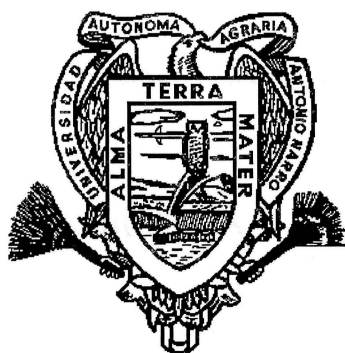


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS



**EVALUACION DEL ESCURRIMIENTO Y LA EROSION HIDRICA EN
PARCELAS EXPERIMENTALES EN LA REGION HIDROLOGICA 36**

ALAIN BUENDIA GARCIA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION**

TORREON, COAHUILA

MARZO 1998

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS

EVALUACION DEL ESCURRIMIENTO Y LA EROSION HIDRICA EN
PARCELAS EXPERIMENTALES EN LA REGION HIDROLOGICA 36.

ALAIN BUENDIA GARCIA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

ASESOR PRINCIPAL:

M.C. CARLOS EFREN RAMIREZ CONTRERAS

ASESORES:

Dr. LUC DESCROIX

M.C. JUAN ESTRADA AVALOS

TORREON, COAHUILA

MARZO 1998

TESIS QUE SOMETE A CONSIDERACION EL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

APROBADA POR:



M.C. CARLOS EFREN RAMIREZ CONTRERAS
PRESIDENTE



Dr. LUC DESCROIX
VOCAL



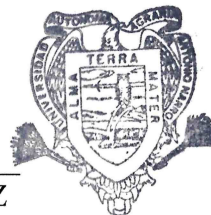
M.C. JUAN ESTRADA AVALOS
VOCAL



M.C. ABEL ROMAN LOPEZ
VOCAL SUPLENTE



ING. LUIS FELIPE ALVARADO MARTINEZ
COORDINADOR DE LA DIVISION DE
CARRERAS AGRONOMICAS



COORDINACION DE LA DIVISION
DE CARRERAS AGRONOMICAS
UAAAN UL

DEDICATORIAS

A mis padres:

Aurelio y Elvira por darme el ser
y apoyarme en los momentos mas
difíciles e importantes de mi vida.

A mis hermanos:

Aarón, Alis, Alina, Adán y Azail por
su incondicional y especial apoyo
durante mis estudios.

A Vicky:

Por apoyarme en los momentos
más difíciles y ser lo que me
impulsa a seguir adelante

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna por ser mi Alma Terra Mater y brindarme su sabiduría a través de sus profesores, a los cuales les estoy muy agradecido.

Al Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM); porque gracias a su valioso apoyo fue posible la realización de este trabajo, en especial al Dr. Luc Descroix por su asesoramiento.

Al M.C. Carlos Efren Ramírez Contreras por su especial asesoramiento.

Al M.C. Juan Estrada Avalos por su valioso asesoramiento.

A la L.S.C. Laura Verónica Macias, por su incondicional apoyo.

Al personal del CENID-RASPA que de alguna manera cooperaron para la realización de este documento.

Al personal que labora en el laboratorio de Riego y Drenaje de la U.A.A.A.N.-U.L. por brindarme su apoyo durante mi estancia dentro de la universidad.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
2.- OBJETIVOS.....	4
2.1.- Objetivo General.....	4
2.2.- Objetivo Particular.....	4
3.- HIPOTESIS.....	4
4.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1.- Erosión.....	5
4.2.- Factores que determinan la erosión.....	6
4.3.- Factores que determinan la tasa de erosión.....	8
4.3.1.- Erosividad.....	8
4.3.2.- Erosionabilidad.....	9
4.3.3.-Efecto de la pendiente.....	10
4.3.4.- Efecto de la cobertura vegetal.....	10
4.4.- Escurrimiento.....	10
4.5.- Factores que determinan el escurrimiento.....	11
4.6.- Factores de la cuenca.....	12
4.7.- Mediciones de la erosión.....	13
4.8.- Estrategias para la conservación del suelo.....	14
5.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
5.1.- Materiales.....	16
5.1.1.- Localización y descripción del área de estudio.....	16
5.1.2.- La manga.....	17
5.1.3.- El aguaje de las palomas.....	20
5.1.6.- Materiales y herramientas para el acondicionamiento de parcelas y de su muestreo.....	22
5.1.7.- Aparatos de medición.....	23
5.1.8.- Computadora.....	23

5.2.- Metodología.....	24
5.2.1.- Distribución espacial de las parcelas con respecto a los aparatos de medición pluviométrica (pluviómetro, pluviómetro totalizador y pluviografo).....	24
5.2.2.- Lecturas y muestreos.....	24
5.2.3.- Análisis de laboratorio.....	25
5.2.4.- Determinación de superficies.....	26
5.2.5.- Determinación de la pendiente.....	26
5.2.6.- Paquetes computacionales.....	27
5.2.7.- Análisis estadísticos.....	30
5.2.8.- Análisis de componentes principales(ACP).....	31
5.2.9.- Análisis de regresión lineal múltiple (ARLM).....	32
6.-RESULTADOS.Y DISCUSIONES.....	34
6.1.- La Manga.....	34
6.1.1.- Escurrimiento.....	35
6.1.2.-Erosión.....	36
6.1.3.-Análisis de componentes pincipales.....	41
6.1.4.- Análisis de regresión lineal múltiple.....	43
6.1.5.- Transferencia de escala.....	46
6.2.- El Aguaje de las Palomas.....	47
6.2.1.- Escurrimiento.....	48
6.2.2.- Erosión.....	49
6.2.3.- Análisis de componentes principales.....	52
6.2.4.- Análisis de regresión lineal múltiple.....	53
6.2.4.- Análisis de regresión lineal múltiple.....	53
7.- CONCLUSIONES.....	57
8.- LITERATURA CITADA.....	58
9.- ANEXOS.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la región hidrológica 36 (RH36).....	16
Figura 2. Ubicación geográfica de la subcuenca sardinas.....	17.
Figura 3. Distribución espacial de las parcelas (lotes de escurrimiento) en el sitio experimental la manga.....	19
Figura 4. Distribución espacial de las parcelas del sitio experimental de el aguaje de las palomas.....	21
Figura 5. Distribución temporal de la precipitación en la manga.....	34
Figura 6. Comparación del escurrimiento entre parcelas de 50 m ²	38
Figura 7. Comparación del escurrimiento de la parcela de 1 m ² y las de 50 m ²	38
Figura 8. Comparación del escurrimiento entre las parcelas de 1 m ² , 10 m ² y 50 m ²	39
Figura 9. Coparación de la erosión entre parcelas de 50 m ²	39
Figura 10. Comparación de la erosión entre parcelas de 1 m ² y de 50 m ²	40
Figura 11. Comparación de la erosión entre parcelas de 12 m ² , 10 m ² y 50 m ²	40
Figura 12. Comparación de los coeficientes de escurrimiento.....	46
Figura 13. Distribución temporal de la precipitación en el aguaje de las palomas.....	47
Figura 14. Comparación del escurrimiento de las parcelas de 50 m ²	50
Figura 15. Comparación del escurrimiento de las parcelas de 50 m ² y la 1 m ²	50
Figura 16. Comparación de la erosión de las parcelas de 50 m ²	51
Figura 17. Comparación de la erosión de las parcelas de 50 m ² y la de 1 m ²	51
Figura 18. Comparación del escurrimiento real y del calculado con la ecuación individual y la general para la parcela que mas escurrió en la manga (Parc.5).....	55
Figura 19. Comparación de la erosión real y de la calculada con la ecuación individual y la general para la parcela que mas erosión presento en la manga (Parc.5).....	55

Figura 20. Comparación del escurrimiento real y del calculado con la ecuación individual y la general para la parcela que más escurrió en el aguaje de las palomas (Parc.2)..... 56.

Figura 21. Comparación de la erosión real y de la calculada con la ecuación individual y la general para la parcela que mas erosiono (Parc.2)..... 56

1. INTRODUCCIÓN

Cada año debido a la erosión causada por la lluvia y el viento, se reduce la potencialidad de miles de hectáreas cuyo suelo se pierde y se resta a la agricultura y a la ganadería. De esta manera se ha disminuido constantemente la capacidad productiva de nuestras tierras en cantidad y calidad.

La cuenca del Río Nazas forma parte de la Región Hidrológica 36, que se encuentra en la parte alta de la Sierra Madre Occidental, constituye una zona de alto escurrimiento. Que se destina casi exclusivamente a la agricultura de la Comarca Lagunera. Dicha cuenca está subdividida en subcuencas y dentro de la subcuenca Sardinas se han constituido sitios experimentales para cuantificar los escurrimientos de arroyos, parcelas de escurrimiento (lotes de escurrimiento) con el fin de evaluar su potencial de utilización.

La erosión es el fenómeno físico de desplazamiento de los materiales sólidos de la superficie del terreno, ya sea por el viento o por el agua y por procesos tales como los deslizamientos y desprendimientos de terrenos.

Si el suelo está seco, la gota de agua se absorbe y el suelo se humedece, a medida que caen más ocurre un salpique considerable, cuya turbiedad indica la existencia de partículas de suelo en suspensión, por el rompimiento de los agregados o por el desprendimiento de partículas de la masa del suelo. El agua turbia penetra en el suelo y causa la obturación de los poros. El choque continuo de las gotas de lluvia acaba por compactar y sellar la superficie inmediata. Se forma una costra en el suelo y se reduce la filtración. (Baver et al, 1973)

La vegetación y la influencia del hombre juegan un papel importante en el problema de la erosión; la vegetación es la protección del suelo que impide su arrastre o acarreo por diversos medios como lo es el salpicamiento de las gotas de agua de lluvia, arrastre del suelo por el escurrimiento del agua cuando la precipitación es mayor que la infiltración y por otra parte, el arrastre ocasionado por el viento. Por otro lado, la interceptación de las gotas de lluvia por la cubierta vegetal afecta de dos modos la erosión del suelo. Primero, parte del agua interceptada no llega al suelo, sino que es evaporada directamente en las hojas y los tallos. Esta agua no puede contribuir al escurrimiento y no es un factor de erosión. Segundo, la cubierta vegetal absorbe el impacto de las gotas de lluvia y aminora los efectos destructivos de la lluvia sobre la estructura del suelo.

El proceso de escurrimiento empieza cuando se satisfacen ciertas demandas (evaporación, la interceptación foliar, almacenamiento superficial y retención superficial), es entonces, cuando se comienzan a llenar las pequeñas y grandes oquedades del suelo, llevándose consigo las partículas del suelo en suspensión.

El suelo es el principal soporte de las plantas y el almacenamiento natural del agua y los nutrientes que éstas aprovechan para su crecimiento y desarrollo, así que al ser removido, se pierde un recurso natural que para fines prácticos es no renovable, pues su formación requiere de mucho tiempo.(Sistema Nacional de Protección Civil, 1994). Esto influye, en el mediano plazo, principalmente en la reducción de la producción de los cultivos y en la pérdida de áreas silvícolas; y en largo plazo en un cambio de ecosistema.

Por lo citado anteriormente, es necesario tener un mejor manejo de la vegetación y clima, procurando mantener un equilibrio ecológico adecuado. Esto es posible mediante:

- a).-Llevar acabo la práctica de reforestación y las cubiertas protectoras, control de incendios, mediante fajas contra incendios.
- b).-Construcción de terrazas y practicar los cultivos en contorno y en fajas.
- c).-La rotación de cultivos y la labranza mínima.

En base a lo anterior, se decidió realizar un análisis de las condiciones del funcionamiento natural de la cuenca hidrológica, con el propósito de encontrar alternativas para la conservación de este recurso, evaluando mediante diversas técnicas la influencia de la precipitación sobre el terreno natural, por lo cual se plantean los siguientes objetivos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL.

Análisis de la relación precipitación-escurrimiento de una subcuenca (Sardinas) de la región hidrológica 36 y su impacto en el deterioro ambiental (erosión).

2.2. OBJETIVO PARTICULAR.-

Cuantificar la pérdida de suelo producida por la erosión hídrica por medio de los lotes de escurrimiento en sitios experimentales "La Manga" y "El Aguaje de las Palomas" con diferentes variables, así como, analizar el papel de ésta, relacionando las características físico-químicas de los suelos con la vegetación natural.

3. HIPÓTESIS

Es posible utilizar relaciones funcionales en el análisis de microcuencas (parcelas experimentales) que cuantifican el escurrimiento para el estudio de la erosión y generalizar a la cuenca hidrológica.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. EROSIÓN

La erosión se define como el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas individuales del suelo por el agua y el viento. (Foster 1967). Otra definición de erosión es que, la erosión del suelo se debe a la remoción del mismo a una tasa mayor que la de su formación y se atribuye principalmente al hombre y sus actividades.(Kirkby,Morgan1984). Se consideran diversos tipos y formas de erosión, los cuales son los siguientes:

Erosión Geológica:

Es la que ocurre como consecuencia de la naturaleza. Este tipo de erosión actúa sin la intervención del hombre y participa en la formación de los suelos ya que se produce por la intemperización de las rocas.

Erosión Inducida o Acelerada:

Es la erosión del material del suelo a un ritmo mayor que el de la erosión normal. Erosión más rápida que la que ocurriría en condiciones naturales. La erosión acelerada se presenta por resultados de la destrucción de la cubierta vegetal o de algunas actividades del hombre. Puede consistir en cualquiera de los tipos reconocidos de desgaste como: erosión laminar, erosión en cárcavas, erosión eólica.(Foster, 1969).

Erosión Laminar:

Es la remoción de una capa delgada de la superficie terrestre, incluye la erosión en canalillos.

Erosión en Canalillos:

Es la remoción del suelo por concentraciones pequeñas del agua de escurrimiento, con la formación de canales lo suficientemente pequeños para poder ser borrados con las labores de cultivo anuales.

Erosión en Cárcavas:

Es la remoción del suelo mediante la concentración del agua de escurrimiento en un volumen tal, que provoca la formación de canales que no pueden ser borrados mediante las labores de cultivo anuales. (Foster, 1969).

4.2. FACTORES QUE DETERMINAN LA EROSIÓN:

Clima:

Los factores climáticos que intervienen en la erosión son la precipitación, la temperatura, el viento, la humedad y la radiación solar. La temperatura y el viento son notables por sus efectos sobre la evaporación y la transpiración. Sin embargo, el viento cambia también la velocidad de las gotas de agua y el ángulo de impacto. La intervención de la humedad y la radiación solar es menos directa, ya que sus efectos están relacionados con la temperatura.

Suelo:

Las propiedades físicas del suelo afectan la capacidad de infiltración y la distancia a la que puede dispersarse o transportarse. Las propiedades que determinan la erosión son: la estructura del suelo, la textura, la materia orgánica, el contenido de humedad y la densidad, así como también las características químicas y biológicas del suelo.

Vegetación:

Las funciones principales que realiza la vegetación para reducir la fuerza erosiva son: 1) absorber la energía de las gotas de lluvia interceptándolas al caer, reduciendo de esta manera el escurrimiento; 2) retardar la erosión al reducir la velocidad del agua sobre la superficie; 3) mejorar la cohesión y la porosidad del suelo mediante las raíces y los residuos de las plantas. Los efectos de la vegetación varían según la estación, las plantas, el grado de maduración, el suelo y el clima, así como también con la clase de material vegetal, es decir, las raíces, el follaje y los residuos de las plantas.

Topografía:

Las características topográficas que influyen en la erosión son el grado de pendiente, la longitud en pendiente y el tamaño y la forma de las cuencas. En las pendientes muy empinadas, la velocidad alta produce una erosión severa por la abrasión y el desplazamiento de los sedimentos. (Schwarb et al. 1990).

4.3. Factores que Determinan la Tasa de Erosión.

La tasa a la cual el suelo se erosiona en una área dada. Se expresa usualmente en unidades de volumen o peso por unidad de área y tiempo. Las unidades comunes son $\text{kg/m}^2/\text{año}$ kg/ha/año , cm/ha/año . (Foster, 1969).

Los factores que influyen en la tasa de erosión son la lluvia, el escurrimiento, el viento, el tipo de suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y de incompatibles medidas de conservación.

Estos factores y otros relacionados se agrupan en tres categorías: energía, resistencia y protección. El grupo correspondiente a la energía incluye la capacidad potencial de la lluvia, del escurrimiento y del viento para causar erosión. Esta capacidad se denomina erosividad. También se incluyen aquellos factores que afectan el poder de los agentes erosivos, tal como la reducción en la longitud del escurrimiento o la fuerza del viento a través de la construcción de terrazas y barreras rompevientos respectivamente.

