



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

**POSGRADO EN INGENIERIA AGRÍCOLA Y
USO INTEGRAL DEL AGUA**

**ESTUDIO DE LA EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO LOS SISTEMAS
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PERCEPCIÓN REMOTA
(CASO CUENCA ORIENTE DEL EX-LAGO DE TEXCOCO)**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA
AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

P R E S E N T A :

CHAPINGO, MÉXICO, AGOSTO DE 2007



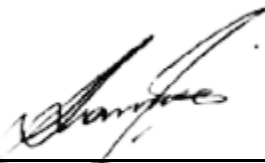
ESTUDIO DE LA EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PERCEPCIÓN REMOTA (CASO DE LA CUENCA ORIENTE DEL EX-LAGO DE TEXCOCO)

Tesis realizada por Norberto Zavala Frutero, bajo la dirección del Dr. Lamine Diakite D., aprobada y aceptada por el Comité Asesor indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERIA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

COMITÉ ASESOR:

DIRECTOR:



Dr. Lamine Diakite Diakite

ASESOR:



Dr. Mario Alberto Vázquez Peña

ASESOR:



Dr. Mauricio Carrillo García

Chapingo, México, Agosto de 2007

DEDICATORIA

A mis padres **DAVID Y GUADALUPE** con mucho cariño y respeto por todo su apoyo y confianza incondicional para lograr esta nueva meta. **GRACIAS** desde lo mas hondo de mi corazón.

A mi hermano Alfonso y a su esposa Carmen por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y por darme fuerzas en los momentos difíciles para poder lograr este nuevo reto, **MIL GRACIAS**.

A mi sobrino Brayan por llenar mi corazón de alegría con sus juegos y risas y por compartir conmigo este logro más.

A Maria Elena por todo ese cariño que siempre tuvo para mi, mil gracias corazón.

A mis grandes amigas Sandra, Carmen, Dulce y Alba por todo su cariño y apoyo durante mi estancia en la Universidad Autónoma Chapingo, nunca las olvidare bonitas.

A todos mis compañeros del Posgrado a Rutilo, Humberto, Francisco, Bonifacio, Grisdolí, Agustín, Alejandro, Wilder y muy en especial a Juan y a su esposa Miriam por todo su apoyo incondicional y sobre todo por su amistad.

A una persona muy especial a la Srta. Maria de la Luz, gracias por el apoyo, por tanto cariño y amistad brindada durante todo este tiempo.

A Rosa María y Maira por todo el apoyo y amistad brindada para la realización de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua por permitirme realizar mis estudios de maestría y por permitirme ser parte de su comunidad estudiantil.

Al Dr. Lamine Diakite Diakite, por sus apoyos y consejos y por compartir sus conocimientos y experiencias profesionales de una manera desinteresada para la realización de esta investigación.

Al Dr. Mario Alberto Vázquez Peña por todos sus conocimientos compartidos y por sus valiosas correcciones realizadas al presente trabajo y por su disposición para la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Mauricio Carrillo García por formar parte del presente trabajo en calidad de asesor, cuyas valiosas sugerencias y correcciones enriquecieron la investigación.

A todos los profesores del Posgrado de Ingeniería Agrícola con los cuales tuve el privilegio de tomar cursos por compartir sus conocimientos de manera desinteresada, GRACIAS.

A todos mis compañeros del Posgrado de IAUIA, por su apoyo y amistad durante la realización de este trabajo.

A todas las personas que directamente o indirectamente participaron en este trabajo mis más grandes agradecimientos y amistad incondicional.

DATOS BIBLIOGRAFICOS

Norberto Zavala Frutero, nació el 06 de Junio de 1976, en la ciudad de México, inicio sus estudios de bachillerato en la “Preparatoria Oficial Basilio Cantabrana” en el municipio de Chiconcuac, Estado de México.

Ingresa en el año de 1994 al Instituto Politécnico Nacional de la Ciudad de México en donde cursa la carrera de Ing. Topógrafo y Fotogrametrista, egresando en el año 1998, para posteriormente realizar su trabajo de tesis titulado “La Nueva Red Geodesica para la Republica Mexicana” bajo la dirección del Ing. Francisco Javier Escamilla López, titulándose en el año 2000.

