino también y de modo muy importante en función del género vegetal que aportó la hojarasca.
- Los análisis físicos, químicos y biológicos realizados para cada una de las Unidades Experimentales con relación a los Testigos, demostraron que la hojarasca de Encino fue la que tuvo una mayor participación como mejorante del suelo Testigo y que la hojarasca de Eucalipto presentó el menor porcentaje como mejorador.
- La presencia de hojarasca, en todos los casos anuló los valores estimados de erosión actual del suelo, pero no en todos los casos, su presencia redujo la erodabilidad del mismo ( $K > 0.35$ ).
- Aunque la agresividad climática fue moderada y los valores de erodabilidad también variaron de moderado a bajos (RK), los valores de erosión que se obtuvieron sin la presencia de cobertura vegetal (hojarasca) siempre rebasaron la pérdida permisible de suelo.
- La hojarasca de Encino, en todos los casos, permitió una disminución en los valores de erodabilidad, lo que hace a este suelo menos susceptible a ser erosionado permitiendo además, el crecimiento de microorganismos proporcionando una mejor estructura, dando lugar a la formación de agregados más estables, lo que demostró que este suelo con ese tipo de hojarasca, presenta reducción muy significativa a la erosión eólica y a la erosión hídrica.
- La hojarasca, que mejores condiciones proporcionó para el desarrollo de microorganismos fue en todos los casos el Encino, ya que este porcentaje de incremento fue superado con relación al Testigo Universal con diferencias altamente significativas.

## BIBLIOGRAFIA

- **ADAMS**, J.E., Kirkham, D., y Scholtes, W.H.(1958). Soil erodibility and other physical properties of some Iowa soils. Iowa State College, Journal of Science, 32: 484- 540
- **ALLISON**, F.E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier, Nueva York y Londres 673 p.
- **ANDERSON**, J.M. and Igram J.S.1989. Tropical Soil Biology and Fertility a Handbook of Methods. C. A. B. International. UNESCO. 493p
- **BAVER**, L. D., Gardner, W.H., Gardner, W.R. 1973. Física de Suelos. UTEHA, México, D.F. 280 p.
- **BOUYOCOS**, G.J. 1963. Direction for Marking Mechanical Analysis of Soil by Hydrometer Method. Soil Sci. 42:25 -30.
- **BUCKMAN**, H.O. y N.C. Brady. 1966. Naturaleza y Propiedades de los suelos. UTEHA, México.
- **BRYAN**, R.B. 1974. An improved rainfall simulator for use in erosion research. Can. J. Earth Sci, 7(6), 1552-1561 p.
- **CETENAL**, 1970, (Hoja) Guadalajara oeste F-13 D 65, Jalisco. México D.F. Secretaria de la Presidencia, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta Edafológica 1:50,000.
- **COLEMAN** David. 1989. Dynamics of Soil organic matter in tropical Ecosystems. Nifital Project. Depar. of Agronomy and Soil Science. College of tropical Agriculture and human Resources. University of Hawai. 249 p.
- **DE PLOEY**, J. 1980. A soil-mechanical approach of the erodability of loess by solifluction. Revue Géom. Dyn. 22(2): 61-70.
- **DROZD**, J., Weber J. (red) (1996): The role of humic substances in the ecosystem and in environmental protection. PTSH, Wroc<sup>3</sup>aw.
- **E.U.A** 1965. Departamento de Agricultura. Manual de Levantamiento de Suelos. Manual, USDA, No. 18, Traducción hecha en Venezuela por la Sría. De Agricultura y Cría, Caracas. 230p.
- **ELWELL**, H.A. 1977. Soil loss estimation system for southern Africa. Department of Conservation and Extension, Research Bulletin No. 22. Salisbury, Rodesia.