El factor fundamental para el grupo de resistencia es la erosionabilidad del suelo, que depende de las propiedades mecánicas y químicas del mismo. Aquellos factores que promueven la infiltración del agua en el suelo y por lo tanto reduzcan el escurrimiento disminuirán la erosionabilidad, mientras que cualquier actividad que pulverice el suelo la aumentará.

El grupo de la protección se centra en la cobertura vegetal, la cual mediante la interceptación de la lluvia, la reducción de la velocidad del escurrimiento y el viento. Los diferentes tipos de cobertura vegetal presentes permiten grados distintos de protección, de manera que el hombre, al determinar el uso del terreno (en la siembra de cultivos), definirá de manera importante la protección a la erosión.

4.3.1. Erosividad.

La pérdida de suelo está relacionada en forma estrecha con el poder de desprendimiento de las gotas de lluvia que golpean la superficie del suelo y con la contribución de la lluvia al escurrimiento

Existen también una relación entre la erosión y otros parámetros físicos de la lluvia como son: la cantidad total, la intensidad y la energía cinética.

La forma más adecuada de expresar la erosividad de la lluvia ha sido un índice basado en la energía cinética de la misma. De esta manera, la erosividad de una lluvia sería función de su intensidad y duración, y de la masa, diámetro y velocidad de las gotas de la misma.

A pesar de las limitaciones impuestas por las variaciones en el tipo de lluvia y su tamaño de gotas, se ha utilizado una relación general entre energía cinética e intensidad de la lluvia (Wischmeier y Smith,). La ecuación para obtener los valores de energía cinética de una lluvia, es :

$$EC = 11.87 + 8.73 \log_{10} I$$

Donde:

I es la intensidad de la lluvia (mm/hr)

EC es la energía cinética ($J/m^2/mm$)

Esta ecuación sólo puede ser utilizada para lluvias que tengan intensidades menores de 75mm/hr.

4.3.2. Erosionabilidad.

La erosionabilidad es la resistencia del suelo al desprendimiento y transporte por los agentes erosivos. Se considera que la erosionabilidad varía en función de textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la resistencia al corte, la capacidad de infiltración y el contenido de materia orgánica y cementantes químicos del suelo.

La textura del suelo afecta a la erosionabilidad del suelo en función de su resistencia al transporte por peso y/o rugosidad. En el caso de las arcillas, el contenido de humedad produce cambios importantes en la respuesta de las partículas a la erosión.

La resistencia al corte del suelo es una medida de su cohesión y su resistencia a las fuerzas cortantes que ejercen la gravedad, los líquidos en movimiento y las cargas mecánicas. La resistencia a estas fuerzas, provienen de la resistencia friccional de las partículas que constituyen el suelo al deslizarse una sobre otra.

4.3.3. Efecto de la Pendiente.

La erosión aumenta conforme aumenta la inclinación y longitud de la pendiente como resultado de los aumentos en velocidad y volumen del escurrimiento superficial. Además, mientras que en un terreno plano las partículas salpican en todas direcciones, en un terreno con pendiente más partículas son salpicadas ladera abajo que ladera arriba, esta proporción aumenta conforme la pendiente es más abrupta.

4.3.4. Efecto de la Cobertura Vegetal.

El papel más importante de la vegetación es la intercepción de las gotas de lluvia evitando que la energía cinética de las mismas se disipe en el suelo. La cobertura de plantas juega un papel importante en la reducción de la erosión, siempre y cuando cubra una porción grande de la superficie del suelo.

4.4. ESCURRIMIENTO:

Es la parte de la precipitación que en forma de corriente superficial o subterránea se abre camino hacia los arroyos, lagos u océanos. El término escurrimiento se refiere generalmente a corrientes superficiales.

Antes de que haya escurrimiento, la precipitación debe satisfacer las demandas de la evaporación, la interceptación, la infiltración, el almacenamiento superficial, la retención superficial. Sólo puede haber escurrimiento cuando el grado de precipitación excede el grado de infiltración del agua en el suelo. Una vez rebasado el grado de infiltración, el agua comienza a llenar las depresiones pequeñas y grandes que hay sobre la superficie del suelo. Después de que éstas se han llenado, empiezan a fluir corrientes sobre el suelo. (Schwarb et al, 1990).

4.5. FACTORES QUE DETERMINAN EL ESCURRIMIENTO

La relación entre la precipitación y el escurrimiento es compleja; depende por una parte de las características de la cuenca y por otra de la distribución de la lluvia en la cuenca y el tiempo.(CFE,1981).

a).- Intensidad y duración de la precipitación.- La intensidad de la precipitación de acuerdo con el tamaño de las gotas de agua: la lluvia es ligera cuando el diámetro de las gotas es menor de 2.5 mm; moderada, si las gotas tienen un diámetro de 2.5 hasta 7.5 mm; intensa, si el diámetro es mayor de 7.5 mm.

b).- Tipos de precipitación:

Ciclónica.- Lluvia provocada por diversas perturbaciones atmosféricas como son los ciclones y las depresiones atmosféricas, generalmente son grandes tormentas que se presentan principalmente en latitudes mayores a 30° y constituyen un peligro para las estructuras usadas en conservación de suelo.

Convectiva.- Lluvia originada por el fenómeno natural de elevación del aire caliente de escasa densidad. Este tipo de lluvias es de intensidad variable y se presenta como consecuencia de la condensación del vapor de agua en capas más altas y más frías, hasta donde el aire húmedo a sido arrastrado.

Orográfica.- Lluvia debida al movimiento ascendente que toma una corriente de aire horizontal por la topografía del terreno. Lluvia muy común en nuestro país que se presenta como consecuencia de corrientes de aire húmedo que se elevan sobre barreras montañosas.

c).- Frecuencia de las lluvias.- Frecuencia o periodo de retorno de las lluvias es la periodicidad media estadística en años, con que se presentan las tormentas de características semejantes en intensidad y duración.

4.6 FACTORES DE LA CUENCA:

Se considera como cuenca el área de drenaje, cuyas aguas concurren a un punto de salida. Las características de la cuenca que pueden afectar al escurrimiento superficial son:

a).- Forma y tamaño de la cuenca.- La forma y el tamaño de una cuenca influyen en la magnitud del volumen escurrido y en los escurrimientos máximos. Las cuencas más o menos redondeadas, presentan mayores escurrimientos que aquellas de forma estrecha o alargada. El índice de forma (IF) de la cuenca es la razón del largo entre el ancho.

$$IF = \frac{L}{B}$$

b) Topografía.- La pendiente media de la cuenca se puede estimar mediante la fórmula

$$P = \frac{H}{L} * 100$$

Donde: En términos muy generales la pendiente afecta al escurrimiento en la forma siguiente:

Pendiente de 0 a 5 %. Agua estancada o escurrimiento muy lento, la mayor parte del agua se percola o se evapora.

Pendiente de 5 a 10 %. Escurrimiento de lento a medio, hay agua superficial por periodos cortos, erosión leve.

Pendiente de 10 a 20 %. Escurrimiento rápido, la mayor parte del agua escurre en la superficie, sólo una pequeña parte se infiltra, erosión media.

Pendiente de 20 a 30 %. Escurrimiento muy rápido, casi toda el agua escurre, erosión severa.

c) Textura del suelo.- El potencial del escurrimiento de los suelos aumenta a medida que aumenta el contenido de arcilla. En suelos ligeros, con alta velocidad de infiltración el potencial del escurrimiento será bajo; en cambio, en suelos arcillosos con baja velocidad de infiltración el potencial de escurrimiento será alto.

d) Cubierta vegetal.- En términos generales, el escurrimiento será menor en cultivos tupidos de cobertura completa que en cultivos en hilera. En pastizales y bosques el potencial de escurrimiento baja a medida que mejora el manejo del cultivo y se evita el sobrepastoreo y el desmonte irracional.

4.7. MEDICIONES DE LA EROSIÓN

La erosión del suelo se mide, volumétrica y dinámicamente, en puntos cuidadosamente seleccionados y representativos, o bien en estaciones de medición. En mediciones directas, la cantidad medida está relacionada directamente con una escala. Así pues, la cantidad de ablación anual puede medirse con estacas de erosión y expresarse en metros. Este es un registro volumétrico directo. El registro dinámico directo sería, la determinación de la erosión por escorrentía en una pendiente al capturar el agua y el sedimento en colectores, siendo expresado el resultado en gramos y litros. La medición indirecta consiste en medir el efecto de una cantidad desconocida y a partir de este efecto medido, calcular la cantidad misma. De esta manera, Laws (1941) midió fotográficamente la velocidad terminal de las gotas de lluvia y Hudson (1963) midió su diámetro por el llamado método de las píldoras de harina, mediante el cual las píldoras de harina se pesan para determinar el diámetro de las gotas de lluvia.

También es importante el problema de la posible distorsión del medio erosionable producida por la implantación del aparato de medición, cuando la erosión en pendiente se determina mediante un registro dinámico directo con colectores, debe medirse primero la longitud y el grado de pendiente de la parcela de prueba.(Kirkby y Morgan, 1984).

4.8. ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL SUELO

El control adecuado de la erosión causada por el agua requiere el uso coordinado de las mejores prácticas agronómicas y de ingeniería para la protección del suelo y reducción del escurrimiento. Por lo tanto, las medidas de conservación tienen que incluir la protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, aumentar la capacidad de infiltración del suelo para reducir el volumen de escorrentía, mejorando la estabilidad de los agregados del suelo para aumentar su resistencia a la erosión y aumentar la aspereza de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento y del viento.

Prácticas Agronómicas:

Las prácticas de agronomía comprenden el planeamiento y manejo de los cultivos y las secuencias de cultivo con el fin de proporcionar la máxima cubierta de vegetación, labores de cultivo que promuevan la absorción óptima de la lluvia y el empleo de residuos de cosecha para asegurar la mejor protección posible contra el impacto de las gotas de agua lluvia.

Prácticas de Ingeniería:

Cultivos en terrazas.- El efecto principal de las terrazas en el control de la erosión es disminuir la longitud de la vertiente y llevar el agua fuera del terreno a baja velocidad. Al reducir la velocidad del agua en el canal de la terraza, se deposita en el canal gran parte de la carga de limo. En consecuencia, sólo una pequeña parte del suelo que se desprende entre los bancales salen del terreno con el agua que ha producido la erosión.

Labranza en curvas a nivel.- La arada de un suelo en curvas a nivel es esencialmente la formación de un sistema de pequeñas terrazas que cruzan una pendiente. El éxito de esta forma de labranza en aumentar la filtración del agua debe ser mayor en suelos permeables, igual que las terrazas tienen mayor éxito en este tipo de suelos.

Cultivos en fajas.- Es especialmente efectivo cuando se hacen siembras intercaladas entre cultivos de césped. Sirve para controlar la erosión en áreas de baja a mediana intensidad de lluvia. Se practica el cultivo en fajas a nivel en terrenos de pendiente uniforme. (Baver et al, 1973).

Reforestación.- Sin lugar a duda la reforestación es la mejor alternativa para la conservación y rehabilitación del suelo. Sin embargo en la práctica y debido a la constante presión socio-económica por disponerse de tierras de cultivo, dicha solución sólo puede emplearse en pocos casos, o cuando el problema de la erosión ha llegado a sus últimas consecuencias.

Cubierta protectora.- Existe una gran cantidad de tipos de cubiertas para los suelos, tales como; pastos, composta, estiércol, paja de arroz, serrín y residuos de cultivos anteriores.

Rotación de Cultivos.- La necesidad de sembrar alternativamente diferentes cultivos en un mismo terreno, práctica denominada "Rotación de cultivos" se realiza para mantener el debido espesor de la capa arable usando acertadamente los residuos de las cosechas, realizar las prácticas adecuadas de labranza, abonos verdes, cultivos de pastos y leguminosas, abonos industriales, etc.

Labranza mínima.- Se ha demostrado que el laboreo excesivo puede ser causa de erosión, además de producir la compactación y pérdida de humedad del suelo, desde hace varios años se ha observado que es posible sembrar y recoger buenas cosechas revolviendo un mínimo el suelo, y haciendo uso al mismo tiempo de los tallos, el rastrojo y otros residuos de las cosechas, abatiendo con ello la erosión.(Sistema Nacional de Protección Civil, 1994)

5. MATERIALES Y MÉTODOS

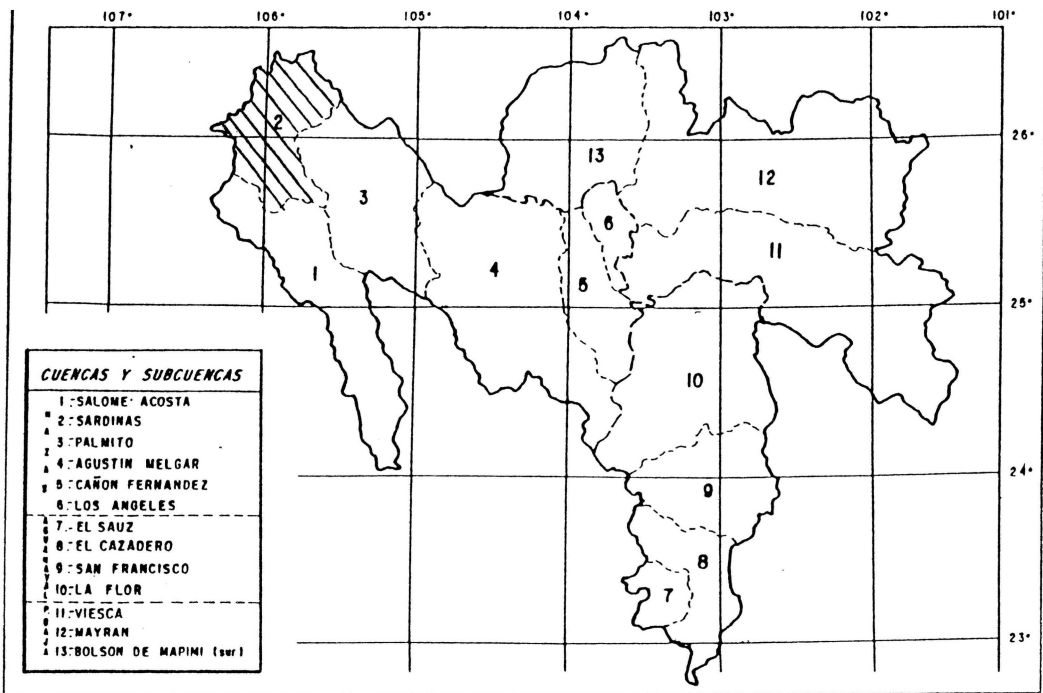
5.1. MATERIALES

5.1.1. Localización y descripción del área de estudio.

El área de estudio está ubicada en la parte alta y montañosa de la Región Hidrológica 36 (figura 1), donde se establecieron dos sitios experimentales en la subcuenca Sardinias (figura 2); la cual se encuentra a los alrededores del poblado "Pilitas de Abajo" (La Puerta), al Noreste a 30 km de brecha y 36 km (aproximadamente) de terracería transitable se sitúa la ciudad de Santa María del Oro, Dgo. Al suroeste, a 21 km de brecha y 37 km (aproximadamente) de terracería transitable se encuentra la cabecera municipal de Tepehuanes, Dgo.



*Figura 1. Ubicación geográfica de la región hidrológica 36 (RH36).



*Figura 2. Ubicación geográfica de la subcuenca Sardinas.