A partir del año 2000 trabajo en diferentes empresas privadas realizando trabajos de topografía, sobresaliendo la construcción de la “Planta de Remoción de Manganeso” de la Comisión Nacional de Agua y la construcción de la carretera Tlapa – Marquelia en el estado de Guerrero de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes de Guerrero.

En Agosto de 2004, ingresa al Programa de Maestría del Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua de la Universidad Autónoma Chapingo, titulándose en Agosto de 2007.

ESTUDIO DE LA EROSIÓN HÍDRICA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PERCEPCIÓN REMOTA (CASO DE LA CUENCA ORIENTE DEL EX-LAGO DE TEXCOCO)

Norberto **Zavala Frutero**¹ y Dr. Lamine **Diakite Diakite**²

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y la Percepción Remota fueron usados para determinar los factores de la erosión hídrica y calcular sus índices, mediante el uso de los modelos de elevación digital, las imágenes satelitales de alta y mediana resolución SPOT 5 proporcionadas por la Estación de Recepción México de la Constelación Spot (ERMEXS), y los modelos de producción de sedimentos tales como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés) y sus modificaciones para las cuencas hidrológicas pequeñas y grandes. El presente trabajo permitió generar bases de datos geográficas completos para la caracterización de las ocho subcuencas principales que componen la cuenca oriente del ex-lago de Texcoco y calcular sus índices de pérdida de suelos bajo las condiciones actuales, así como evaluar el impacto de las prácticas de conservación de suelo realizadas en algunas de las subcuencas estudiadas.

Palabras clave: Erosión, Sistemas de Información Geográfica, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

1 Tesista

2 Director de Tesis

**WATER EROSION STUDY USING GEOGRAPHICAL INFORMATION
SYSTEM AND REMOTE SENSING
(CASE STUDY OF EAST EX-LAKE OF THE TEXCOCO WATERSHED)**

ABSTRACT

The Geographic Information System and the remote sensing were used to study water erosion factors and to calculate potential soil loss. The digital elevation model, DEM, the high and mid-high resolution satellite images from SPOT 5 which were provided by the Station of Mexico Reception of Constellation Spot (ERMEXS) were used. Also used were sediment production models such as the Universal Soil Loss Equations (USLE) and its modifications to fit the small and large watersheds. A very complete geographical database was generated, enabling the characterization of the eight main subbasins that integrate the eastern watershed of the former Lake Texcoco and calculation of the amount of soil loss under actual environmental conditions, necessary elements for assessing the impact of soil conservation practices made over the studied subbasins.

Keywords: Erosion, Geographical Information Systems, Universal Soil Loss Equation.

1 Thesis Autor

2 Thesis Director

INDICE GENERAL

	Pg.
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVO PARTICULAR.....	3
3 REVICION DE LITERATURA.....	4
3.1 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	4
3.1.1 Aspectos Generales.....	5
3.1.2 Área de la Cuenca.....	5
3.1.3 Pendiente de una Cuenca.....	5
3.1.4 Elevación de la Cuenca.....	6
3.1.5 Red de Drenaje.....	6
3.1.6 Pendiente del Cauce Principal.....	7
3.2 PRECIPITACIÓN.....	7
3.2.1 Tipos de Precipitación.....	7
3.2.2 Precipitación por Convección.....	7
3.2.3 Precipitación Orográfica.....	8
3.2.4 Precipitación Ciclónica.....	8
3.3 EROSIÓN.....	8
3.3.1 Tipos de Erosión.....	9
3.3.2 Clases de Erosión.....	10
3.3.3 Formas de Erosión.....	11
3.4 DINÁMICA DE SEDIMENTOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	 11
3.4.1 Producción de Sedimentos en una Cuenca.....	12
3.4.2 Principio General de los Sedimentos.....	12