- **ELWELL, H.A.**, y Stocking, M.A. 1986. Vegetal cover to estimating annual runoff and soil loss from agricultural lands in Rhodesia. Water Res, 11: 601-605 p.
- **FAO – UNESCO**. 1984. Definitions of soil units for the soil map of the world: Roma, Food and Agricultural Organization, World soil Resources Office, report 33, 16 p.
- **FAO**. 1967. A Practical Manual of Soil Microbiology Laboratory Methods, FAO Rome. 105 p.
- **FAO – PNUMA**, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos: Roma Food and Agriculture Organization – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Roma. 86 p.
- **FASSBENDER, H.W.** 1978. Química de Suelos (5ª ed): Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Organización de Estados Americanos. Costa Rica. 398 p.
- **FITZPATRICK, E.A.** 1974. An Introduction to soil Science. Oliver & Boyd, Edinburg. 245 p.
- **FOSTER, G.R.** y Wischmeier, W.H. 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs, 17: 305-309
- **GARCIA Calderón N. E.** Ramírez Gama R. M. 1995. Simposio Universitario de Edafología Tres Décadas de Docencia e Investigación Básicas en la Ciencia del Suelo. Fac de Ciencias UNAM. México. 252 p.
- **GARCIA, E.** 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. 3ª. Edición, Instituto de Geografía, México, D.F. 220 p.
- **GONZALEZ K. V.** 1989. Erosión y su relación con algunas características morfogénicas de los suelos de la sierra de Hidalgo.
- **GREENLAND, D.J.** 1965. Interaction between clays and organic compounds in soil. Part II. Adsorption of soil organic compounds and its effect on soil properties. Soils and Fertilizers. 28: 521-532.
- **GREENLAND, D. J.**, Rimmer, D. y Payne, D. 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soil, using a water coherence test. J. Soil Sci. 26: 294-303.
- **GLIŃSKI, J.** 1993: “Chemiczne i fizykochemiczne właściwości gleb”, w:red. Dobrzański B., Zawadzki S., Gleboznawstwo. PWRiL, Warszawa, 155-207 p.
- **HUDSON, N.W.** 1982. Conservación del suelo. Barcelona. Reverté. 335 p.

- **HUDSON, N.W.** 1990. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of subtropical rainfall. Rhodesia Science Association Proceedings, 49: 14-25.
- **JACKSON, M.L.**, 1982. Análisis químico de los suelos. 2ª edición. Barcelona. Omega. 662p.
- **KEN K.** 1994. Soil Ecology De Cambridge University. Press. New York. 242 p.
- **KIRKBY, M.J.**, y Morgan R P. 1984. Erosión de suelos. Limusa. México. 375 p.
- **KIRKBY, M.J.** 1976. Measurement and theory of soil creep. J. Geology, 75, 359 -378 p.
- **KOPEN, W.** 1948. Climatología. Fondo de Cultura Económica. México. D.F., 125p.
- **KONONOVA, M.M.** 1987. Materia orgánica del suelo. Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Ediciones Oikos. Barcelona. 323p.
- **KONONOVA, M.M.** 1966. Soil organic matter. Pergamon, Oxford. 425 p.
- **KUMADA, K.** 1987. Chemistry of soil organic matter. Elsevier. 286 p.
- **LUTZ, J.F.** 1934. The Physico-Chemical Properties of Soils affecting Soil Erosion. Missouri Agricultural Experiment Station Reseach Bulletin 212 p.
- **MAHOOD, G.A.**, 1977. A preliminary report on the comenditic dome and ash flow complex of Sierra La Primavera, Jalisco, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 1: 177-190.
- **MUNSELL, A.** 1947. Soil Color Chart Munsell Color Company. Inc. Maryland, U.S.A.
- **Mc CARTHY, P.**, Malcom R.L., Clapp, C.E., Bloom P.R., 1990. An introduction to soil humic substances, Humic substances in soil and crop sciences: selected readings, W: American Society of Agronomy, Soil Science of America. Madison, 1-12 p.
- **NYE, P.H.** y Greenland, D.J. 1965. The soil under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of Soils. Technical Communication. England. No. 51, 165 p.
- **OADES, J.M.** 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma. 56: 377-400.
- **ORTEGA, G. F.** 1990. Contribuciones a la Edafología Mexicana. Instituto de Geología. UNAM. 138 p.