5.1.2. La Manga.

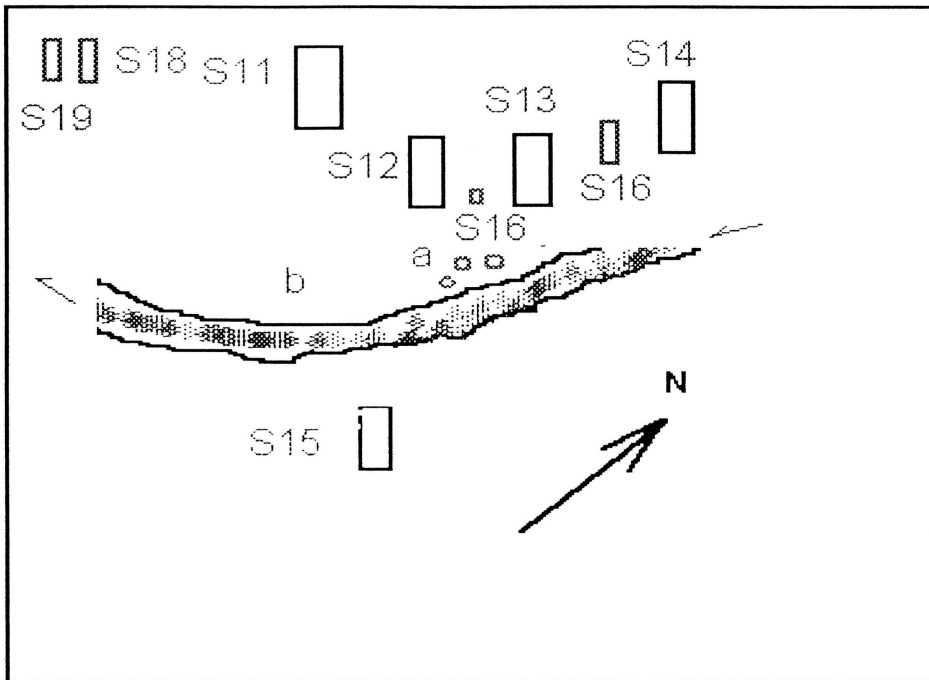
El sitio experimental "La Manga" se localiza a los 25°39'21" de latitud norte y a los 105°39'28" de longitud al Oeste del meridiano de Greenwich, se encuentra a una altura de 2150 msnm, la precipitación anual es de 500 a 800 mm, el clima es subhúmedo con estaciones muy marcadas, una seca y otra de lluvias, siendo la mayor precipitación en el verano (Mayo-Septiembre), tiene una vegetación de Sabana de Encinos con una buena cobertura de pasto, el tipo de suelo es Feozem-Lúvico (tierra parda) y su litología está compuesta de un conglomerado de riolita proveniente en forma aluvial de cerros adyacentes a esta cuenca experimental.

En el sitio experimental la Manga se cuenta con 9 parcelas o lotes de escurrimiento, de los cuales 5 son muy similares en su forma, tamaño, con una área aproximada de 50 m². De los cuatro restantes, tres son similares en tamaño y forma, con una área aproximada de 10 m², el restante es de 1 m². Su forma es rectangular y están orientadas a favor de la pendiente natural del terreno.

Tiene cuatro parcelas concentradas a un costado del arroyo (figura 3). La parcela uno, tiene aproximadamente las mismas características de pendiente, pedregosidad y tamaño que la parcela cuatro. La diferencia entre ambas, consiste en la ausencia de un árbol en la parcela cuatro. Las parcelas dos y tres, tienen las características de tamaño, forma y pendiente muy similares; su variación al igual que las anteriores es en su vegetación, pues solo la parcela dos cuenta con un árbol dentro de su área. Las parcelas seis y siete son parecidas a la dos y tres con respecto a su pendiente ya que sus áreas son muy distintas.

Las parcelas ocho y nueve tienen las mismas características de tamaño, forma y pendiente, su variación es que la nueve tiene restricción animal (bovinos), y la ocho no la tiene.

La parcela cinco está restringida a la actividad animal (bovinos) de un 75 a 85% por un cerco de alambre de púas y sin ningún árbol dentro de su área, sólo una pequeña porción de la copa de un árbol invade el espacio aéreo de dicha parcela.



*Figura 3. Distribución espacial de las parcelas (lotes de escurrimiento) en el sitio experimental de "La Manga".

S11.- Parcelas de esorrentía.

a.- Aparatos de medición pluviométrica (pluviógrafo, pluviómetro y pluviómetro totalizador).

b.- Arroyo "La Manga".

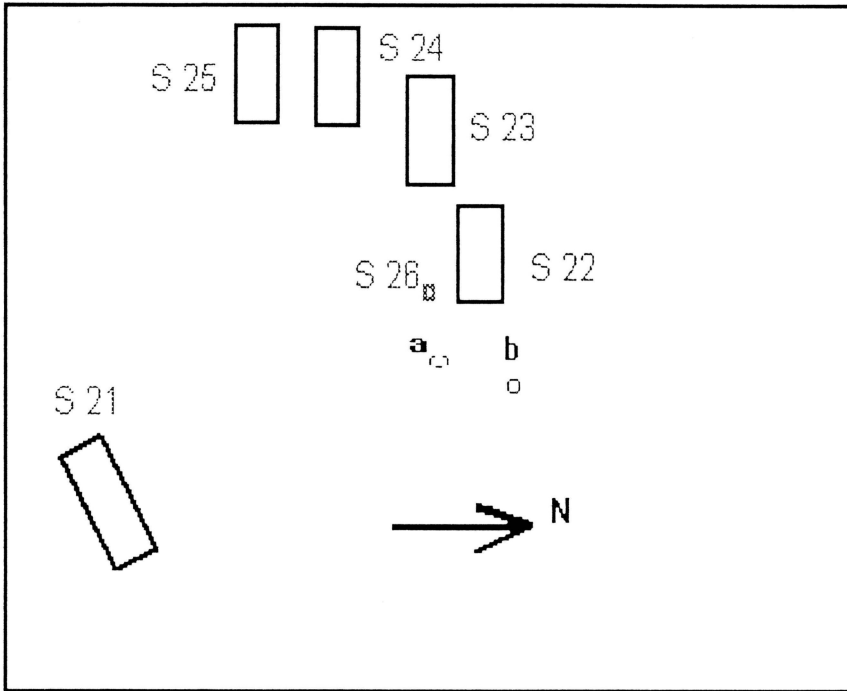
5.1.3. El Aguaje de las Palomas.

El sitio experimental "El Aguaje de las Palomas" se encuentra a los 25°38'25" de latitud norte y a los 105°40'19" de longitud oeste, se localiza a una altura de 2250 msnm, su precipitación anual es de 500 a 800 mm, el clima es subhúmedo con estaciones marcadas una seca y otra de lluvias, siendo la mayor precipitación en el verano, cuenta con una vegetación de bosque de Pino-Encino; este lugar cuenta con pasto, pero con menor densidad que la Manga, su tipo de suelo es Feozem-Lúvico (tierra-parda) y su litología está compuesta de riolita (roca ígnea extrusiva) que data del período terciario inferior (oligoceno).

En el Aguaje de las Palomas se cuenta con 6 parcelas o lotes de escurrimiento de los cuales cinco son muy similares en forma y tamaño, su forma es rectangular y orientada a favor de la pendiente natural del terreno; y una área de 50 m² aproximadamente. La parcela restante tiene una área de 1 m².

Tiene cuatro parcelas concentradas en un lugar, tal y como se muestra en la figura 4. La parcela uno, la cual está ubicada a 30 metros aproximadamente de donde están localizadas las demás parcelas, cuenta con varios árboles en su área (pinos, táscate y encino). La parcela dos (la cual generó el más alto escurrimiento), se encuentra prácticamente desnuda, ya que tiene vegetación de pasto, pero muy sobrepastoreado por el ganado (no existe restricción animal).

La parcela seis tiene las mismas características que la dos solo que la parcela seis mide 1 m² y la dos 50 m². La parcela tres, tiene árboles dentro de su área y no está restringida a la actividad animal. Las parcelas No. 4 y 5, tienen mucha similitud entre si, sus diferencias radican en que tienen diferente vegetación



*Figura 4. Distribución espacial de las parcelas del sitio experimental de "El Aguaje de las Palomas".

S21.- Parcelas de escorrentía.

a.- Pluviógrafo.

b.- Pluviómetro y pluviómetro totalizador.

5.1.4. Materiales y herramientas para el acondicionamiento de parcelas y de muestreo

En cada parcela a una distancia que va de dos a ocho metros, se realiza una horadación (excavación), la cual es cubierta con una lona impermeable para la captación de escurrimientos, evitando con esto la pérdida de los mismos.

Se utilizaron tubos PVC de una medida de 1 ½ pulgadas para la conducción adecuada de los escurrimientos en cada parcela.

El cemento y la arena fueron materiales necesarios para la construcción de una canaleta que impidiera la entrada o salida de escurrimientos, además de que sirviera para la concentración y conducción del escurrimiento hacia la lona.

Herramientas como las palas, azadones y pico fueron necesarios para realizar una excavación con suficiente capacidad, para almacenar los escurrimientos máximos esperados por cada parcela; también para el levantamiento de bordos y excavación de zanjas alrededor de la parcela, para evitar la salida o entrada de escurrimientos; además para el levantamiento de bordos con suficiente altura y zanjas de regular profundidad para el desvío de escurrimientos provenientes de la parte alta de cada parcela, evitando con esto, la falsedad de datos.

El martillo y las estacas sirvieron para fijar las lonas, evitándose que fueran desprendidas por el viento o el mismo escurrimiento.

Para el muestreo de líquido (agua) que escurre después de cada evento de precipitación, se utilizaron botellas de plástico con capacidad para un litro y embudos.

Las brochas y escobas fueron muy útiles para una mejor limpieza de tubos, zanjas, lonas y canaletas; con esto, se tendría la seguridad de que los datos colectados serían exclusivamente del evento en el cual eran muestreados.

5.1.5. Aparatos de medición

- a).-Pluviómetro totalizador (tubo totalizador): Este nos sirve para registrar la precipitación total de cada evento que se presente; en cada lugar o sitio experimental, se cuenta con uno de ellos.
- b).-Pluviógrafo: El cual nos sirve para conocer la intensidad y duración de cada evento (Precipitación). En el sitio "La Manga", se cuenta con un pluviógrafo de la marca "Leopold and Stevens", el cual su funcionamiento básico por sifonaje; mientras que en "El Aguaje de las Palomas", se tiene un pluviógrafo de la marca "Lambrecht", siendo su funcionamiento básico por sifonaje.
- c).-Tránsito (aparato de topografía): Muy necesario para la determinación de áreas de cada parcela y de los árboles que se encuentren dentro de los límites de una parcela.
- d).-Nivel (aparato de topografía): Para determinar la pendiente de cada parcela de escorrentía.
- e).-Estadal (herramienta de topografía): Esta herramienta sirve como auxiliar para la determinación de áreas y desnivel.
- f).- Cronómetro (medición del tiempo): de gran utilidad en el momento de determinar una cinética de escurrimiento, el cual se debe de procurar no mojarlo, para evitar fallas en su energía y así, poder terminar de levantar o registrar los datos.
- g).- GPS manual (geoposicionador satelital): Para poder determinar la ubicación geográfica (latitud y longitud) y altitud de cada lugar.

5.1.6. Computadora

La computadora es una herramienta de trabajo que facilita los cálculos y operaciones mediante paquetes o programas específicos, en este trabajo fue necesaria su utilización.

5.2. METODOLOGÍA

A cada parcela típica, se le acondicionó con la finalidad de un mejor manejo y de obtención de datos. Dicho acondicionamiento es de la siguiente manera:

- 1.- Levantamiento de bordos, así como colocación de cemento donde se requiriera (canaletas y alrededor de cada parcela) y limpieza de canaletas con escobas y brochas.
- 2.- Levantamiento y limpieza de zanjas para el desvío de escurrimientos aguas arriba de cada parcela.
- 3.- Limpiado de almacenamientos de los escurrimientos, a los cuales se les dio forma y excava, para obtener la capacidad deseada.
- 4.- Colocación de lonas así como la sujeción de las mismas con estacas, piedras, troncos, etc.
- 5.- Colocación y ensamble de tubos de PVC, para dirigir los escurrimientos.
- 6.- Para proteger la superficie de captación, se utilizó un cerco de alambre de púas

5.2.1. Distribución espacial de las parcelas con respecto a los aparatos de medición pluviométrica (pluviómetro totalizador y pluviógrafo)

En "La Manga", los instrumentos de medición de la precipitación fueron colocados como se muestra en la figura 3. Mientras que en "El Aguaje de las Palomas", se colocaron como se muestra en la figura 4.

5.2.2. Lecturas y muestreos

A partir del acondicionamiento de las parcelas, hasta el fin de la temporada de lluvias, se hace la lectura de pluviómetro totalizador después de cada evento, así como cambiar gráfica y dar cuerda al pluviógrafo a diario.

Después de cada evento, se cuantifica el volumen de agua existente en cada parcela con un recipiente previamente calibrado, antes de tomar la muestra, se mezcla el líquido y sedimentos auxiliándose de una escoba, enseguida se colectan las muestras antes de que se precipiten los sólidos o sedimentos para que la muestra sea lo más homogénea posible. Se etiquetan y guardan para su análisis fisicoquímico.

La determinación de la cobertura vegetal y de la pedregosidad se hizo utilizando un muestreo aleatorio, el cual consistía en escoger al azar lugares dentro de cada parcela al cual se le determina el porcentaje de suelo desnudo, gravas (menor de 2 cm), piedras, pasto, arbusto y hojarasca. Para considerar la influencia de los arboles, se determinó su porcentaje a través de su área medida con tránsito y estatal. La metodología para tal proceso es la siguiente:

1.- La parcela se divide en fajas de un metro de distancia cada una por lo ancho de la parcela, la cinta métrica la cual se coloca en cada faja, se mide la distancia de cada parámetro (suelo desnudo, piedras, suelo con vegetación, etc.)

Ejemplo:

00-13 cm. desnudo

13-56 cm. piedras

56-90 cm. pasto

90-130 cm. gravas

130-160 cm. arbusto

160 -200 cm. gravas, etc.

2.- Esté procedimiento se aplica para cada parcela.

3.- Se obtienen las longitudes totales de cada parámetro y se determina el porcentaje de cada uno.

5.2.3. Análisis de laboratorio

Una vez obtenidas las muestras, (sedimentos, suelo y líquido), se mandan al laboratorio donde se les sigue el siguiente proceso:

a).- Muestras de líquido: se les determina su volumen y cantidad de sólidos totales con la finalidad de saber cuánto suelo se perdió en el evento al cual corresponde cada muestra.

b).- Muestras de sedimento: Se secan al aire libre, se pesan en seco, se tamizan y separan de acuerdo al tamiz utilizado (gruesos 2 y 0.5 mm); se determinan la materia orgánica, textura o granulometría (por Bouyoucos y pipeta de Robinson) e inestabilidad estructural.

c).- Muestras de suelo: Se les da el mismo seguimiento que a los sedimentos.

5.2.4. Determinación de superficies

Para la determinación de la superficie de las parcelas, se hace uso del método de radiaciones con estación interior y ángulos acumulativos, para esto, se coloca el tránsito dentro del área de la parcela, se nivela, se centra y se pone en ceros (vernier para la lectura de ángulos), una persona se coloca en los bordes de la parcela y se van tomando lecturas en cada lugar irregular de la figura de la parcela.

Una vez obtenidos los datos se calculan las áreas de cada triángulo formado con la formula:

$$\text{superficie} = \frac{(\text{lado} \times \text{lado} \times \text{seno del ángulo})}{2}$$

5.2.5. Determinación de la pendiente

Se coloca el nivel en una parte cómoda para una mejor lectura, se centra y nivela. Se coloca una persona con un estadal al principio de la parcela y se toma la lectura, finalmente se coloca al final de la parcela y se toma la lectura obteniendo así, el desnivel existente. La determinación de pendiente se hace con la fórmula:

$$\text{pendiente} = \frac{\text{Altura}}{\text{Longitud}} \times 100$$

5.2.6. Paquetes computacionales.

Para el análisis de los datos obtenidos, se procesaron en diferentes programas de computo, los cuales se explican a continuación.

1).- Pluviom: Después de la recolección en campo de los pluviogramas, estos se ordenan y clasifican de acuerdo a la fecha en que se levantaron, se prepara el pluviom, y se les da el siguiente proceso.

a).- Se da de alta la estación (archivo nuevo): Este incluye el país, estación, año de observaciones, localización, etc.

b).- Características del aparato: Se refiere al pluviógrafo, como son la marca, velocidad de la pluma, tipo y tamaño de papel, etc.

c).- Tratamiento de datos pluviográficos. Capturación y corrección de datos: los datos se capturan mediante una mesa digitalizadora (provisto de un Mouse digitalizador), se pueden corregir también, datos ya capturados.

d).- Tratamiento de datos: Se extraen los datos, donde pide un rango de estaciones o escoger una sola y un rango de tiempo.

e).- Resultado: Archivo (*.LAB) para ser utilizado en ares.

2).- Ares: Este programa consta de un subdirectorío o comando llamado Preppoh que prepara a los archivos y consta de nueve líneas las cuales son.

Línea 1.- Identificación de la estación (solamente se teclan siete números) por ejemplo, 2011200. El significado de la clave es, los primeros tres números corresponden al país, la región con los dos números siguientes y los restantes corresponden al número de estación.

Línea 2.- Establece la forma de observación, intensidades de lluvia.

Línea 3.- Pregunta si se quiere calcular las precipitaciones útiles a partir de ciertos rangos de intensidad (de uno en uno hasta 10 o de dos en dos hasta 20 mm/h).

Línea 4.- Define las precipitaciones diarias.