3.4.3	Origen de los Sedimentos.....	14
3.4.4	Clasificación de los Sedimentos.....	16
3.4.5	Formas de Transporte.....	16
3.4.6	Deposito de las Partículas.....	17
3.5	PERCEPCIÓN REMOTA.....	18
3.5.1	Aplicaciones de la Percepción Remota.....	18
3.6	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	19
3.7	MODELOS DE EROSIÓN.....	20
4	MATERIALES Y METODOS.....	24
4.1	DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	24
4.1.1	Localización geográfica.....	24
4.1.2	Geología.....	25
4.1.3	Geomorfología.....	27
4.1.4	Clima.....	28
4.1.5	Hidrología.....	30
4.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS ESCURRIMIENTOS DE LA ZONA.....	31
4.2.1	Río Papalotla.....	31
4.2.2	Río Xalapango.....	32
4.2.3	Río Coxcacaco.....	32
4.2.4	Río Texcoco (o Río San Lorenzo).....	33
4.2.5	Río Chapingo.....	33
4.2.6	Río San Bernardino.....	33
4.2.7	Río Santa Mónica	34
4.2.8	Río Coatepec.....	34
4.2.9	Zona Baja	34
4.3	MATERIALES CARTOGRÁFICOS.....	36

4.3.1	Imágenes de Satélite SPOT de ERMEXS.....	36
4.3.2	Cartas topográficas.....	37
4.3.3	Software para el Procesamiento Digital y Sistemas de Información Geográfica.....	37
4.4	METODOS.....	38
4.4.1	Clasificación de Imágenes para Determinar el Uso Actual del Suelo.....	38
4.4.2	Estimación de Registros Faltantes Diarios y Mensuales.....	40
4.4.3	Método de Estimación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica.....	42
4.4.4	Descripción De La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).....	43
4.4.4.1	Factor de Erosionabilidad por Precipitación Pluvial (R).....	44
4.4.4.2	Factor de Erodabilidad del Suelo (K).....	46
4.4.4.3	Factor de Longitud e Inclinação de la Pendiente (LS).....	49
4.4.4.4	Factor de Manejo de Cultivo (C).....	51
4.4.4.5	Factor de Prácticas Mecánicas (P).....	53
5	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	56
5.1	SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA RED HIDROGRÁFICA Y CANALES (SIG-RHC).....	56
5.2	ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	60
5.3	ESTIMACIÓN DE REGISTROS FALTANTES DIARIOS Y MENSUALES.....	63
5.4	CLASIFICACIÓN DEL USO ACTUAL Y VEGETACIÓN CON IMAGEN SATELITAL SPOT 5.....	63
5.4.1	Pre-procesamiento.....	63

5.4.2	Clasificación de la Imagen de la Cuenca Oriente.....	65
5.5	ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA.....	66
5.5.1	Factor de Erosionabilidad por Precipitación Pluvial (R).....	67
5.5.2	Factor de Erodabilidad del Suelo (K).....	71
5.5.3	Factor de Longitud e Inclinação de la Pendiente (LS).....	73
5.5.4	Factor de Manejo de Cultivo (C).....	75
5.5.5	Factor de Prácticas Mecánicas de Control de Erosión (P).....	77
5.5.5.1	Represas para control de azolves.....	78
5.5.5.2	Terrazas.....	79
5.5.5.3	Subsoleo.....	79
5.5.5.4	Zanjas Trincheras y Cepas Comunes.....	79
5.6	EROSIÓN HÍDRICA.....	81
5.7	CLASES DE EROSIÓN.....	82
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
6.1	CONCLUSIONES.....	85
6.2	RECOMENDACIONES.....	86
	ANEXOS.....	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	105

INDICE DE TABLAS

	Pg.
Tabla 1	Ubicación de la Producción de Sedimentos en una Cuenca..... 12
Tabla 2	Transporte de Sedimentos en una Cuenca..... 12
Tabla 3	Características de las Imágenes del Sistema SPOT..... 36
Tabla 4	Ecuaciones para Estimar el Factor R por Región..... 45
Tabla 5	Códigos de Estructura para Definir el Valor de K..... 46
Tabla 6	Códigos de Permeabilidad del Suelo para Definir el Valor de K..... 47
Tabla 7	Valores del Factor de Erosionalidad K..... 48
Tabla 8	Valores del Exponente (m) Dependiendo del Grado de Inclinación 50
Tabla 9	Valores del Factor C para diferentes Manejos del Suelo y Cultivos en México..... 51
Tabla 10	Factor C para Terrenos Forestales no Disturbados..... 52
Tabla 11	Factor de Cobertura Vegetal C para Pastizales, Agostaderos y Terrenos en Descanso..... 52
Tabla 12	Factor P para Surcado al Contorno..... 53
Tabla 13	Factor P para Terrazas..... 54
Tabla 14	Diagrama de Flujo..... 55
Tabla15	Atributos de la Cuenca Oriente del ex - Lago de Texcoco..... 57
Tabla 16	Base de Datos de la Red Hidrográfica..... 58
Tabla17	Estadística de la Base de Datos..... 59
Tabla 18	Estaciones Metereológicas..... 60
Tabla 19	Estaciones Meteorológicas Definitivas..... 62
Tabla20	Estadísticas de los Usos de Suelo..... 66
Tabla 21	Valores del Factor R para la Cuenca Oriente..... 70
Tabla 22	Unidades de Suelo, Textura y Valores del Factor K..... 72
Tabla 23	Porcentaje de Practicas Mecánicas de la Cuenca Oriente..... 80