INSTITUTO DE GEOLOGIA  
 UNAM



- **ORTIZ V. B.** Ortiz, S. C. A. 1980. Edafología. 3ª Edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 331 p.
- **Potash and Phosphate Institute.** 1997 Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Quito, Ecuador. Research. Education 12 p.
- **PEISAJOVICH, G.J.** 1984. Manual de Prácticas de Microbiología Agrícola. Cuadernos de Extensión Universitaria. Xalapa, Veracruz. 123 p.
- **SIEBE, Christina y Reinhold Jahn Karl.** 1996. Manual para la descripción ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Publicación especial 4. Instituto de Geología, UNAM. México. 17 p.
- **SOIL SURVEY STAFF.** 1975. Soil taxonomy. Agric. Handbook 436. SCS-USDA. 744 p.
- **STOKING, M.A. y Elwell, H.A.** (1988). Soil erosion hazard in Rhodesia. Rhod. Agric. J. 70(4): 95-101.
- **SKIDMORE, E.L., Carstenson, W.A., y Banbury, E.E.** 1975 Soil changes resulting from cropping. Proc. Soil Sci, Soc Am. 39: 964-967.
- **TISDALL, J.M.** 1994. Posible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil. 159: 115-121.
- **USDA.** 1975b. Soil Taxonomy. Handbook 436: Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office. Washington D.C., U.S. 70-100 p.
- **USDA,** 1971. Soil Conservation: Department of Agriculture, Government Printing Office. Washington D.C., U.S. U.S. 35 p.
- **USDA,** 1998. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, 100 p.
- **United States Soil Conservation Service** 1975. Universal soil loss equation. SCS Technical Note Conservation Agronomy No 32, United States Department of Agriculture, West Technical Center, Portland. Oregon. 320p
- **WALKEY, A.** 1974. Critical examination for determining organic carbon in soils. Soil. Sci. 63: 251-264.
- **WISCHMEIER, W.H. Johnson, C.B. y Cross, B.V.** 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Water Conserv. 26: 189-193.

- **YODER, R.E.** 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. Journal of the American Society of Agronomy. 28: 337-351.

## **ANEXO 1**

- **CUANTIFICACION DEL MATERIAL VEGETAL EN GRAMOS Y PORCENTAJE POR PESO RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS DE HOJARASCA.**
- **PROMEDIO DE MADERA Y HOJAS RECOLECTADO EN LAS TRAMPAS DE HOJARASCA.**