Línea 5.- Define o clasifica los hietogramas a partir de un rango de cálculo. Para este caso se utilizó 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, y 180 minutos.

Línea 6.- Define los parámetros que determinan los hietogramas centrados.

Línea 7.- Calcula la agresividad erosiva para cada lluvia. Sin embargo, en este trabajo no se utilizó.

Línea 8.- Calcula la lluvia a un determinado paso del tiempo (el intervalo más pequeño es a una hora).

Línea 9.- Determina la intensidad de cada una de las lluvias en 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120 y 180 minutos.

De estas 9 líneas, se obtiene un archivo de salida (*.DAT); pero además, Intervienen 2 líneas más para la definición de extracciones:

Línea 10.- Se pone el número completo de la estación (10 dígitos)

Línea 11.- Define el año a tratar, precisión mínima aceptable (6 para aparatos electrónicos, 4 para los aparatos mecánicos), nombre o marca del pluviógrafo.

Una vez obtenidas las 11 líneas, se corre el programa ARES donde se emplean los archivos del tratamiento Preppoh (*.DAT) y el archivo que sale de PLUVIOM (*.LAB). Estos archivos deben estar dentro del subdirectorío ARES. El programa, con los archivos anteriores, genera un archivo de resultados (*.RES); que consiste en datos de precipitación, intensidades, precipitaciones útiles y los hietogramas.

3).- Excel: su utilización fue para realizar análisis de correlación y verificar la relación entre las variables; análisis de regresión que determinan modelos para estimar datos faltantes.

4).- Statitcf: Se utilizó para realizar análisis de componentes principales, con el propósito de obtener las variables de mayor importancia con respecto al escurrimiento o la erosión. Después de haber construido la matriz de todos los eventos, incluyendo la precipitación útil y la intensidad a diferentes intervalos de tiempo, el archivo se grava en modo Dbase III en el programa Excel; de esta manera, se tiene un archivo con extensión.DBF que permite el acceso a Statitcf.

5).- Statgraphics: Una vez obtenidas las matrices de cada parcela que contengan las precipitaciones útiles, intensidades, energía cinética e índices de humedad (IK); las cuales, se escogen después de haber realizado el análisis de componentes principales y de correlación; se graban en un archivo con la extensión.DBF y se utiliza en el programa Statgraphics en la opción "Stepwise Variable Selection", donde se especifican la variable dependiente (escurrimiento o erosión) y las variables independientes, las cuales pueden ser; precipitación (PP), índice de humedad (IK), intensidad de la precipitación (I); precipitación útil (PU o U); etc. Se corre el programa y se obtienen las gráficas, los estadísticos como son los coeficientes de determinación (R²), los coeficientes de cada variable, la prueba de Dubin-Watson y las constantes; así como la o las variables que más expliquen el escurrimiento o la erosión.

Antes de realizar cualquier análisis estadístico que nos ayude en la interpretación de resultados, es necesario construir una matriz con todos los datos. Tanto para "La Manga" como para "El Aguaje de las Palomas", ésta matriz está compuesta de los siguientes datos presentados en el anexo **1** que son diferenciados de la siguiente manera:

Los datos de escurrimiento y erosión, son muestreados en campo, fueron tomados en cada evento de precipitación (durante la estación de lluvias). El escurrimiento es identificado con la letra E y el sedimento o pérdida de suelo con la letra S.

La precipitación total (PP) por evento, fue tomada o leída de los pluviómetros totalizadores.

La definición de la intensidad de la precipitación (IN o I), es la velocidad con que está cayendo la lluvia (mm) en un intervalo de tiempo. Las precipitaciones útiles PU o U), es la parte de la precipitación caída con una intensidad inferior a un cierto límite (5, 10, 20, 40 mm/h, etc.). Para la determinación de estas dos variables, se tomaron primero, los pluviogramas (gráfico de la precipitación registrado por el pluviógrafo) durante la estación lluviosa; a los cuales, se les práctica un tratamiento o captación de datos mediante los programas PLUVIOM, y ARES descritos en este capítulo.

a 78 mm/hr.

Puesto que la humedad del suelo es condicionante para la existencia del escurrimiento o la erosión al momento de ocurrir la precipitación, es necesario conocer un índice que nos permita estimar la humedad del suelo; para lo cual, se utilizó el índice de Kolher (IK), el cual es calculado a partir de la siguiente expresión (Chevallier, 1983):

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\mu t}$$

Donde:

IK_n = Índice de humedad antes de la avenida n.

P_{n-1} = Precipitación (mm) en el rango n-1.

μ = Coeficiente que oscila de 0.1 a 0.9 según el IK de que se trate (ejemplo, si trata de IK8; entonces μ valdrá 0.8).

t = Tiempo separando la terminación de la lluvia (n-1) del inicio de la lluvia n, en días y fracción de días a cinco minutos después.

5.2.7. Análisis estadísticos

Para la generación e interpretación de los diferentes resultados, es necesaria la utilización de análisis estadísticos como los que a continuación se describen.

5.2.8. Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP), es uno de los análisis estadísticos multivariados que está siendo empleado en problemas de economía y administración de negocios, biología, ingeniería, etc. El objetivo principal, radica en demostrar cómo un gran número de variables puede ser reducido a un número menor de variables. Sin embargo, se considerarán los datos como una muestra tomada de una población, a partir de la cual se encontrarán las esperanzas y las varianzas de las variables, y se utilizarán para obtener resultados teóricos (Taro Yamane 1979).

Las componentes principales (ejes), son combinaciones lineales de las variables iniciales. Para realizar este tipo de análisis se utilizó un paquete de computación llamado "STATITCF"; para poder trabajar en este programa, se construye una matriz de datos (la cual se explicó, anteriormente) en la hoja de cálculo "EXCEL", el archivo obtenido, se graba con la extensión.DBF (DBASE III). El programa en una de sus opciones pide, cuantas componentes o ejes se desean (para éste estudio se consideraron cuatro ejes). El programa como resultado del análisis, muestra la medida de variación (%) para cada componente. Por ejemplo, si la primera componente principal explica un 60% de la variación de los eventos, el 40% que queda no explicado, lo será en las otras componentes o ejes. Además, el programa nos proporciona la media y el error estándar de cada variable; el análisis de correlación; el estudio de individuos (coordenadas de ejes principales, calidad de representación); los círculos de correlación (gráficas de ejes que representan a las variables, así como cuál conjunto de variables define el comportamiento de un eje, (por ejemplo, el escurrimiento, la erosión, los índices de humedad, etc.). La representación gráfica permite localizar a los eventos agrupados, sean los eventos que tienen cierta similitud o afinidad (Yamane 1979).

5.2.9. Análisis de regresión lineal múltiple (ARLM)

Una regresión lineal simple, es aquella donde existe una variable independiente (podría ser lluvia) y otra dependiente (el gasto). Sin embargo, en muchos problemas prácticos existen más de una variable independiente (lluvia, temperatura, evaporación, infiltración, etc.), la técnica estadística de la regresión lineal múltiple consiste en extender la regresión lineal simple para poder tener en cuenta dos o más variables independientes. Solo con paquetes o programas computacionales se ha hecho posible el tratamiento de fenómenos en los que interviene una cantidad elevada de variables, algunas veces hasta 15 (Yamane 1979). Se considerará solamente la regresión lineal que tiene la forma:

$$Y_0 = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

Se precisan diversos parámetros para saber si se tiene un buen resultado del análisis, este es el coeficiente de determinación (R^2), el cual se puede considerar como un índice de mejoramiento del ajuste del plano de regresión a los puntos reales con respecto al ajuste que se suponía el plano que pasa por la media; otra medida de ajuste, es la gráfica, pues ésta nos muestra si la distribución es buena o no, es decir, si se ajusta la recta entre los puntos definidos por los valores observados y los valores calculados de la variable independiente (Yamane 1979).

Después de que se realizó el análisis de componentes principales (ACP) y de que se escogieron las variables que más se relacionaron con los eventos (escurrimiento o erosión), se construye una matriz para cada parcela en el programa EXCEL. Después, se utiliza el programa Statgraphics donde se sigue el siguiente procedimiento:

El programa muestra un menú general, donde primero se importa o incorpora el archivo que se ha grabado en Excel, enseguida se escoge la opción de análisis de regresión; después, la opción de selección paso a paso de variables (Stepwise variable selection), enseguida viene una pantalla para la entrada del archivo de datos; una vez introducidos los datos, el programa muestra los estadísticos para cada variable, su valor, etc. Una vez que se tienen los datos, se corre el programa y muestra las variables que más explican al fenómeno o evento, así como su error estándar, constante, coeficiente de determinación (R^2), la prueba de Durbin-Watson, etc.

6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1.- La Manga:

En este sitio experimental se cuenta con cinco parcelas de 50 m² (aproximadamente), que se empezaron a evaluar a principio de la temporada de lluvia (26 de junio al 9 de septiembre), una parcela mas de 1 m² que se evaluó del 28 de junio y tres mas de 10 m² las que se registraron escurrimientos a partir del 25 de julio. La instalación de parcelas con diferentes áreas se realizo con el fin de analizar el comportamiento del escurrimiento y la erosión en diferentes áreas.

La precipitación en este sitio experimental durante la temporada de lluvia fue de 172 mm; en el mes de junio se presentaron 3 eventos de los cuales 2 provocaron escurrimiento, en julio que fue el mes mas lluvioso con 21 eventos solo 7 provocaron escurrimiento, en agosto se presentaron 10 eventos de los cuales 5 provocaron escurrimiento y en septiembre no se presentaron escurrimientos. En la figura 5 se muestran los días con precipitación.

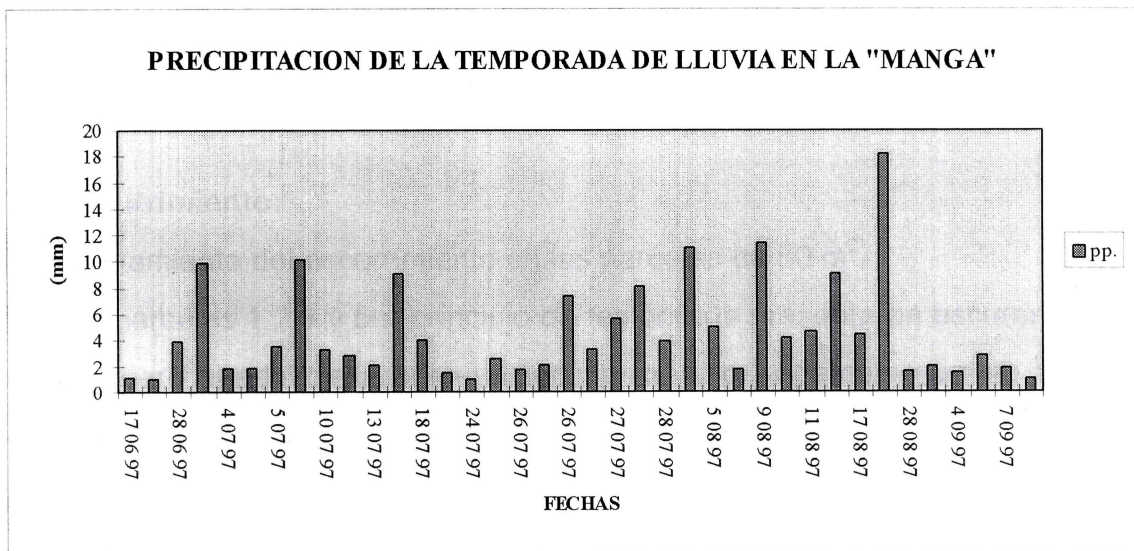


Figura 5.-Distribución temporal de la precipitación en La Manga.

Cuadro 1.-Porcentaje de características superficiales y fisicoquímicas (Gómez, 1997)de las parcelas:

Cobertura %	Parc.1	Parc.2	Parc.3	Parc.4	Parc.5	Parc.6	Parc.7	Parc.8	Parc.9
Superficie	51.51	47.63	47.41	53.54	62.15	1.00	10.00	10.00	10.00
Pendiente	25.74	17.06	16.16	28.81	12.79	16.0	19.08	20.79	20.79
Suelo Des.	3.11	4.01	1.52	0.00	0.00	3.67	7.98	3.89	8.67
Grava (< 2cm)	19.40	61.80	69.10	55.02	58.20	65.45	42.71	43.88	41.43
Piedra (> 2cm)	17.80	6.64	7.80	22.96	0.44	3.67	6.93	8.62	13.547
Pasto	59.69	27.55	21.58	22.02	41.36	24.88	42.38	43.61	36.33
Árbol	39.40	63.2	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	0.00	0.00
Arcilla	14.18	13.07	12.24	15.40	11.72	13.50	12.40	14.10	14.08
Limos.Gruesos	7.70	6.08	5.67	5.65	6.33	6.02	5.70	7.50	7.45
Limos.Finos	11.85	11.57	9.82	7.33	6.98	11.20	8.50	11.70	10.95
Arenas G.	39.85	55.81	57.48	53.50	56.30	56.40	55.75	39.50	38.80
Arenas F.	21.43	16.32	16.35	13.63	20.95	16.34	15.90	19.30	19.50
Carbón Total	2.74	2.20	1.15	2.23	1.46	1.90	2.10	2.50	2.09
Materia Org.	4.73	3.79	1.98	3.85	2.52	3.50	3.50	4.50	4.20

6.1.1.- Esgurrimiento:

a).-Comportamiento del escurrimiento en las parcelas de 50 m².

Las parcelas 1,2,3 y 5 a principio de temporada presentaron escurrimientos muy parecidos, pero apartir de la primera decena de julio la parcela numero 2 empezó a registrar un poco menos que la otras, las cuales siguieron teniendo un comportamiento similar pero al final la que escurrió un poco mas fue la numero 5, esto se origino puesto que no cuenta con suelo desnudo y su protección es pasto en un 41.36%, un bajo porcentaje de piedra mayor de 2cm y cuenta con restricción animal ver cuadro 1. La parcela que le siguió fue la numero 3 con poca diferencia entre estas dos, las parcelas 2 y 1 presentaron poca diferencia entre ellas pero al final solo 1.71 mm de lamina escurrida obtuvo la 1 sobre la 2.

La parcela 4 fue la que menos escurrió apesar que no cuenta con ningún árbol dentro de ella, es la que cuenta con el mayor porciento de piedra mayor de 2 cm, tiene la mayor pendiente y no cuenta con suelo desnudo (cuadro 1), en resumen el comportamiento entre parcelas (figura 6) es diferente y las que tienen similitud fueron las parcelas 1 y 2.

b).-Comportamiento del escurrimiento en las parcelas de 1m^2 y 10m^2 .

La parcela 6 (1m^2) presento escurrimientos parecidos a los de las parcelas de 50m^2 , esto fue a principios de su instalación, en el resto de la temporada registro escurrimientos mayores (figura 7).

Al analizar las nueve parcelas (50m^2 , 10m^2 , 1m^2), la que más escurrimiento registro fue la parcela numero 6 (1m^2), siguiendole las parcelas 8 y 9 teniendo un comportamiento similar a principio de temporada y al final sobresaliendo la 9, estas parcelas tienen parecidas características a nivel superficial (cuadro !), solo que la parcela 9 cuenta con restricción animal y la 8 no.

La parcela 7 fue la que menos registro de las parcelas de 10m^2 , en este análisis las parcelas de 50m^2 fueron las que menos escurrimiento presento, por lo anterior se observo que el comportamiento de las parcelas (figura 8) es diferente dependiendo de su superficie para las parcelas mas chicas su coeficiente de escurrimiento es mas grande y viceversa.

6.1.2.- Erosión:

a).-Comportamiento de la perdida de suelo en las parcelas de 50m^2 .

La parcela 5 fue la que presento mayor perdida de suelo (erosión), puesto que fue la que presento mayor escurrimiento, tiene un 41.36% de pasto, casi nula cobertura por árbol 5.43% y cuenta con restricción animal, la parcela 3 fue la segunda que presento mayor perdida de suelo ya que no cuenta con cobertura de árbol y es la que cuenta con mayor cantidad de grava menor de 2 cm. y un 21.58% de cobertura de pasto, a esta parcela la distingue el evento del 29 de julio.

Las parcelas 1 y 2 presentan un comportamiento similar aunque tienen diferencias la parcela 2 tiene un 63.2% de cobertura por árbol y 27.55 % de pasto, la parcela 1 cuenta con 39.40 % de cobertura de árbol y 59.69% de pasto.