	Pg.
Tabla 24 Clasificación de la Erosión Hídrica de la Cuenca Oriente.....	82
Tabla 25 Estadística de las Clases de Erosión.....	83

INDICE DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1 Partes Constitutivas de una Cuenca Hidrográfica y Origen de los Sedimentos.....	14
Figura 2 Formas de Transporte del Material Sólido por una Corriente.....	17
Figura 3 Mapa de Localización del Área de Estudio.....	24
Figura 4 Eje Volcánico (Falla de Humboldt).....	25
Figura 5 Corte Estratigráfico del Valle de México.....	27
Figura 6 Escurrimientos de la Cuenca Oriente del Ex-Lago de Texcoco.....	35
Figura 7 Estimación del Dato Faltante (Método del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos).....	42
Figura 8 Regionalización de la Republica Mexicana con Base en Índices de Erosionabilidad.....	45
Figura 9 Mapa General de la Cuenca Oriente del ex – Lago de Texcoco.....	56
Figura 10 Red Hidrográfica y Sistema de Canales de la Cuenca Oriente.....	57
Figura 11 Búsqueda de Atributos de la Red Hidrográfica.....	59
Figura 12 Ubicación de Estaciones Metereológicas de la Cuenca Oriente.....	62
Figura 13 Imagen Satelital de la Cuenca Oriente.....	64
Figura 14 Modelo en 3D.....	64
Figura 15 Imagen Clasificada de la Cuenca Oriente.....	65
Figura 16 Modelo de Elevación Digital.....	68
Figura 17 Perfil Transversal.....	69
Figura 18 Topó formas del Área de Estudio.....	69
Figura 19 Mapa del Factor R para la Cuenca Oriente.....	71
Figura 20 Mapa del Factor K de la Cuenca Oriente.....	72
Figura 21 Mapa de Longitud de Pendiente (L).....	73

	Pg.
Figura 22 Mapa de Factor De Grado de Pendiente (S).....	74
Figura 23 Mapa del Factor LS.....	75
Figura 24 Mapa del Factor C.....	77
Figura 25 Mapa del Factor P.....	81
Figura 26 Erosión Hídrica de la Cuenca Oriente.....	82
Figura 27 Clasificación de la Erosión Hídrica para la Cuenca Oriente.....	84

INDICE DE ANEXOS

	Pg
ANEXO 1 Datos de Precipitación.....	88
ANEXO 2 Imágenes de Satélite Spot Pancromáticas.....	101
ANEXO 3 Imágenes de Satélite Spot Multiespectrales.....	103

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han generado avances notables en los campos de la de la tecnología de la información en particular la computación, el desarrollo de software como de hardware. Actualmente, los paradigmas tradicionales de la ciencia han girado de modo que existen cambios muy profundos en la forma de generar y manejar la información para resolver un problema, así como la manera de presentar los resultados. El resultado de esta revolución tecnológica ha ocasionado la automatización y la georeferenciación de las bases de datos y el desarrollo y aplicación de las herramientas del análisis espacial.

Recientemente las nuevas tecnologías en áreas como la cartografía automatizada, el resurgimiento de la teledetección y lo que en México es la panacea de las tecnologías, los Sistemas de Información Geográficos (SIG).

Estas herramientas tienen su mayor aplicación cuando se usan en problemas donde la ubicación y relación espacial de los objetos son importantes, principalmente cuando se usan para apoyar la planeación y la toma de decisiones.