TABLA 19. COMPOSICION POR PESO DE LAS FRACCIONES DE HOJARASCA EN PINO

Fecha de Recolecta	Trampa	Hojas g/2m <sup>2</sup>	Madera	Flores y		Mat. Veg		Fragmentos		Peso Total
				Frutos	Ramas	Ajenos				
22-31 Mayo	TP 1	9.46	0	0	0.24	0	0	0	9.7	
01-13 Junio	TP 1	7.35	0	0	0.1	0.05	0	0	7.5	
14-22 Junio	TP 1	5.27	0	0	0	0.13	0	0	5.4	
23-30 Junio	TP 1	7.14	0.06	0	0	0	0	0	7.2	
01-10 Julio	TP 1	4.59	0.11	0	0	0	0	0	4.7	
		<b>33.81gr</b>	<b>0.17gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.34gr</b>	<b>0.18gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34.5gr</b>	
22-31 Mayo	TP 2	90.1	0	0	0.2	0	0	0	93	
01-13 Junio	TP 2	6.6	0	0	0.3	0	0	0	6.9	
14-22 Junio	TP 2	5.2	0	0	0.3	0	0	0	5.5	
23-30 Junio	TP 2	6.9	0	0	0.1	0	0	0	7	
01-10 Julio	TP 2	4.4	0	0	0.1	0	0	0	4.5	
		<b>32.2gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>1.0gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>33.2gr</b>	
22-31 Mayo	TP 3	9.31	0	0	0.19	0	0	0	9.5	
01-13 Junio	TP 3	7.15	0	0	0.15	0	0	0	7.3	
14-22 Junio	TP 3	5.47	0.19	0	0.34	0	0	0	6	
23-30 Junio	TP 3	6.312	0	0	0.688	0	0	0	7	
01-10 Julio	TP 3	4.28	0.152	0	0	0	0	0	4.4	
		<b>32.490gr</b>	<b>0.342gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>1.368gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34.2gr</b>	
22-31 Mayo	TP 4	8.95	0	0	0.25	0	0	0	9.2	
01-13 Junio	TP 4	6.8	0.1	0	0	0	0	0	6.9	
14-22 Junio	TP 4	5.45	0.25	0	0	0	0	0	5.7	
23-30 Junio	TP 4	7.374	0.334	0	0.092	0	0	0	7.8	
01-10 Julio	TP 4	4.6	0	0	0	0	0	0	4.6	
		<b>33.174gr</b>	<b>.684gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.342gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34.2gr</b>	
22-31 Mayo	TP 5	9.35	0	0	0.05	0	0	0	9.4	
01-13 Junio	TP 5	7.8	0	0	0	0	0	0	7.8	
14-22 Junio	TP 5	5.4	0	0	0.2	0	0	0	5.6	
23-30 Junio	TP 5	6.712	0	0	0.088	0	0	0	6.8	
01-10 Julio	TP 5	4.2	0	0	0	0	0	0	4.2	
		<b>33.462gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.338gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>33.8gr</b>	
22-31 Mayo	TP 6	9.9	0	0	0.3	0	0	0	10.2	
01-13 Junio	TP 6	7.03	0	0	0.27	0	0	0	7.3	
14-22 Junio	TP 6	4.26	0.69	0	0.15	0.1	0	0	5.2	
23-30 Junio	TP 6	6.84	0	0	0.215	0.245	0	0	7.3	
01-10 Julio	TP 6	4.4	0	0	0.1	0	0	0	4.5	
		<b>32.43gr</b>	<b>0.69gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>1.035gr</b>	<b>0.345gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34.5gr</b>	
22-31 Mayo	TP 7	8.9	0	0	0	0	0	0	8.9	
01-13 Junio	TP 7	6.44	0	0	0.46	0	0	0	6.9	
14-22 Junio	TP 7	5.4	0	0	0.2	0	0	0	5.6	
23-30 Junio	TP 7	7	0	0	0	0	0	0	7	
01-10 Julio	TP 7	4.27	0.33	0	0	0	0	0	4.6	
		<b>32.01gr</b>	<b>0.33gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.66gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>33.0gr</b>	
22-31 Mayo	TP 8	9.675	0	0	0.125	0	0	0	9.8	
01-13 Junio	TP 8	7.102	0	0	0.098	0	0	0	7.2	
14-22 Junio	TP 8	5.3	0	0	0.06	0	0	0	5.9	
23-30 Junio	TP 8	6.3	0	0	0.06	0	0	0	6.9	
01-10 Julio	TP 8	4.5	0	0	0	0	0	0	4.5	
		<b>33.957gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.343gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34.3gr</b>	
22-31 Mayo	TP 9	9.789	0	0	0.311	0	0	0	10.1	
01-13 Junio	TP 9	7.089	0.1	0	0.11	0	0	0	7.3	
14-22 Junio	TP 9	5.146	0.38	0	0.1	0.174	0	0	5.8	
23-30 Junio	TP 9	6.65	0.15	0	0	0	0	0	6.8	
01-10 Julio	TP 9	4.734	0.066	0	0	0	0	0	4.8	
		<b>33.408gr</b>	<b>0.696gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0.622gr</b>	<b>0.174gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34.8gr</b>	
22-31 Mayo	TP 10	8.61	0	0	0.39	0	0	0	9	
01-13 Junio	TP 10	6.99	0	0	0.41	0	0	0	7.4	
14-22 Junio	TP 10	5.6065	0	0	0.3935	0	0	0	6	
23-30 Junio	TP 10	7.1	0	0	0	0	0	0	7.1	
01-10 Julio	TP 10	4.4295	0.1705	0	0	0	0	0	4.6	
		<b>32.736gr</b>	<b>0.1705gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>1.1935gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34.1gr</b>	
		<b>329.677gr</b>	<b>3.0825gr</b>	<b>0.0gr</b>	<b>7.1415gr</b>	<b>0.699gr</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>340.6gr</b>	