La parcela 4 fue la que presentó menor pérdida de suelo, puesto que fue la que menos escurrimiento presentó, no cuenta con cobertura de árbol, tiene un alto porcentaje de grava menor de 2 cm 55.02%, es la que cuenta con mayor porcentaje de piedra mayor de 2 cm y ser la parcela que tiene la mayor pendiente de todas, (figura 9).

b).-Comportamiento de la pérdida de suelo en las parcelas de 1m² y 10 m².

El análisis para observar el comportamiento de la parcela 6 (1m²) se observó que presentó una pérdida de suelo superior a cuatro parcelas de 50m² y aproximadamente igual a la parcela número 5, (figura 10).

Al observar las nueve parcelas una de 10m² (parcela 9) fue la que mayor pérdida de suelo presentó, siguiéndole la parcela 3 (50 m²), las parcelas 8 y 5 de 10 m² y 50 m² respectivamente mostraron una pérdida de suelo muy similar a pesar de sus diferencias físicas. Las parcelas 2 y 3 presentaron pérdidas de suelo muy similares teniendo una diferencia de 500 kg/ha, las parcelas 4 y 6 presentaron una pérdida de suelo muy similar teniendo como diferencia 10 kg/ha mas la parcela 6, la parcela 7 fue la que menos pérdidas de suelo tuvo a pesar que sus características son parecidas a las de las 8 y 9, estos comportamientos se ilustran mejor en la figura 11.

Comparación del escurrimiento en "La Manga"

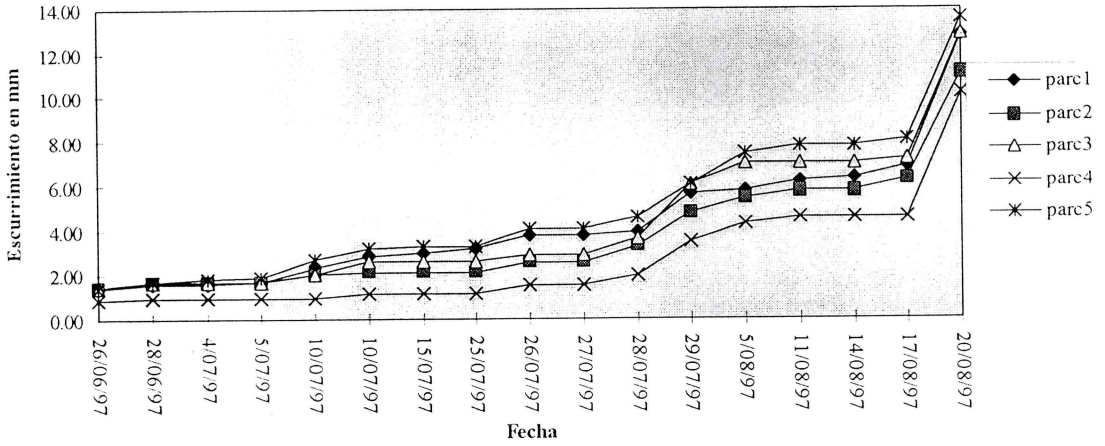


Figura 6.- Comparación del escurrimiento entre parcelas de 50 m².

Comparación del escurrimiento en "La Manga"

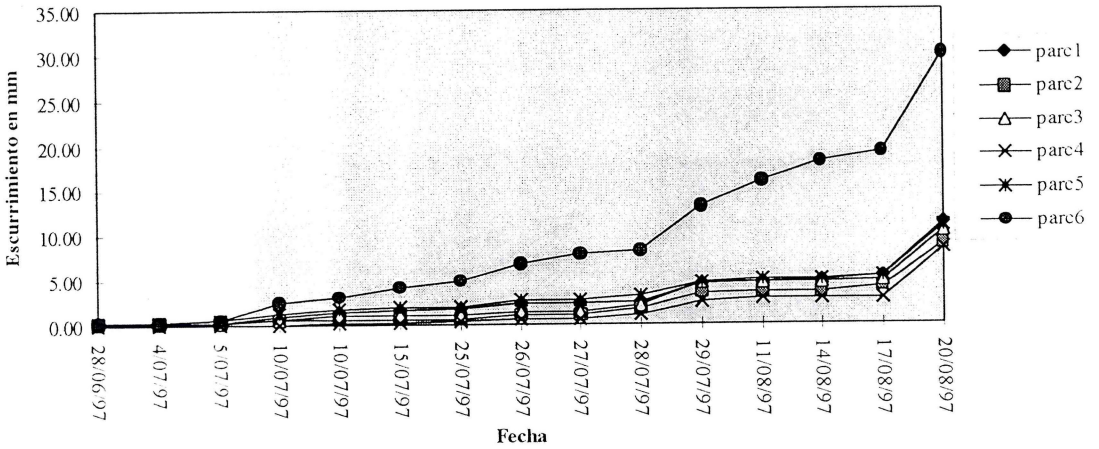


Figura 7.- Comparación del escurrimiento de la parcela de 1 m² y las de 50 m².

Escurrimiento en "La Manga"

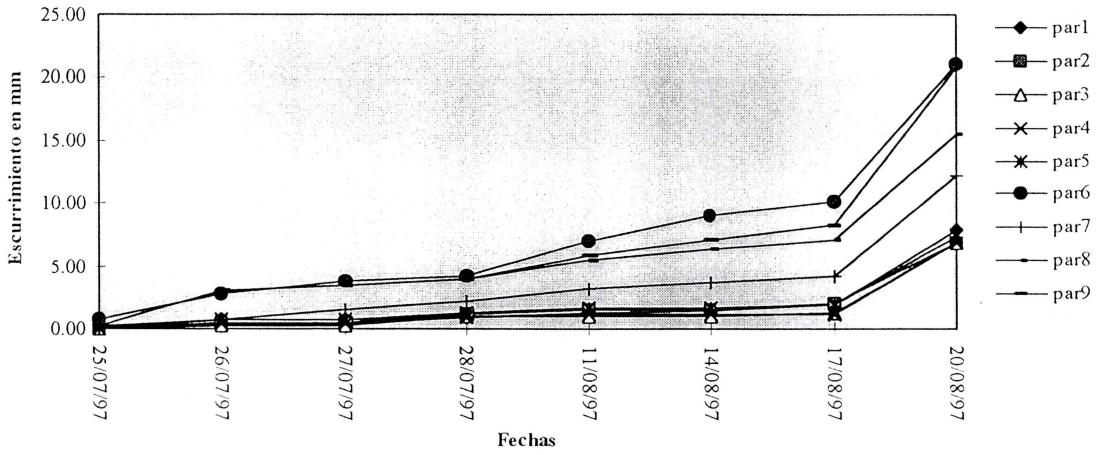


Figura 8 .- Comparación del escurrimiento entre las parcelas de 1 m², 10 m² y 50 m².

Erosión Manga

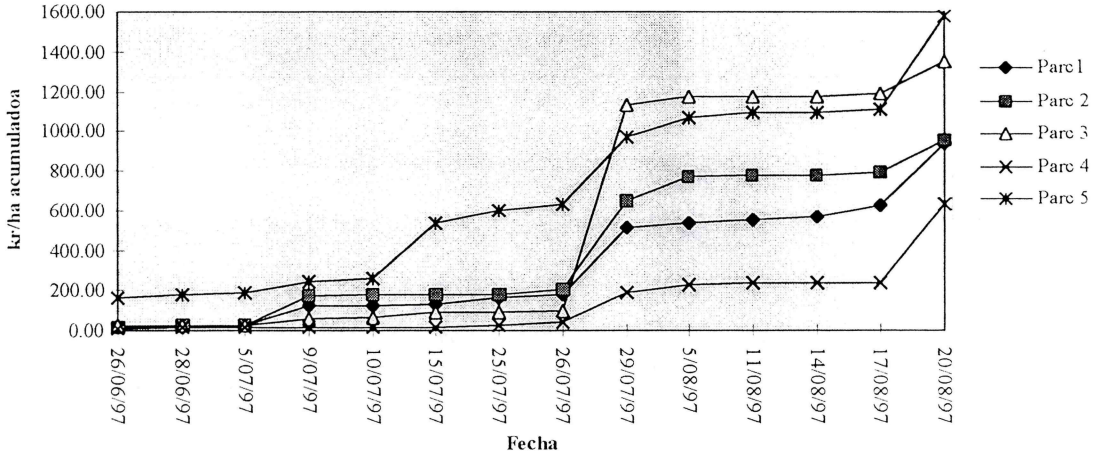


Figura 9 .- Comparación de la erosión entre parcelas de 50 m².

Erosión Manga

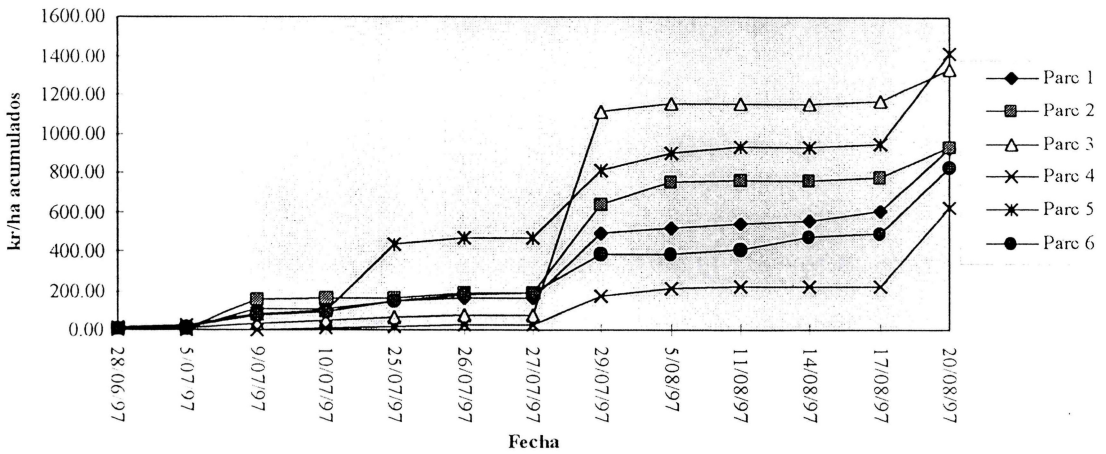


Figura 10.-Comparación de la erosión entre parcelas de 1m² y de 50 m².

Erosión Manga

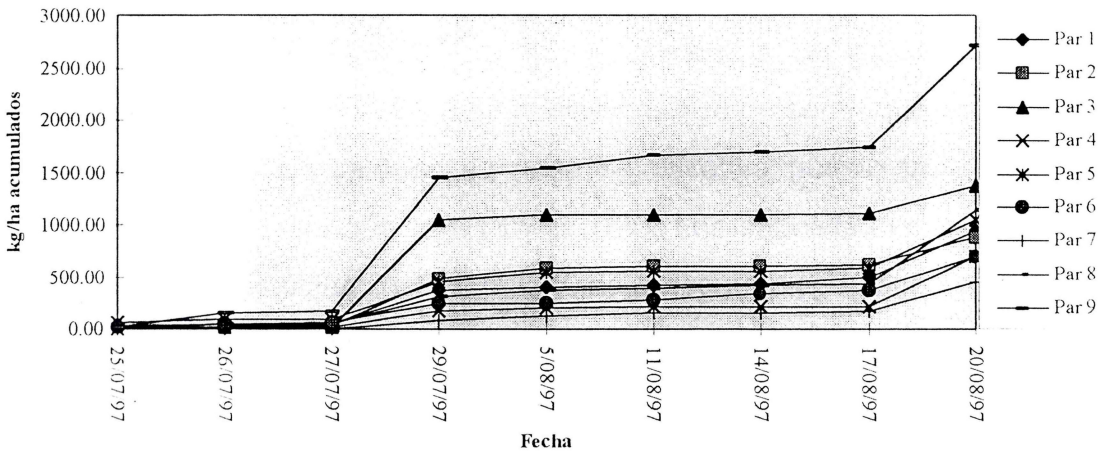


Figura 11.-.Comparación de la erosión entre parcelas de 1m² , 10 m² y 50 m².

6.1.3.- Análisis de Componentes Principales.

(ACP) para las parcelas de 50m².

En la matriz de correlación para el escurrimiento (E) las variables que mas se correlacionaron para las parcelas de 50 m², fueron la intensidad (I30)y la lluvia útil (U20), para la erosión fue solamente la intensidad (I30).

El ACP, es interpretado de la forma siguiente; si las variables se encuentran al extremo de un eje, son las que estarán mejor representadas; mientras que las variables que se encuentren más al centro o entre dos ejes, serán las que menor representación tengan.

La varianza de los eventos que se presentaron en este estudio fue de la manera siguiente: El eje 1 con una varianza de 24.36 con un porcentaje explicativo de 56.7%, el eje 2 con una varianza de 8.6 y un porcentaje explicativo de 20.1% y el eje 3 con una varianza de 3.38 y un porcentaje explicativo de 7.9%, como se puede observar la varianza la explica sobre todo el eje 1 y el 2 es por esta razón que solo se analiza el eje 1.

En el circulo de correlación 1 en el eje horizontal las variables que mas se correlaciono fueron las lluvias útiles (U), en este caso se presento que entre mayor sea el valor de la lluvia útil será mas su peso significativo puesto que las U2 y U4 estuvieron mas serca al eje que la U18 y la U20. Las intensidades tienen la misma tendencia que las lluvias útiles, incluso la I240 no presento ningún peso significativo.

En el eje vertical los índices de humedad (Ik) se mostraron de que a mayor fuera su valor de alfa (α) mayor era su peso significativo, tomando una tendencia de mayor a menor, esto nos indica que en las parcelas se cuenta con un suelo que no retiene mucho la humedad puesto que cuenta con un alto porcentaje de cubierta vegetal y alto grado de pedregosidad.

(ACP) para las parcelas de 1m² y 10 m².

Para la parcela 6 (1m²) las variable que mas se correlaciono para el escurrimiento y la erosión fue la lluvia útil (U20).

Para la parcela 6 el eje 1 presento un 26.05 de varianza con un porciento explicativo de 57.9%, el eje 2 una varianza de 8.62 con un porciento explicativo de 19.2% y el eje 3 un 3.49 de varianza y porciento explicativo de 7.8%.

En el circulo de correlación, en el eje horizontal las variables que mas peso presentaron fueron las lluvias útiles (U), intensidad (I) y el escurrimiento (E), las lluvias útiles mostraron una tendencia de que a mayor valor, mayor es su peso significativo, puesto que las U2 y U4 tienen mas peso que la U18 y U20.

En el eje vertical el índice de humedad muestra una tendencia de que a mayor valor de alfa (α) mas peso significativo tiende a presentar, esto se debe, a que se cuenta con un grado significativo de cobertura vegetal y provoca mucha perdida de agua por evapotranspiración y con un alto porcentaje de piedra.

Para las parcelas de 10m² la varianza para el eje 1 fue de 30.55 con un porcentaje explicativo de 59.9%, para el eje 2 una varianza de 9.9 con un porcentaje explicativo de 19.6% y el tercer eje presento una varianza de 3.37 con un porcentaje explicativo de 6.6%, la variable que mas se correlacionaron para el escurrimiento (E) fue la intensidad (I30), para la erosión (S) la que mas se correlaciono fue el escurrimiento (E).

En el circulo de correlación, en el eje horizontal las variables mas significativas se presentan de igualmanera que las de la parcela 6, solamente se añade la variable de erosión.

6.1.4.- Análisis de regresión lineal múltiple (ARLM).

El ACP se realizó con el objetivo de conocer el comportamiento de las variables de acuerdo a su coeficiente de correlación y observar el peso significativo que presentaban para explicar el comportamiento del escurrimiento y la erosión, el ARLM se realizó a cada parcela para conocer las variables que mejor nos indicaran el comportamiento de los eventos ya mencionados (E y S), en algunas parcelas se encontraron variables con muy buena correlación pero en otras era lo contrario es por eso que se decidió que se manejara la mejor variable pero que lo fuera para todas las parcelas y el resultado que se encontró fue el siguiente:

Parcelas de 50 m².

Parcelas	Constante	U20 ³	I30 ³	R ²
E1	0.111887	0.00000102	0.000204	0.93
E2	0.09351	0.0000008309	0.000167	0.89
E3	0.07468	0.0000008701	0.000276	0.90
E4	0.041451	0.000001024	0.000155	0.95
E5	0.159754	0.000000954	0.000172	0.88

Parcelas	Constante	I30 ³	R ²
S1	0.138456	0.056083	0.84
S2	-0.454402	0.055731	0.90
S3	-19.261811	0.106568	0.82
S4	-2.27198	0.040533	0.53
S5	16.875528	0.0558	0.64

Parcelas de 10 m².