La aplicación de estas nuevas tecnológicas a los problemas de los recursos naturales dependerá del problema a resolver, del conocimiento para plantear el problema, de la relación que éste tenga con la tecnología que estamos describiendo y de la habilidad para manejarla.

Conociendo la gran incidencia de la erosión hídrica sobre la degradación del suelo, resulta de máximo interés tener la capacidad tanto de medir sus efectos como de predecir las pérdidas que reproducen a partir de unas situaciones dadas. Los distintos métodos utilizados con este fin pretenden ser más eficientes a la vez que universales, e intentan evitar problemas derivados de su aplicación a ámbitos diferentes a los de sus formulaciones originales,

destacando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en Inglés), como herramienta básica empleada en la mayoría de los trabajos de estimación.

En el presente trabajo se elabora un sistema de información hidrológica de la cuenca oriente del ex-lago de Texcoco, y se calcula la pérdida de suelo por erosión hídrica con la USLE, así como los distintos factores que intervienen en ella. Los datos de pendientes y de longitud de pendiente se obtuvieron del mediante el análisis morfométrico de los mapas topográficos 1:50,000 del INEGI. Para este estudio se emplearon varios software para el procesamiento de vectores y raster: ArcView, ARCGIS 9, ARCINFO® (1985), y ERDAS IMAGINE® Ver 8.7, ENVI/IDL 4.3, y AUTOCAD Ver. 2005. Los datos climatológicos fueron obtenidos de ERIC 2000.

La zona de trabajo se encuentra ubicada en la cuenca del Valle de México en la vertiente occidental de la Sierra Nevada con una superficie de 1,086.67 km² (ver resultados).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Generar un Sistema de Información Hidrológica y Evaluar el potencial de Erosión de la Cuenca Oriente, ubicada en el Estado de México, mediante el uso de un Modelo Hidrológico de Producción de Sedimentos y Tecnología Espacial.

2.2 OBJETIVO PARTICULAR

- Elaborar un Sistema de Información Hidrológica de los ríos de la cuenca oriente del ex-lago de Texcoco, incluyendo la infraestructura de canales del lago.
- Caracterizar la Red Hidrológica de la cuenca correspondiente mediante el análisis del modelo de elevación digital.
- Aplicar un Modelo Hidrológico de producción de sedimentos a partir de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE o una de sus modificaciones, la que mejor se adapte a una Cuenca Hidrológica Pequeña.
- Generar una Cobertura Espacial de cada uno de los factores incluidos en el modelo considerado y realizar un análisis espacial.

3. REVICION DE LITERATURA

3.1 CUENCA HIDROGRÁFICA

Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como "parteaguas". El parteaguas, teóricamente, es una línea que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios (Hickey 2000).

Área físico hidrográfica delimitada por sistemas topográficos que permiten definir territorialmente un área de drenaje común, en donde interactúan en un proceso permanente y dinámico los subsistemas físicos, bióticos y socioeconómicos (Sánchez Ortiz 2001).

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (Oropeza, 1980).

Las definiciones anteriores se refieren a una cuenca superficial, asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que las definiciones son válidas si la superficie fuera impermeable.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida esta dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago, en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.

3.1.1 Aspectos Generales

La cuenca de drenaje de una corriente es el área que contribuye al escurrimiento. Esta definición es compatible con el hecho de que la frontera de una cuenca de drenaje y su correspondiente cuenca de agua subterráneo no tiene la misma proyección horizontal (Springall, 1970).

El escurrimiento de agua en una cuenca depende de diversos factores, siendo uno de los más importantes las características fisiográficas de la cuenca. Entre estas se puede mencionar principalmente su área, pendiente, características del cauce principal, como su longitud y pendiente, elevación de la cuenca y red de drenaje, vegetación, suelo y manejo.

3.1.2 Área de la Cuenca

El área drenada de una cuenca es el área en proyección horizontal encerrada por el parteaguas. Generalmente esta área se expresa en km².