Donde  
TP= Trampa  
de Pino

\*Total 10 Trampas (g/2m<sup>2</sup>/50 días)

Tabla 20. COMPOSICION POR PESO DE LAS FRACCIONES DE HOJARASCA EN EUCALIPTO

Fecha de recolecta	Trampa	Hojas	Madera	Flor y Fruto	Mat. Veg. Ramas	Fragmentos Ajenos	Peso Total
2-31 Mayo	TE 1	12.3	2	0	12	0	15.7
1-13 Junio	TE 1	13	3	0	17	0.4	18.1
4-22 Junio	TE 1	13	5	1.2	0.4	0.7	20.3
3-30 Junio	TE 1	5.3	13.1	6.3	0	0.5	25.2
1-10 Julio	TE 1	4.2	18.9	9.5	0	0.5	33.1
		48gr	42gr	17gr	3.3gr	2.1gr	112.4gr
2-31 Mayo	TE 2	10	1	0	13	0.6	12.9
1-13 Junio	TE 2	12	3.8	1.5	0	0.3	17.6
4-22 Junio	TE 2	11.5	3	5.1	0	0.1	19.7
3-30 Junio	TE 2	4	18.1	3.6	0	0	25.7
1-10 Julio	TE 2	1.5	25.1	3	0	0	29.6
		39gr	51gr	13.2gr	1.3gr	1gr	105.5gr
2-31 Mayo	TE 3	10.7	2.2	0	0.5	0.9	14.3
1-13 Junio	TE 3	14.2	3.5	0	0	1.5	19.2
4-22 Junio	TE 3	15.6	4.2	2	0	0.9	22.7
3-30 Junio	TE 3	5	9.3	5.3	0	5.3	24.9
1-10 Julio	TE 3	4	14	8	0	6.1	32.1
		49.5gr	33.2gr	15.3gr	.5gr	14.7gr	113.2gr
2-31 Mayo	TE 4	9.5	3.5	0	0	0.9	13.9
1-13 Junio	TE 4	13.3	4	3	0	0	20.3
4-22 Junio	TE 4	11.9	6.2	3.5	0	0	21.6
3-30 Junio	TE 4	6.3	14.6	4.2	0	0	25.1
1-10 Julio	TE 4	4	27.2	5	0	0	36.2
		45.0gr	55.5gr	15.7gr	0.0gr	0.9gr	117.1gr
2-31 Mayo	TE 5	9.5	1.5	0	0	0.5	11.5
1-13 Junio	TE 5	14.4	3	0	0.7	0	18.1
4-22 Junio	TE 5	15	5.1	3.5	0.5	0	24.1
3-30 Junio	TE 5	6.2	6.9	4.7	1.6	6.5	25.9
1-10 Julio	TE 5	5	21.2	4	0.5	4	34.7
		50.1gr	37.7gr	12.2gr	3.3gr	11.0gr	114.3gr
2-31 Mayo	TE 6	10.6	2.7	2	0	0.7	16
1-13 Junio	TE 6	14.2	3.3	1.5	0	0.5	19.5
4-22 Junio	TE 6	15.2	5.2	1.5	0.6	0.7	23.2
3-30 Junio	TE 6	4	14.5	5	0.8	0.4	24.7
1-10 Julio	TE 6	2	18.3	4.5	0.6	5.9	31.3
		46.0gr	44.0gr	14.5gr	2.0gr	8.2gr	114.7gr
2-31 Mayo	TE 7	10.5	2.4	0.3	0	1	14.2
1-13 Junio	TE 7	15.5	2.9	0	0	0.9	19.3
4-22 Junio	TE 7	7	5.6	3.1	1.3	4	21
3-30 Junio	TE 7	4.1	13.5	3	0.6	4.1	25.3
1-10 Julio	TE 7	2.2	13.6	6.8	0	10.7	33.3
		39.3gr	38.0gr	13.2gr	1.9gr	20.7gr	113.1gr
2-31 Mayo	TE 8	9.3	1.6	0	0	0.8	11.7
1-13 Junio	TE 8	13.8	3.3	1.4	0	0	18.5
4-22 Junio	TE 8	16.5	3.5	1.9	0.6	0.2	22.7
3-30 Junio	TE 8	4.6	14.1	6.7	0.8	1	26.2
1-10 Julio	TE 8	3.3	23	3	0.4	2.2	31.9
		47.5gr	45.5gr	12.0gr	1.8gr	4.2gr	111.0gr
2-31 Mayo	TE 9	9	2	0	0.8	1.1	12.9
1-13 Junio	TE 9	12.5	5.1	0.5	0.8	1.3	20.2
4-22 Junio	TE 9	15.7	5.6	0.8	0.4	0.8	23.3
3-30 Junio	TE 9	5.5	14.3	4	0.3	1.7	25.8
1-10 Julio	TE 9	3	16.9	8.8	0	1.8	30.5
		45.7gr	43.9gr	14.1gr	2.3gr	6.7gr	112.7gr
2-31 Mayo	TE 10	10.1	1.8	0	0.5	1.9	14.3
1-13 Junio	TE 10	13.3	4.1	0.7	1.2	0.7	20
4-22 Junio	TE 10	15	6.8	1	0.4	0.5	23.7
3-30 Junio	TE 10	5.5	18	1.9	0	0.7	26.1
1-10 Julio	TE 10	2.6	19.3	10.7	0	1	33.3
		46.5gr	50.0gr	14.3gr	2.1gr	4.8gr	117.7gr
		456.60gr	440.8gr	141.50gr	18.6gr	74.3gr	1131.70gr