Parcelas	Constante	I30 ²	R ²
E7	0.020207	0.013306	0.53
E8	-0.080749	0.022254	0.90
E9	-0.112047	0.004389	0.88

Parcelas	Constante	U20 ³	R (Respectiva)	R ²
S7	-2.207645	0.000017	25.060563	0.99
S8	-4.424484	0.000099	29.7401153	0.99
S9	-6.068892	0.000125	31.151086	0.99

Parcela de 1 m².

Parcelas	Constante	U20 ³	I30 ³	R ²
E6	0.321078	0.00000155	0.000655	0.92
		E (escurrim)	I30 ³	R ²
S6	-3.174336	23.6522	0.010923	0.97

Para poder obtener una ecuación general para este sitio experimental, fue necesario realizar un análisis (ARLM) juntando todos los datos de las parcelas de 50 m² que fueron las que registraron mas eventos y fueron mas las parcelas en observación, de este análisis se obtuvo la siguiente ecuación (1) con un R² igual a 0.91:

$$E=0.096256+0.000000941*U20^3+0.000195*I30^3 \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

E= Escurrimiento en mm.

U20= Precipitación útil después de los 20 mm/hr en mm.

I30= Intensidad de la lluvia a 30 mm/hr.

Esta ecuacione solamente podrán ser utilizadas cuando el valor de I30 sea mayor que 0.40 mm/hr y menor que 19.60 mm/hr, que el valor de U20 sea mayor de 8 mm y menor que 167.0 mm.

En cuanto a la perdida de suelo la ecuación (2) que se encontró con un valor de la R² de 0.75 fue la siguiente:

$$S= -18.345638+4.009196*E+0.224823*I30^3 \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

S= Perdida de suelo en gr.

E= Escurrimiento en lts.

I30= Intensidad de la lluvia a 30 mm/hr.

Esta expresión solo podrá se utilizada si el valor de E es menor de 307.98 lts. y que el de el I30 sea mayor de 0.40 mm/hr y menor de 19.60 mm/hr.

6.1.5.- Transferencia de escala.

En la transferencia de escala que se realizó entre todas las parcelas y la micro cuenca la manga se llegó a la conclusión de que a mayor superficie analizada menor será su coeficiente de escurrimiento y a menor superficie analizada mayor coeficiente de escurrimiento tendrá (figura 12), esto se debe a que cuando se analiza una superficie grande el agua de lluvia tiene mas posibilidades de infiltrarse puesto que toparía con mas obstáculos e incluso con grietas en el suelo, se toparía con diferentes tipos de suelo, con rocas de grande dimensión y con mas vegetación.

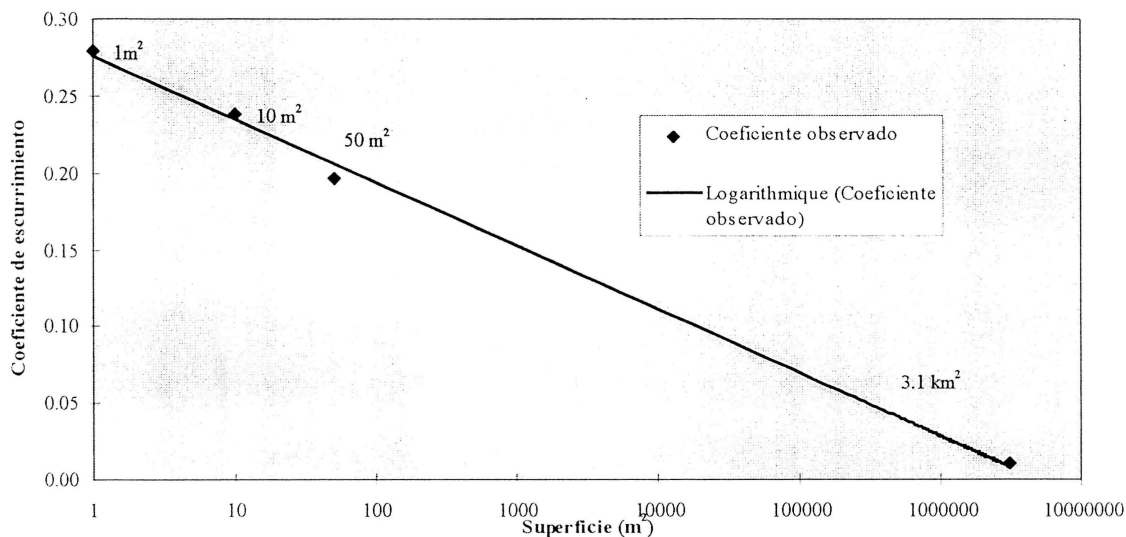


Figura 12 Comparación de los coeficientes de escurrimiento.

6.2.- El Aguaje de las Palomas.

En este sitio experimental a principio de temporada de lluvia (19 de junio al 7 de septiembre) se contaba con 5 parcelas de 50 m² y después se decidió instalar una parcela de 1 m² para así poder observar la diferencia en el comportamiento de las parcelas con diferente superficie.

La precipitación en este sitio durante la temporada de lluvia fue de 246.6 mm, en el mes de junio se presentaron 7 eventos de los cuales solamente 2 escurrieron, en el mes de julio que fue el mes mas lluvioso presentando 21 eventos de los cuales solamente 6 escurrieron, en agosto hubo 16 eventos de los cuales solamente 5 escurrieron y en septiembre solo se presento un escurrimiento, en la figura 13 se muestran solamente los días con precipitación.

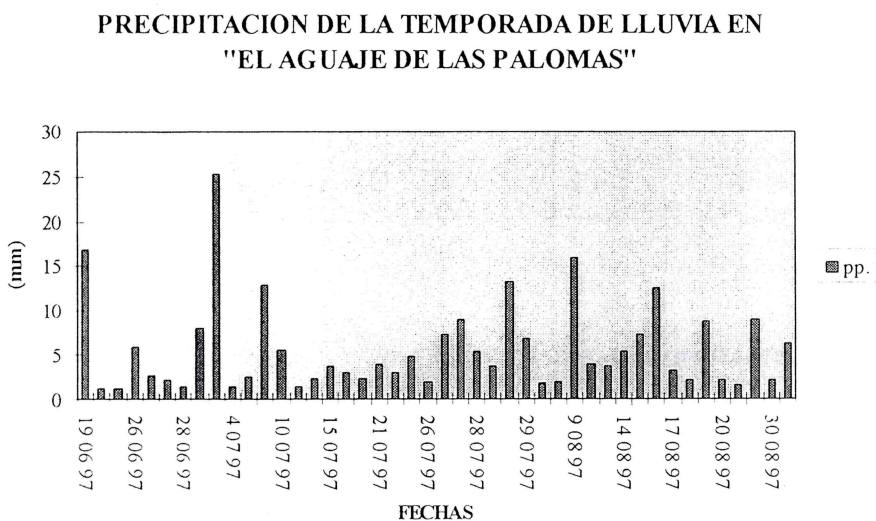


Figura 13.- Distribución temporal de la precipitación en el aguaje de las palomas.

Cuadro 2.- Comparación de los porcentajes de características superficiales y fisicoquímica (Gómez, 1997) de las parcelas.

Cobertura %	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5	Parcela 6
Superficie	53.63	49.02	49.91	51.22	60.30	1
Pendiente	16.56	17.80	31.44	34.3.2	23.29	17.8
Suelo Desnudo	20.34	4.92	3.93	5.69	1.04	0.56
Grava (< 2cm)	14.31	30.22	41.59	51.31	57.77	54.11
Piedra (> 2cm)	10.84	0.62	35.35	18.80	12.67	0.00
Pasto	54.51	64.24	19.13	24.20	28.52	45.33
Árbol	65.30	0.00	60.28	33.23	27.73	0.00
Arcilla	14.82	13.07	12.24	15.40	11.72	12.98
Limos Gruesos	7.70	6.08	5.67	5.65	6.33	6.12
Limos Finos	11.85	11.57	9.82	7.33	6.98	11.40
Arenas G.	39.85	55.81	57.48	53.50	56.30	55.81
Arenas F.	21.43	16.32	16.35	13.63	20.95	16.32
Carbón Total	2.74	2.20	1.15	2.23	1.46	2.20
Materia O.	4.73	3.79	1.98	3.85	2.52	3.79

6.2.1.- Escurrimiento.

La parcela numero 2 fue la que genero mas escurrimiento, puesto que su protección consiste en 64.24% de pasto, un porcentaje alto de grava mayor que 2 cm y un bajo porcentaje de piedra mayor de 2 cm (cuadro 2), y no cuenta con restricción animal. La parcela numero 5 fue la que mas escurrió de las cuatro restantes (figura 14) puesto que cuenta con un 27.73% de cobertura arbustiva y es la que cuenta con mayor por ciento de grava menor de 2 cm, la parcela 3, 4 y 1 a principio y fin de temporada presentaron escurrimientos muy similares y de estas la que menos escurrió fue la 4 apesar que cuenta con 33.23% de árbol y ser la que cuenta con la mayor pendiente (cuadro 2).

En este sitio se instaló una parcela de 1m^2 , con las mismas características de la que más escurrimiento registraba (parcela 2), registrando un mayor escurrimiento la parcela de 1m^2 , en lamina escurrida (figura 15) en este caso también se observó que a menor área observada es mayor su coeficiente de escurrimiento y viceversa.

6.2.2.- Erosión.

En este sitio la parcela que menos pérdida de suelo (erosión) presentó fue la número 1 a pesar que es la que tiene mayor porcentaje de suelo desnudo, esto se debió a que es la que tiene mayor cobertura de pasto 54.5%. (cuadro 2), la erosión total acumulada fue de 264.4 kg/ha. durante la temporada de observación. Las parcelas 3, 4 y 5 presentaron una erosión muy parecida durante toda la temporada ver figura 16, la parcela 2 fue la que presentó más pérdida de suelo su erosión total fue de 725.19 kg/ha esto se debió a que su mayor protección es por pasto (64.24), el cual tiene un serio sobrepastoreo y es la que tiene menor pendiente con respecto a las demás.

La parcela 6 (1m^2) registró una pérdida de suelo acumulada muy parecida a la de la parcela 2, teniendo una diferencia de 50 kg/ha de más la parcela 2 (figura 17), esto se debe a que aunque la parcela 6 es más chica tiene un coeficiente de escurrimiento mayor.

Comparación del escurrimiento en "El Aguaje de las Palomas"

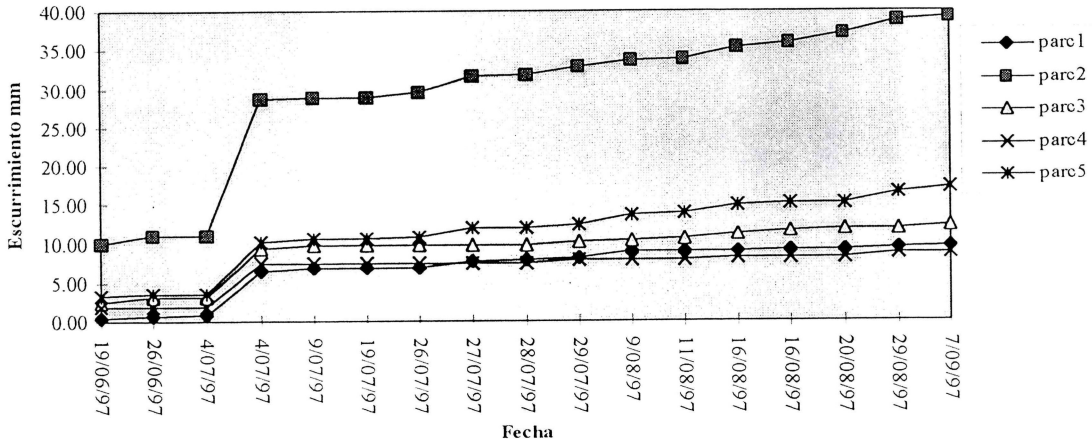


Figura 14.- Comparación del escurrimiento de las parcelas de 50m².

Comparación del escurrimiento en "El Aguaje de las Palomas"

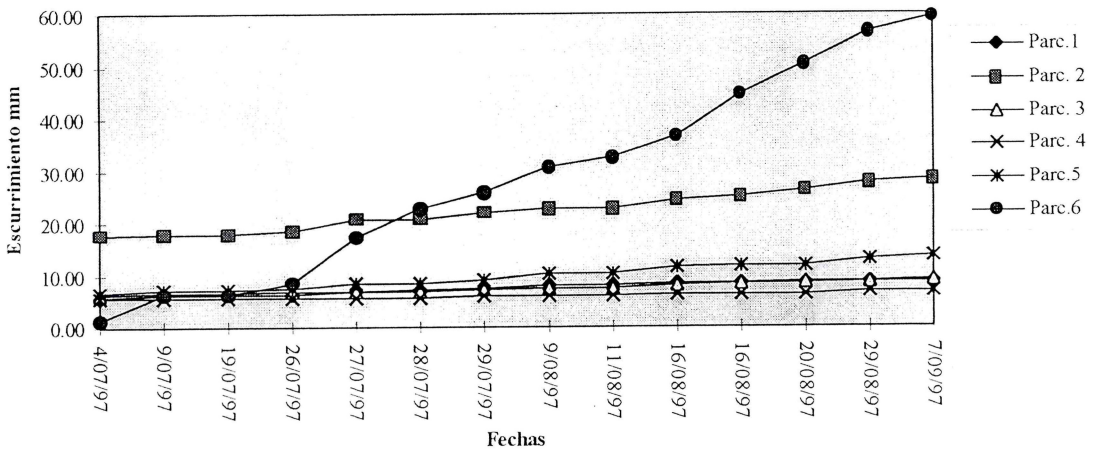


Figura 15.- Comparación del escurrimiento de las parcelas de 50 m² y la de 1 m².

Erosión en "El Aguaje de las Palomas"

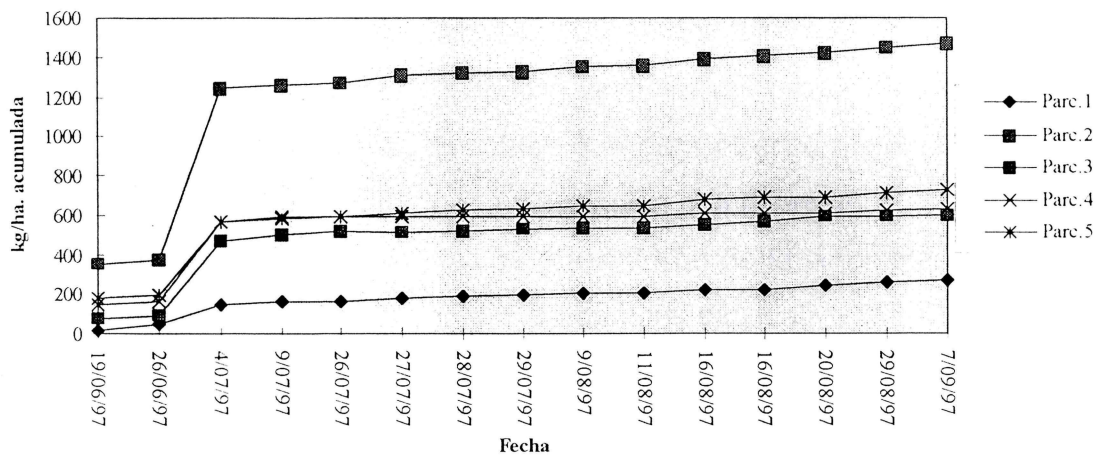


Figura 16.- Comparación de la erosión de las parcelas de 50m².

Erosión Aguaje de las Palomas

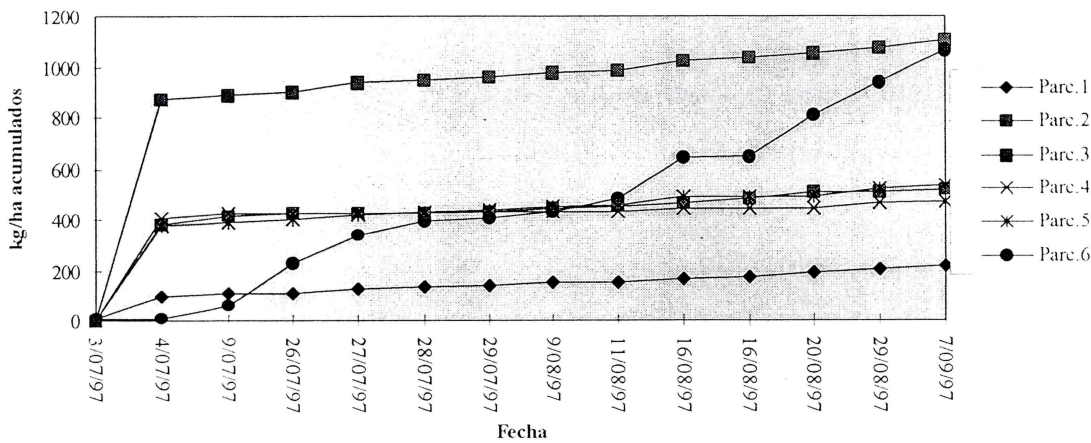


Figura 17.- Comparación de la erosión de las parcelas de 50 m² y la de 1 m².