3.1.3 Pendiente de una Cuenca

La pendiente de la cuenca es el promedio de todas las pendientes existentes en la cuenca. Para el cálculo de la pendiente existen varios criterios entre los que se encuentran:

- Criterio de Alvord
- Criterio de Horton
- Criterio de Nash

3.1.4 Elevación de la Cuenca

La variación en elevación de una cuenca, así como su elevación media, se pueden obtener fácilmente con el método de intersecciones. El mapa topográfico de la cuenca se divide en cuadrículas de igual tamaño, considerando que por lo menos 100 intersecciones estén comprendidas dentro de la cuenca. La elevación media de la cuenca se calcula como el promedio de las elevaciones de todas las intersecciones.

3.1.5 Red de Drenaje

Otras características de cualquier cuenca con las trayectorias o el arreglo de los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. La razón de su importancia se manifiesta en la eficacia de drenaje en el escurrimiento resultante. Por otra parte, la forma del drenaje proporciona indicios de la geología, relieve, las condiciones del suelo y de la superficie del suelo.

Las características de una red de drenaje puede describirse principalmente de acuerdo con el orden de las corrientes, longitud de tributarios, densidad de corriente y densidad de drenaje.

Todas las corrientes pueden dividirse en tres clases generales: Efímeras, Intermitentes y Perennes. Una corriente efímera es aquella que solo lleva agua cuando llueve e inmediatamente después cesa. Una corriente intermitente lleva agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en épocas de lluvia; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce. La corriente perenne contiene agua todo el tiempo.

3.1.6 Pendiente del Cauce Principal

El perfil de un cauce se puede representar llevando a una gráfica los valores de sus distancias horizontal, medidas sobre el cauce, contra sus cambios de elevación respectivas. En general, la pendiente de un tramo de río se considera como desnivel de los extremos del tramo, dividido por la longitud horizontal de dicho tramo.

3.2 PRECIPITACIÓN

La precipitación es el factor que propicia el mayor porcentaje de erosión de un suelo desnudo. Se define precipitación como “el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera”. Para que se origine la precipitación es necesario que una parte de la atmósfera se enfríe hasta que el aire se sature con el vapor de agua, originándose la condensación del vapor atmosférico.

3.2.1 Tipos de Precipitación

Debido a la forma como se encuentran las masas de aire frío con las masas de aire caliente u otras condiciones se dan algunos tipos de precipitación.

3.2.2 Precipitación por Convección

Es la más común en los trópicos. Se origina por el levantamiento de masas de aire más ligero y calido al encontrarse a su alrededor con masas de aire densas y frías, o por el desigual calentamiento de la superficie terrestre y la masa de aire.

3.2.3 Precipitación Orográfica

Es debida al levantamiento de masas de aire producido por las barreras montañosas.

3.2.4 Precipitación Ciclónica

Esta asociada el paso de ciclones y ligada con los planos de contacto (superficies frontales) entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad. Esta precipitación puede ser no frontal y puede ocurrir donde exista una depresión barométrica.

3.3 EROSIÓN

La palabra erosión proviene del latín *erodere* que significa: roer, excavar.

La erosión es el proceso de desprendimiento y arrastres de los materiales del suelo causados por el agua, el viento, glaciares o por la gravedad

El termino erosión se uso principalmente en la geología en el siglo XIX para describir la forma de las socavaciones causadas por el agua (Pench, citado por Oropeza Mota en 1994-1995).

La tierra es uno de los dones más indispensables que la naturaleza proporcionó al hombre; pero desde principios del mundo el suelo ha evolucionado continuamente. La lluvia y el viento han transportado sus partículas de uno a otro lado, pero si el suelo está cubierto de árboles y pasto esta degradación es muy lenta sin que sobre pase a su formación.

Estrictamente, y de acuerdo con el Manual de Conservación del Suelo y del Agua, (CP 1977); la palabra erosión desde el punto de vista edáfico se define

como el proceso físico que consiste en el desprendimiento, arrastre y deposición de las partículas individuales de la superficie del suelo por la acción de los principales agentes del intemperismo, el agua, el viento y la acción biológica de los microorganismos del suelo.