Donde:  
TE= Trampa de Eucalipto

\*Total 10 Trampas (g/2m<sup>2</sup> /50 días)

TABLA 19. COMPOSICION POR PESO DE LAS FRACCIONES DE HOJARASCA EN ENCINO

Fecha de Recolecta	Trampa de Hojarasca	Hojas	Madera	Flor y Fruto	Mat. Veg. Ramas	Fragmentos Ajenos	Peso Total
22-31 Mayo	TQ 1	12	0	0	0.5	0	12.5
01-13 Junio	TQ 1	11.4	0	0	0.3	0	11.7
14-22 Junio	TQ 1	8.9	0	0	0.6	0	9.5
23-30 Junio	TQ 1	5	0	0	0.3	0	5.3
01-10 Julio	TQ 1	9	0	0	0.2	0	9.2
		45.3gr	0gr	0gr	1.9gr	0gr	48.2gr
22-31 Mayo	TQ 2	10.2	0	0	1.3	0	11.5
01-13 Junio	TQ 2	10.1	0	0	1.2	0	11.3
14-22 Junio	TQ 2	9.5	0	0	0.9	0	10.4
23-30 Junio	TQ 2	3.9	0	0	0.6	0.2	4.7
01-10 Julio	TQ 2	8.8	0	0	0	0.1	8.9
		42.5gr	0gr	0gr	4.0gr	0.3gr	46.8gr
22-31 Mayo	TQ 3	10.7	0	0	2.5	0	13.2
01-13 Junio	TQ 3	9.4	0	0	1.7	0	11.1
14-22 Junio	TQ 3	8.5	0	0	1.1	0	9.6
23-30 Junio	TQ 3	4.3	0	0	1	0.2	5.5
01-10 Julio	TQ 3	7.2	0	0	1	0.3	8.5
		40.1gr	0gr	0gr	7.3gr	0.5gr	47.9gr
22-31 Mayo	TQ 4	11.8	0	0	0.5	0	12.3
01-13 Junio	TQ 4	10.7	0	0	0.2	0	10.9
14-22 Junio	TQ 4	10.1	0	0	0.2	0	10.3
23-30 Junio	TQ 4	4.9	0	0	0	0	4.9
01-10 Julio	TQ 4	8.9	0	0	0.1	0	9
		48.4gr	0gr	0gr	1.0gr	0gr	47.4gr
22-31 Mayo	TQ 5	11.9	0	0	0	0	12.3
01-13 Junio	TQ 5	11.2	0	0	0	0	10.9
14-22 Junio	TQ 5	9.8	0	0	0	0	10.3
23-30 Junio	TQ 5	5.3	0	0	0	0	4.9
01-10 Julio	TQ 5	9.5	0	0	0	0	9
		47.7gr	0gr	0gr	0gr	0gr	47.4gr