6.2.3.- Análisis de Componentes Principales (ACP).

En la matriz de correlación para las parcelas de 50 m² las variables con mayor correlación para el escurrimiento (E), fueron la lluvia útil (U20) y la intensidad (I20), para la erosión fueron las mismas variables que para el escurrimiento solamente que también el escurrimiento presento buena correlación con la erosión.

Las varianzas de estas parcelas se presentaron de la siguiente manera, para el eje 1 la varianza fue de 26.16 con un porcentaje explicativo de 62.32%, el eje 2 solamente presento una varianza de 8.42 con un porcentaje explicativo de 20.1%, para el eje 3 la varianza fue de 3.32 con un porcentaje explicativo de 7.9%.

En el circulo de correlación las variables que mas correlación presentaron en el eje horizontal fueron el escurrimiento, la erosión, las lluvias útiles todas estuvieron muy serca del eje, de las intensidades las mas chicas (I10,I30 e I20) fueron las que estuvieron muy serca del eje. En el eje vertical se correlacionaron solamente los índices de humedad y al igual que en la manga los que tenían los valores mas altos de alfa (α)fueron los que presetaron mayor peso significativo.

En la matriz de correlación para la parcela de 1 m² las variables que mas se correlacionaron para el escurrimiento (E) fueron la lluvia útil (U2) y la intensidad (I120), para la erosión la fue el escurrimiento (E) y la intensidad (I5).

La varianza en el eje 12 fue de 26.06 con un porcentaje explicativo de 59.2%, para el eje 2 la varianza fue de 8.6 con un porcentaje explicativo de 19.7 y para el eje 3 su varianza fue de 4.64 con un porcentaje explicativo de 10.6%.

En el circulo de correlación el comportamiento de las variables fue muy parecido al de las variables del ACP que se realizo solamente para las parcelas de 50 m².

6.2.4.- Análisis de Regresión Lineal Múltiple (ARLM).

En este sitio al igual que en la manga se realizó un (ARLM) para conocer el resultado que nos indicara el comportamiento del escurrimiento y de la erosión, los resultados fueron los siguientes:

Parcelas	Constantes	U20 ³	I20	R ²
E1	0.038991	0.0000001048	0.005855	0.78
E2	-0.493712	0.000000755	0.130438	0.94
E3	-0.093338	0.000000339	0.028503	0.97
E4	-0.075803	0.000000342	0.016013	0.98
E5	-0.125938	0.000000253	0.051816	0.92

Parcelas	Constantes	I20 ³	R (correspo.)	R ²
S1	2.060962	0.000138	27.862358	0.85
S2	-0.723294	0.002379	15.654953	0.99
S3	1.51406	0.00144	1.013206	0.96
S4	0.48854	5.07613	0.001527	0.99
S5	-0.233199	21.459953	0.000981	0.99

Parcela	Constante	I20*pp.		R ²
R6	0.448441	0.008285		0.62
Parcela	Constante	I5	R6	R ²
S6	-7.598865	1.300614	11.299883	0.46

Para poder tener una ecuación general (3) se procedió a realizar un (ARLM) con las variables de todas las parcelas de 50 m², y a la ecuación que se llegó fue la siguiente.

$$E^{1/2} = -0.151595 + 0.032852 * I_{20} + 0.002182 * PP \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

E= Escurrimiento en mm.

I₂₀= Intensidad de la lluvia 20 mm/hr.

PP= Precipitación total mm.

Esta ecuación solamente podrá ser utilizada si el valor de la intensidad (I₂₀) sea mayor de 0.60 mm/hr y menor de 63.0 mm/hr y que el valor de la precipitación no sea mayor a 29 mm.

Para estimar la pérdida de suelo se encontró la siguiente ecuación (4):

$$S = -7.278765 + 44.968816 * E + 0.754417 * I_{20} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

S= Pérdida de suelo en gr.

R= Escurrimiento en lts.

I₂₀= Intensidad de la lluvia mm/hr.

Esta ecuación solamente podrá ser utilizada si el valor de escurrimiento es menor que 862.85 lts. y que la intensidad de la lluvia sea mayor que 0.60 mm/hr y menor de 63.0 mm/hr.

En la comparación de los resultados reales obtenidos para las parcelas que más escurrimiento presentaron y los calculados para estas mismas se llegó a la conclusión de que es más confiable la ecuación que se encontró para las parcelas individualmente que la general, esto se observa mejor en las figuras 18, 19, 20 y 21 pero por esto las dos ecuaciones no dejan de ser confiables para su aplicación en la estimación del escurrimiento y de la erosión.

Comparación del escurrimiento real y del calculado

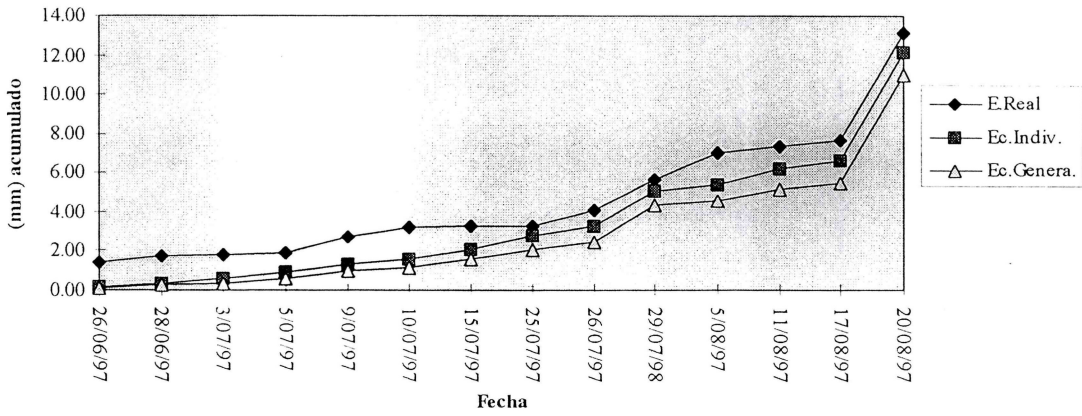


Figura 18:- Comparación del escurrimiento real y del calculado con la ecuación individual y la general para la parcela que mas escurrió en la manga (Parc.5).

Comparación de la erosión real y de la calculada

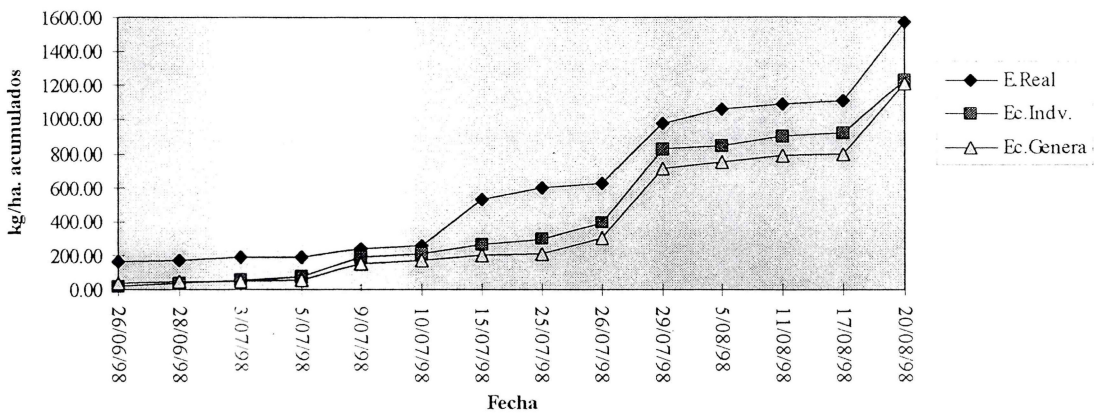


Figura 19.- Comparación de la erosión real y de la calculada con las ecuación individual y la general para la parcela que mas erosión presento en la manga (Parc.5)

COMPARACIÓN DEL ESCURRIMIENTO REAL Y DEL CALCULADO

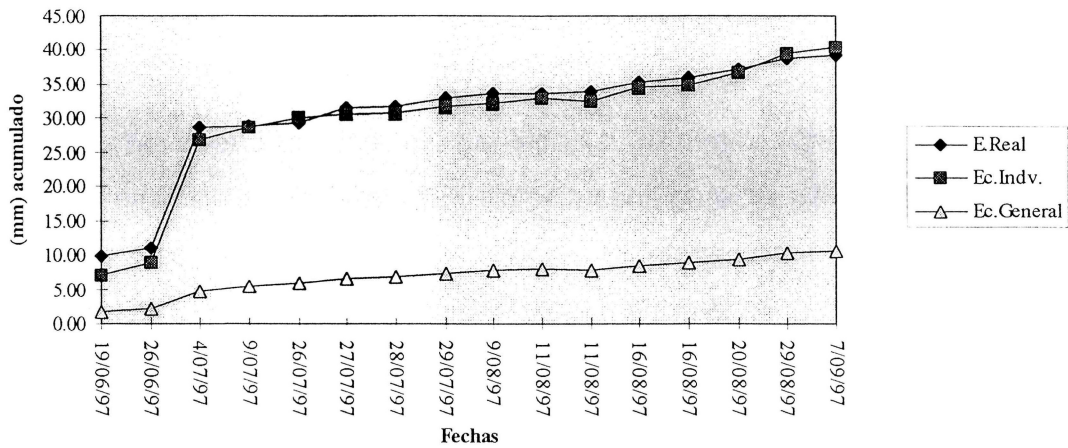


Figura 20.- Comparación del escurrimiento real y del calculado con la ecuación individual y la general para la parcela que mas escurrió en el aguaje de las palomas (Parc. 2)

Comparación de la erosión real y de la calculada

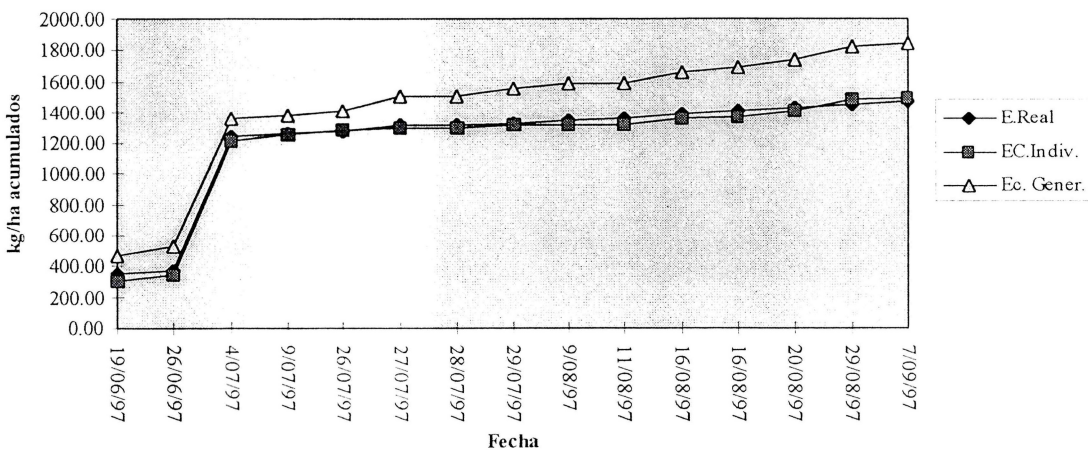


Figura 21.- Comparación de la erosión real y de la calculada con la ecuación individual y la general para la parcela que mas erosiono (Parc. 2).

8.- CONCLUSIONES.

Basándonos en los resultados que se obtuvieron para sitios con las mismas características que las de la manga para estimar el escurrimiento y la erosión solamente es necesario conocer la intensidad a 30 mm/hr (I30), la lluvia útil a 20 mm (U20) y de el mismo escurrimiento (E). En sitios con características como las del aguaje de las palomas es necesario conocer la intensidad a 20 mm/hr (I20), la lluvia útil a 20 mm (U20) y de igual manera que en la manga el escurrimiento (E).

Por consiguiente y comparando las características físicas de cada parcela se llevo a la conclusión de que la topografía, en sitios con las mismas características que las de la manga y del aguaje de las palomas no funge un peso significativo en el proceso del escurrimiento.

Con respecto a la trasferencia de escala se llevo a la conclusión de que a mayor área menor coeficiente de escurrimiento se tiene, esto se debe a que en el terreno se pueden tener mas perdidas por infiltración puesto que el agua pasa por diferentes tipos de suelos, puede toparse con grietas, el agua se topa con mas obstáculos en su camino lo cual desfavorece al escurrimiento.

LITERATURA CITADA

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DEL SUELO Y DEL AGUA, (SARH) COLEGIO DE POSTGRADUADOS (CHAPINGO, MÉXICO) (1982) Manual de conservación del suelo y del agua (instructivo). 2a. edición. México.

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DEL SUELO Y DEL AGUA, (SARH) COLEGIO DE POSTGRADUADOS (CHAPINGO, MÉXICO) (1991) Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión; México.

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CONAPRED); SECRETARIA DE GOBERNACIÓN (SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL) (1994) EROSIÓN. MÉXICO, D.F.

M. J. KIRKBY, R. P. C. MORGAN (1984) Erosión de suelos. 1a. edición. editorial CECSA, 3a impresión; México, D.F.

O. SCHWAB GLENN, K. FREVERT RICHARD, W. EDMINSTER TALCOTT, K. BARNES KENNETH (1990) Ingeniería de conservación de suelos y aguas, 1a. edición. editorial LIMUSA México.

CARTAS TOPOGRÁFICAS 1981. G13C18 Santa María del Oro, G13C27 Ciénaga de Escobar, G13C28 Ignacio Manuel Altamirano y G13C37 Tepehuanes, Escala 1:50000. Dirección General de Geografía. INEGI. México.

CARTA GEOLÓGICA (1988) G13-8, Santiago Papasquiaro. Escala 1:250000, Dirección General de Geografía. INEGI. Méxco.

PROYECTO CENID-RASPA. ORSTOM (1994). Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. México.

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (1981). Manual de diseño de obras civiles (Hidrotecnia, precipitación), México, D.F.

EDMUNDO TORRES RUIZ (1981), Manual de conservación de suelos agrícolas. editorial Diana, México.

L.D. BAVER et al (1973), Física de suelos. editado por U.T.E.H.A.

ALBERTO B. FOSTER (1967), Metodos aprobados en conservación de suelos. editorial Trillas, México 1979.

ALEJANDRO GÓMEZ VILLEGAS (1997), Evaluación del escurrimiento y la erosión hidrica en la subcuenca sardinas de la región hidrológica 36. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agronomo en Irrigación, Torreón Coahuila, México.