Los criterios para el estudio de la erosión del suelo son cuatro:

- ✓ Proceso de desgaste del suelo
- ✓ La acción del clima
- ✓ La acción de la vegetación
- ✓ El manejo del suelo

Siempre ha existido erosión y siempre existirá. La superficie de la tierra es modelada por procesos exogénicos y endogénicos. Los primeros tienden a nivelar, mientras que los últimos tratan de formar un nuevo relieve. Estos procesos operan en direcciones opuestas y, por lo tanto, la superficie terrestre que se ve en la actualidad no es el resultado de un sólo cataclismo modelador, sino el producto de cambios tan infinitamente lentos, que se hacen notables solamente después de un largo tiempo. La erosión es uno de los aspectos de proceso constante de cambios, donde el hombre participa en forma directa.

3.3.1 Tipos de Erosión

La erosión se lleva a cabo de forma natural o inducida por el hombre.

Erosión Geológica: Esta es la erosión natural o normal, ocurre como consecuencia de la acción de las fuerzas de la naturaleza, sobre la superficie de los suelos.

Erosión Inducida: Llamada antropogénica o acelerada, se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se agrega la acción del hombre.

3.3.2 Clases de Erosión

Las clases de erosión se dan por el factor que actúa en dicha erosión, como se explica en las definiciones siguientes.

Erosión Hídrica. Causada por el agua. Los principales factores que intervienen en el proceso son los siguientes:

- La acción dispersiva de la gota de lluvia.
- El golpeteo de la lluvia que destruye los agregados del suelo.
- El desgaste producido por el escurrimiento superficial al transportar el suelo.
- La formación de costras en el suelo por la depositación de sedimentos.

Los efectos de la erosión hídrica son función de:

- El clima (características físicas de la lluvia, etc.).
- Naturaleza del suelo (capacidad de infiltración, estabilidad estructural, textura, etc.).
- Topografía del terreno (grado, forma, longitud, etc.).
- Cubierta vegetal (densidad), manejo de suelo, etc.

Erosión Eólica. Causada por el viento. Los principales factores que intervienen en el proceso son los siguientes:

- ✓ Separación de los materiales del suelo
- ✓ Transporte de partículas
- ✓ Acción abrasiva del viento

3.3.3 Formas de Erosión

Las formas especiales de erosión generalmente están asociadas a la erosión hídrica.

- ❖ Erosión por gotas de lluvia o erosión por salpicamiento.
- ❖ Erosión laminar, en canalillos y entrecanalillas.
- ❖ Erosión por cárcavas.
- ❖ En pedestales
- ❖ En pináculos
- ❖ Tubular
- ❖ Erosión remóntante o por caída
- ❖ Erosión en caminos
- ❖ Erosión fluvial
- ❖ Erosión subterránea

3.4 DINÁMICA DE SEDIMENTOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La pérdida de suelo originada por cualquiera de las formas de erosión que tiene lugar en las partes de alta montaña genera problemas que se manifiestan a través del azolve que se deposita en las tierras bajas, infraestructura hidroagrícola y embalses naturales, dando como resultado la contaminación de las aguas, la reducción de la capacidad de almacenamiento en las presas y consecuentemente, la extinción de la fauna acuática. Estos problemas afectan también a las áreas urbanas, al provocar el azolvamiento de la red de drenaje el cual produce inundaciones que llegan a afectar las vías de comunicación e influyen de manera notoria en la contaminación ambiental. Cuando el agua almacenada en las presas está contaminada por sedimentos y se utiliza con fines de riego, las partículas finas de los sedimentos forman costras delgadas en la superficie de los terrenos, sellando los poros y afectando notoriamente el desarrollo de los cultivos y las actividades agrícolas.

3.4.1 Producción de Sedimentos en una Cuenca

La producción de sedimentos tiene lugar desde la parte más alta de una cuenca, éstos son desprendidos por la fuerza de la lluvia o bien su inevitable escurrimiento superficial, como se observa en el Tabla 1, y son transportados de las partes altas hacia las partes más bajas por las laderas o los distintos cauces, tal como se puede ver en el Tabla 2

Tabla 1, Ubicación de la producción de sedimentos en una cuenca.