22-31 Mayo	TQ 6	10.5	0	0	1.7	0	12.2
01-13 Junio	TQ 6	9	0	0	2.1	0	11.1
14-22 Junio	TQ 6	9.5	0	0	0.4	0	9.9
23-30 Junio	TQ 6	4.4	0.2	0	0	0.5	5.1
01-10 Julio	TQ 6	8.7	0.3	0	0	0	9
		42.10gr	0.5gr	0gr	4.2gr	0.5gr	47.3gr
22-31 Mayo	TQ 7	10.7	0	0	1.1	0	11.8
01-13 Junio	TQ 7	10	0	0	1	0	11
14-22 Junio	TQ 7	8.9	0	0	0.9	0	9.8
23-30 Junio	TQ 7	4.8	0	0	0.5	0	5.3
01-10 Julio	TQ 7	8.6	0	0	0.5	0	9.1
		43.0gr	0gr	0gr	4.0gr	0gr	47.0gr
22-31 Mayo	TQ 8	11.5	0	0	0.1	0	11.6
01-13 Junio	TQ 8	10.3	0	0	0	0	10.3
14-22 Junio	TQ 8	9.1	0	0	0	0	9.1
23-30 Junio	TQ 8	3.3	0.7	0	0	1	5
01-10 Julio	TQ 8	8.9	0.3	0	0	0	9.2
		43.1gr	1.0gr	0gr	0.1gr	1.0gr	45.2gr
22-31 Mayo	TQ 9	10.1	0	0	1.9	0	12
01-13 Junio	TQ 9	9.8	0	0	1.3	0	11.1
14-22 Junio	TQ 9	8.3	0	0	0.9	0	9.2
23-30 Junio	TQ 9	3.9	0.3	0	0.5	0.7	5.4
01-10 Julio	TQ 9	8.1	0	0	0.5	0.6	9.2
		40.2gr	0.3gr	0gr	5.1gr	1.3gr	46.9gr
22-31 Mayo	TQ 10	12.1	0	0	0	0	12.1
01-13 Junio	TQ 10	11	0	0	0	0	11
14-22 Junio	TQ 10	9.7	0	0	0	0	9.7
23-30 Junio	TQ 10	3.9	0.5	0	0.8	0	5.2
01-10 Julio	TQ 10	8.6	0	0	0.5	0	9.1
		45.3gr	0.5gr	0gr	1.5gr	0gr	47.1gr
	*Total	436.70gr	2.30gr	0.0gr	28.90gr	3.60gr	471.10gr

Donde:  
TQ= Trampa Encino

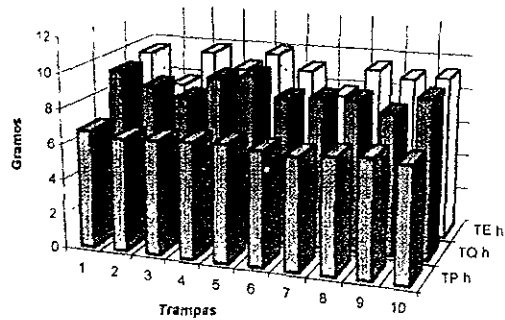
\*Total: 10 trampas (g/2m<sup>2</sup> / 50 días)

FIGURA 24-25. Promedio de Hojas y Madera Recolectado en las Trampas.