M A N G A			P A R C E L A S												P R E C I P I T A C I O N E S U T I L E S																
			Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		Parcela 4		Parcela 5		Parcela 6		Parcela 7		Parcela 8		Parcela 9												
EVENT	FECHA	pp.1/10 m	Esc.	Sed	Esc.	Sed.	Esc.	Sed	Esc.	Sed.	Esc.	Sed.	Esc.	Sed.	Esc.	Sed.	Esc.	Sed	Esc.	Sed	u2	u4	u6	u8	u10	u12	u14	u16	u18	u20	i0
1	17-jun	11.00																			9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	26-jun	10.00	1.37	14.46	1.45	15.54	1.47	22.15	0.90	10.89	1.36	161.82									10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	28-jun	39.00	0.19	5.44	0.22	5.67	0.17	4.55	0.05	1.72	0.33	12.62	0.35	10.01							37.00	34.00	34.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	
4	3-jul	99.00									0.11	10.43									85.00	80.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	21.00	21.00	
5	4-jul	36.00																			24.00	15.00	9.00	9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	5-jul	35.00	0.07	2.20			0.02	1.23			0.10	2.72	0.12	6.40							33.00	29.00	29.00	29.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	11.00	
7	9-jul	102.00	0.70	95.09	0.31	151.92	0.38	30.88			0.75	53.34	2.00	56.00							99.00	67.00	63.00	54.00	44.00	44.00	44.00	44.00	27.00	27.00	
8	10-jul	61.00	0.48	4.78	0.08	4.10	0.55	9.40	0.18	5.23	0.50	15.45	0.58	20.01							61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	28.00	28.00	
9	13-jul	21.00																			21.00	17.00	17.00	17.00	17.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
10	15-jul	91.00	0.17	10.95			0.04	16.87			0.11	273.90	1.00	37.00							91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	47.00	
11	18-jul	40.00																			17.00	14.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	21-jul	15.00																			14.00	9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	24-jul	10.00																			10.00	3.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
14	25-jul	64.00	0.19	24.85			0.04	6.95	0.02	65.78	0.77	17.94	0.13	1.38	0.20	3.40	0.70	11.20			63.00	63.00	57.00	57.00	57.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	
15	26-jul	107.00	0.60	21.74	0.49	27.13	0.27	14.39	0.31	14.34	0.80	31.76	2.00	34.00	0.60	4.86	2.80	47.60	8.00	144.00	83.00	76.00	76.00	76.00	65.00	65.00	56.00	56.00	56.00	29.00	
16	27-jul	176.00									1.00	3.70	0.80	1.28	0.40	2.76	1.90	9.50			161.00	115.00	45.00	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
17	29-jul	110.00	1.76	327.55	1.53	446.15	2.47	1031.30	1.49	146.25	1.55	342.91	5.00	195.00	2.50	72.50	7.30	248.20	40.00	1280.00	110.00	98.00	94.00	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00	55.00	
18	5-ago	50.00	0.14	23.65	0.61	113.98	0.91	39.49	0.74	39.54	1.35	92.52	1.80	48.60	2.00	66.00	2.60	101.40			50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	
19	6-ago	17.00																			16.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	9-ago	114.00																			93.00	57.00	24.00	14.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
21	11-ago	42.00																			40.00	32.00	32.00	17.00	17.00	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
22	11-ago	47.00	0.42	19.57	0.34	8.82			0.30	6.72	0.36	27.10	2.80	30.80	1.10	19.80	1.50	14.25	2.00	116.00	46.00	46.00	42.00	42.00	42.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	
23	14-ago	91.00	0.12	18.33							2.00	60.00	0.40	8.80	1.00	29.00	1.20	24.00			78.00	71.00	64.00	64.00	57.00	57.00	57.00	57.00	57.00	36.00	
24	17-ago	44.00	0.50	53.27	0.52	15.45	0.27	15.19			0.29	18.83	1.10	22.00	0.50	7.50	0.70	26.60	1.10	52.80	44.00	23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	20-ago	182.00	5.98	454.32	4.84	262.92	5.57	273.76	5.62	474.99	5.49	463.72	11.00	330.00	8.00	280.00	8.40	705.60	12.60	970.20	178.00	178.00	178.00	167.00	167.00	167.00	167.00	167.00	167.00	167.00	
26	28-ago	16.00																			16.00	16.00	16.00	9.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
27	30-ago	20.00																			20.00	20.00	7.00	7.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
28	4-sep	15.00																			15.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
29	6-sep	28.00																			26.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	7-sep	18.00																			15.00	12.00	12.00	9.00	9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Parcela 9		P R E C I P I T A C I O N E S U T I L E S m										I N T E N C I D A D E S										I N D I C E S D E H U M E D A D									
sc	Sed	u2	u4	u6	u8	u10	u12	u14	u16	u18	u20	i0	i1	i5	i10	i15	i20	i30	i60	i120	i180	i240	ik1	ik2	ik3	ik4	ik5	ik6	ik7	ik8	ik9
		9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	1.50	1.20	0.80	0.60	0.40	0.20	0.10	0.10	0.10	0.60	0.18	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.21	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
		37.00	34.00	34.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	7.50	7.50	6.00	4.10	3.20	2.30	2.00	1.00	0.50	0.30	0.30	1.41	0.84	0.62	0.49	0.40	0.33	0.27	0.23	0.19
		85.00	80.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	21.00	21.00	16.80	16.80	16.80	8.40	6.00	5.00	4.80	4.40	3.00	2.60	2.00	3.15	1.67	0.94	0.54	0.32	0.18	0.11	0.06	0.04
		24.00	15.00	9.00	9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.80	10.80	10.80	7.40	6.00	4.60	3.20	1.70	0.90	0.00	0.00	12.64	10.57	9.34	8.47	7.79	7.23	6.75	6.32	5.92
		33.00	29.00	29.00	29.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	11.00	33.00	33.00	13.20	8.40	6.20	4.90	4.40	3.10	1.50	1.10	0.80	15.17	12.20	10.27	8.85	7.72	6.79	6.01	5.34	4.76
		99.00	67.00	63.00	54.00	44.00	44.00	44.00	44.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	23.00	17.60	14.40	11.80	6.50	4.60	3.10	2.30	12.47	6.97	4.07	2.42	1.46	0.89	0.55	0.34	0.21
		61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	61.00	28.00	28.00	30.50	30.50	24.40	12.20	8.10	6.10	4.10	2.00	1.10	0.70	0.60	20.93	14.63	11.22	9.16	7.82	6.86	6.14	5.55	5.06
		21.00	17.00	17.00	17.00	17.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	10.80	10.80	10.80	5.60	5.20	3.90	2.60	1.30	0.60	0.40	0.30	20.32	11.72	7.36	4.88	3.34	2.34	1.66	1.19	0.86
		91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	91.00	47.00	47.00	19.20	19.20	19.20	18.90	17.60	13.20	8.80	4.40	2.20	1.50	0.00	18.45	9.36	5.27	3.20	2.05	1.38	0.96	0.69	0.51
		17.00	14.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	4.50	4.30	3.60	2.40	2.00	2.30	1.50	1.60	1.10	0.00	20.01	9.74	5.51	3.43	2.26	1.54	1.08	0.76	0.54
		14.00	9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	3.80	3.80	3.00	2.00	1.50	1.00	0.60	0.30	0.20	0.20	20.17	9.46	5.36	3.40	2.31	1.63	1.18	0.88	0.66
		10.00	3.00	3.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	3.50	3.50	3.50	2.80	2.10	1.40	0.70	0.30	0.20	0.20	15.84	5.85	2.68	1.40	0.79	0.48	0.30	0.19	0.13
0.70	11.20	63.00	63.00	57.00	57.00	57.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	24.10	24.10	18.80	14.90	10.60	7.90	5.80	2.90	1.40	1.00	0.70	15.20	5.58	2.70	1.59	1.08	0.80	0.63	0.53	0.45
8.00	144.00	83.00	76.00	76.00	76.00	65.00	65.00	56.00	56.00	56.00	29.00	43.50	43.50	34.80	20.50	22.40	17.40	11.40	5.80	3.30	2.20	0.80	19.78	10.04	6.97	5.59	4.77	4.19	3.73	3.35	3.02
1.90	9.50	161.00	115.00	45.00	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.80	8.80	8.80	8.80	8.40	7.80	6.70	5.70	3.90	2.80	2.20	27.98	17.49	13.69	11.60	10.12	8.95	7.97	7.13	6.40
40.00	1280.00	110.00	98.00	94.00	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00	55.00	47.10	47.10	47.10	34.40	27.30	25.20	19.60	10.50	5.40	3.60	2.70	41.34	27.68	21.31	17.12	13.99	11.53	9.56	7.96	6.65
2.60	101.40	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.40	20.40	20.40	9.10	6.10	4.60	3.10	1.70	0.90	0.00	0.00	28.10	11.12	4.97	2.32	1.10	0.53	0.26	0.13	0.06
		16.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	3.80	3.20	2.50	1.90	1.40	0.70	0.00	0.00	33.13	16.16	10.02	7.37	6.14	5.56	5.27	5.12	5.03
		93.00	57.00	24.00	14.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	9.00	8.40	5.60	5.60	5.10	3.90	3.30	3.30	2.80	23.31	8.12	3.71	2.02	1.23	0.80	0.54	0.37	0.26
		40.00	32.00	32.00	17.00	17.00	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.80	12.80	12.80	10.80	8.00	7.10	5.00	2.60	1.30	0.00	0.00	31.59	16.13	11.30	9.06	7.68	6.68	5.89	5.23	4.66
2.00	116.00	46.00	46.00	42.00	42.00	42.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	21.90	17.20	12.90	8.40	4.20	0.00	0.00	0.00	33.03	17.30	12.16	9.58	7.91	6.67	5.70	4.90	4.24
1.20	24.00	78.00	71.00	64.00	64.00	57.00	57.00	57.00	57.00	57.00	36.00	36.00	36.00	36.00	21.70	16.00	12.10	8.20	4.30	3.50	2.40	1.90	28.97	12.96	7.62	4.95	3.35	2.31	1.62	1.15	0.82
1.10	52.80	44.00	23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	3.70	1.90	1.30	0.90	31.20	14.76	9.10	6.21	4.46	3.32	2.52	1.95	1.53
12.60	970.20	178.00	178.00	178.00	167.00	167.00	167.00	167.00	167.00	167.00	167.00	32.70	32.70	32.70	32.70	26.00	21.30	17.40	9.40	4.80	3.20	0.00	24.86	9.34	4.60	2.52	1.47	0.89	0.56	0.36	0.23
		16.00	16.00	16.00	9.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	8.00	6.00	6.60	4.00	3.30	2.20	1.00	0.70	0.50	0.30	21.18	6.82	2.94	1.45	0.77	0.44	0.26	0.16	0.10
		20.00	20.00	7.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	3.90	2.50	1.40	0.70	0.50	0.30	19.42	6.17	2.88	1.68	1.13	0.83	0.65	0.52	0.42
		15.00	15.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.08	3.05	1.12	0.51	0.27	0.15	0.08	0.05	0.03
		26.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.90	10.90	10.90	10.90	8.00	7.20	4.80	2.80	1.40	0.90	0.70	11.88	3.03	1.42	0.89	0.64	0.48	0.38	0.30	0.24
		15.00	12.00	12.00	9.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.50	13.50	10.80	7.20	4.80	3.60	2.80	1.60	0.90	0.60	0.40	13.90	5.25	3.60	2.96	2.58	2.31	2.09	1.91	1.75

mm	I N T E N C I D A D E S												I N D I C E S D E H U M E D A D								
	i0	i1	i5	i10	i15	i20	i30	i60	i120	i180	i240	ik1	ik2	ik3	ik4	ik5	ik6	ik7	ik8	ik9	
136.00	63.00	63.00	63.00	50.10	54.40	43.20	31.60	16.70	8.40	5.60	0.00	1.68	1.11	0.85	0.69	0.58	0.48	0.40	0.34	0.28	
0.00	4.00	4.00	4.00	3.60	2.40	2.30	1.80	1.40	0.80	0.50	0.40	16.20	13.70	11.79	10.19	8.83	7.66	6.65	5.78	5.03	
0.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	0.50	0.30	0.20	0.10	11.18	5.97	3.25	1.78	0.98	0.54	0.30	0.17	0.09	
46.00	55.20	55.20	55.20	24.70	22.80	16.80	11.20	5.60	0.00	0.00	0.00	11.38	6.06	3.46	2.13	1.43	1.05	0.83	0.70	0.61	
0.00	8.40	8.40	8.40	4.30	2.90	2.20	1.90	1.80	1.10	0.90	0.70	17.26	11.86	9.21	7.83	7.08	6.63	6.35	6.15	5.99	
0.00	2.60	2.60	2.60	2.60	2.50	2.50	2.20	1.60	1.00	0.90	0.90	18.35	12.12	8.95	7.14	5.96	5.12	4.46	3.92	3.45	
0.00	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	5.70	4.90	3.10	2.20	1.70	13.16	5.50	2.56	1.27	0.66	0.35	0.19	0.10	0.05	
239.00	111.00	111.00	74.60	75.00	58.90	63.00	43.60	22.30	1.30	0.90	0.70	20.41	12.42	9.24	7.69	6.79	6.18	5.72	5.33	5.00	
65.00	39.00	39.00	33.40	24.70	18.00	17.50	15.70	8.90	5.60	4.20	3.20	31.79	16.64	9.56	5.70	3.45	2.10	1.29	0.79	0.49	
34.00	7.00	7.00	7.00	4.20	2.80	2.10	2.20	1.80	1.00	0.70	0.50	41.58	25.52	18.01	13.84	11.29	9.61	8.43	7.54	6.83	
15.00	4.30	4.30	4.30	4.30	4.00	3.30	2.40	1.90	1.00	0.70	0.50	35.43	17.57	10.02	6.20	4.05	2.74	1.90	1.34	0.95	
0.00	15.00	15.00	6.40	3.90	3.70	3.20	2.80	1.40	0.70	0.50	0.30	32.90	15.03	8.17	4.99	3.30	2.32	1.71	1.30	1.02	
0.00	13.50	13.50	10.80	5.40	4.80	3.60	2.40	1.40	1.40	1.00	0.30	26.62	9.91	4.57	2.43	1.43	0.89	0.58	0.39	0.27	
27.00	12.00	12.00	12.00	7.20	4.80	3.60	2.40	1.20	0.60	0.40	0.30	25.08	9.41	4.81	2.96	2.02	1.45	1.07	0.81	0.62	
0.00	10.00	10.00	7.70	5.80	6.00	4.60	3.20	2.40	1.40	0.90	0.70	19.01	5.72	2.46	1.27	0.72	0.43	0.26	0.16	0.10	
33.00	49.50	49.50	39.60	23.30	18.80	14.10	9.80	4.90	0.90	0.60	0.40	25.26	12.40	9.21	7.95	7.26	6.81	6.48	6.21	5.99	
0.00	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.50	5.90	4.30	2.90	2.30	25.15	12.24	8.79	7.20	6.18	5.42	4.81	4.30	3.86	
0.00	7.00	7.00	7.00	6.30	5.70	4.70	4.20	3.30	2.80	2.20	2.40	45.09	30.89	26.06	23.14	20.91	19.04	17.42	15.99	14.72	
21.00	36.00	36.00	19.60	14.40	12.20	11.20	9.40	5.40	2.90	1.90	1.50	58.41	42.33	35.74	31.30	27.77	24.81	22.27	20.07	18.14	
0.00	9.80	9.80	9.80	7.80	4.90	3.70	2.60	1.40	0.70	0.50	0.30	53.15	32.50	22.82	16.57	12.19	9.04	6.74	5.05	3.80	
0.00	3.40	3.40	3.40	3.40	3.20	2.40	1.80	1.10	0.70	0.50	0.30	27.93	8.86	3.23	1.23	0.47	0.19	0.07	0.03	0.01	
0.00	13.30	13.30	13.30	12.50	10.10	8.10	5.80	4.60	4.60	3.70	3.00	26.74	9.14	4.47	2.86	2.17	1.80	1.55	1.35	1.19	
0.00	12.00	12.00	12.00	10.00	8.50	8.00	5.80	4.00	2.00	1.40	1.00	38.91	20.82	15.38	12.86	11.23	9.97	8.91	7.99	7.17	
35.00	1.50	1.50	1.50	1.20	0.80	0.60	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	40.04	21.52	15.57	12.51	10.44	8.85	7.55	6.47	5.57	
0.00	14.40	14.40	14.40	9.20	7.20	5.10	3.50	2.60	1.90	1.50	1.30	33.52	14.81	8.67	5.59	3.74	2.54	1.75	1.21	0.84	
49.00	42.00	42.00	42.00	29.40	25.60	19.00	14.00	7.00	3.70	0.00	0.00	32.83	14.37	8.42	5.54	3.87	2.83	2.13	1.66	1.31	
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	6.40	6.70	6.40	5.60	5.40	4.10	3.10	39.55	21.01	14.97	11.98	10.21	9.05	8.24	7.63	7.16	
10.00	20.00	20.00	14.10	9.70	7.50	7.00	5.00	2.50	0.60	0.40	0.00	48.02	28.47	21.48	17.61	15.02	13.10	11.59	10.35	9.29	
42.00	37.50	37.50	30.40	20.80	19.60	17.00	14.20	7.40	3.70	2.50	0.00	40.84	19.80	12.01	7.86	5.34	3.70	2.60	1.84	1.31	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.30	13.50	6.69	3.64	2.09	1.25	0.77	0.48	0.31	
75.00	24.50	24.50	24.50	24.50	21.80	22.50	16.60	8.50	0.00	0.00	0.00	22.02	5.68	1.92	0.75	0.32	0.15	0.08	0.04	0.02	
0.00	14.40	14.40	14.40	6.10	6.80	4.90	3.80	1.90	0.90	0.00	0.00	28.15	12.10	8.16	6.62	5.74	5.12	4.61	4.17	3.77	
29.00	34.80	34.80	34.80	18.30	14.40	11.20	8.80	4.40	2.50	1.70	1.30	14.47	3.26	1.12	0.44	0.19	0.08	0.03	0.01	0.01	