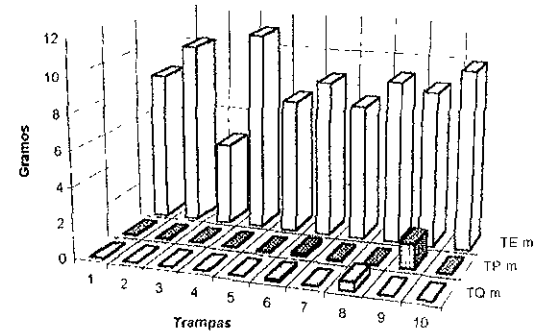
Trampas	TP h	TQ h	TE h
1	6 762	9 26	9 6
2	6 44	8 5	7 8
3	6 504	8 02	9 9
4	6 634	9 28	9
5	6 682	9 54	10 02
6	6 486	8 42	9 2
7	6 402	8 6	7 86
8	6 574	8 62	9 5
9	6 68	8 04	9 14
10	6 548	9 06	9 3

Trampas	TQ m	TP m	TE m
1	0	0 034	8 4
2	0	0	10 2
3	0	0	4 64
4	0	0	11 1
5	0	0	7 54
6	0 1	0 138	8 8
7	0	0 066	7 6
8	0 5	0	9 1
9	0	1 392	8 68
10	0	0 0341	10

Recolecta de Hojas



Recolecta de Madera



Donde

TPh= Trampa de hoja de Pino  
TEh= Trampa de hoja de Eucalipto  
TQh= Trampa de hoja de Encino

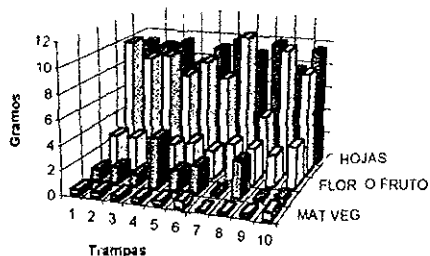
Donde

TPm= Trampa de madera de Pino  
TEM= Trampa de madera de Eucalipto  
TQm= Trampa de madera de Encino

TRAMPA	MAT VEG	FRAG. AJENOS	FLOR O FRUTO	MADERA	HOJAS
1	0.42	0.96	2.8	10	9.3
2	0.46	1.3	2.8	8.78	9.14
3	0.36	0.88	2.4	9.1	9.5
4	0.38	4.1	2.6	7.6	7.86
5	0.4	1.6	2.9	8.8	9.2
6	0.66	2.2	2.4	7.54	10.02
7	0	0.18	3.1	11.1	9
8	0.1	2.94	3	4.64	9.9
9	0.26	0.2	2.6	10.2	7.8
10	0.66	0.42	3.4	8.4	9.6

TRAMPA	MADERA	FLOR FRUTO	MAT VEG	FRAG. AJENOS	HOJAS
1	0	0	0.06	0.03	7
2	0	0	0.2	0	5
3	0	0.27	0	0	5.5
4	0	0.06	0	0	5.5
5	0	0.06	0	0	5
6	0	0.2	0.06	0	5.1
7	0	0.13	0	0	5
8	0	0.06	0	0	5
9	0.1392	0	0.1	0.03	6.66
10	0	0	0.23	0	5

RECOLECTA DE HOJARASCA DE EUCALIPTO



RECOLECTA DE HOJARASCA DE PINO

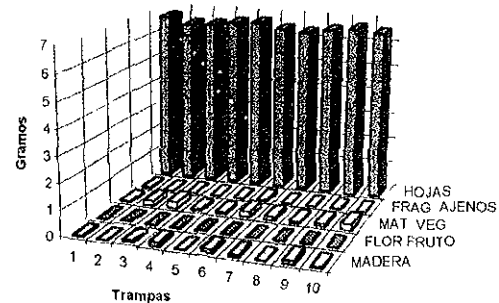




FIGURA 27. RECOLECTA DE HOJARASCA DE ENCINO

TRAMPA	FLOR FRUTO	MADERA	FRAG. AJENOS	MAT. VEG.	HOJAS
1	0	0	0	0.38	
2	0	0	0.06	0.8	
3	0	0	0.1	1.46	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0.1	0.84	
7	0	0	0	0.8	
8	0	0	0.2	0.02	
9	0	0	0.26	1.02	
10	0	0	0.26	1.02	