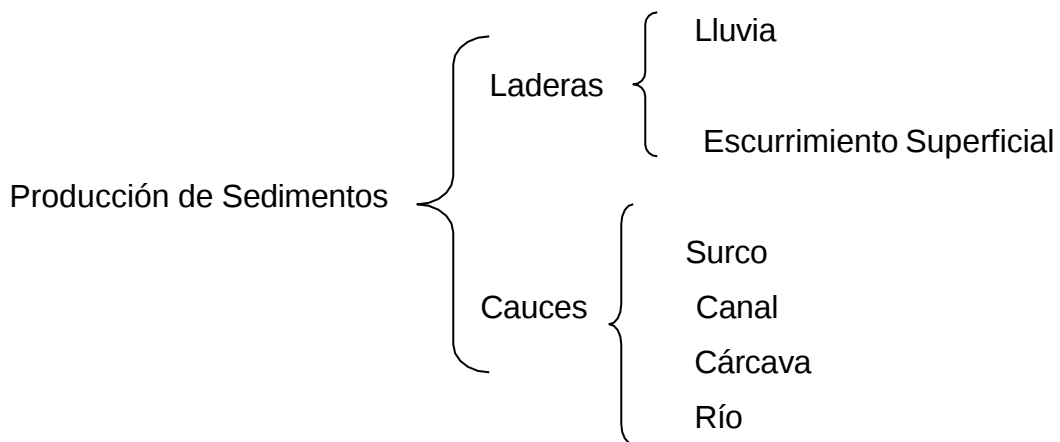
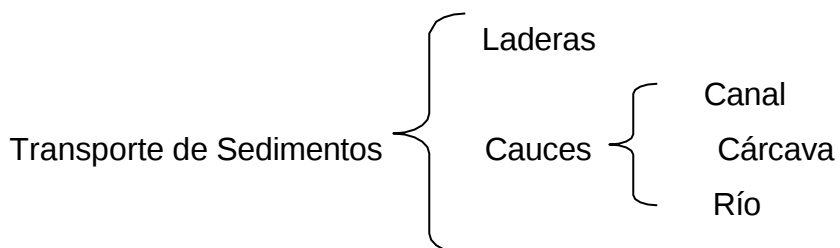


Tabla 2, Transporte de sedimentos en una cuenca.



3.4.2 Principio General de los Sedimentos

Desde el punto de vista químico, los sedimentos se definen como aquellas partículas en suspensión en el seno de un líquido que se precipitan al fondo. Geológicamente, los sedimentos se definen como cada uno de los lechos,

capas o estratos de rocas depositadas en el lecho de las aguas marinas o continentales. Desde el punto de vista agrícola, y considerando el concepto de erosión, los sedimentos se definen como producto del desprendimiento, arrastre y depósito de las partículas individuales de suelo por el agua y el viento.

En ingeniería agrícola, la pérdida o salida de sedimentos desde un área de evaluación (lote, parcela, cuenca o unidad de evaluación) causada por cualquier tipo y clase de erosión se denomina producción de sedimentos o degradación específica y se mide en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$. Algunas investigaciones teóricas realizadas a este respecto fueron conducidas por Laureen, (1959), quien resumió el mecanismo general de la producción de sedimentos en los siguientes cuatro principios:

- 1.- En cualquier superficie de terreno y bajo cualquier uso, la tasa de erosión o degradación específica del suelo es igual a la diferencia entre la tasa de transporte de sedimentos y la tasa de depositación de sedimentos.
- 2.- La tasa de erosión o degradación tiende a disminuir en la misma proporción que el flujo superficial disminuye.
- 3.- Dependiendo de las condiciones iniciales y locales del terreno, la tasa de erosión tenderá siempre a un límite definido por el tipo de material parental del suelo.
- 4.- La erosión se aproxima a este valor límite de manera asintótica en el tiempo.

La condición para que las leyes arriba mencionadas sean válidas es que el movimiento del flujo cese. Otra condición es que la disminución de la capacidad de transporte de sedimentos sea continua a lo largo de la sección transversal, y antes de que el flujo cese este valor sea cero.

3.4.3 Origen de los Sedimentos

Por su origen, los sedimentos se clasifican en dos grupos: aquellos que se originan en la parte alta de la cuenca (zona de aportación) causados por la erosión hídrica y los que se producen por desgaste en los lechos y orillas de los cauces y corrientes de la red de drenaje de la cuenca debido a la acción repetida del paso del flujo superficial.

Una vez que los sedimentos son depositados, el flujo del agua los transporta hasta el área de deyección ó depositación de la cuenca, pasando por la garganta Figura 1.

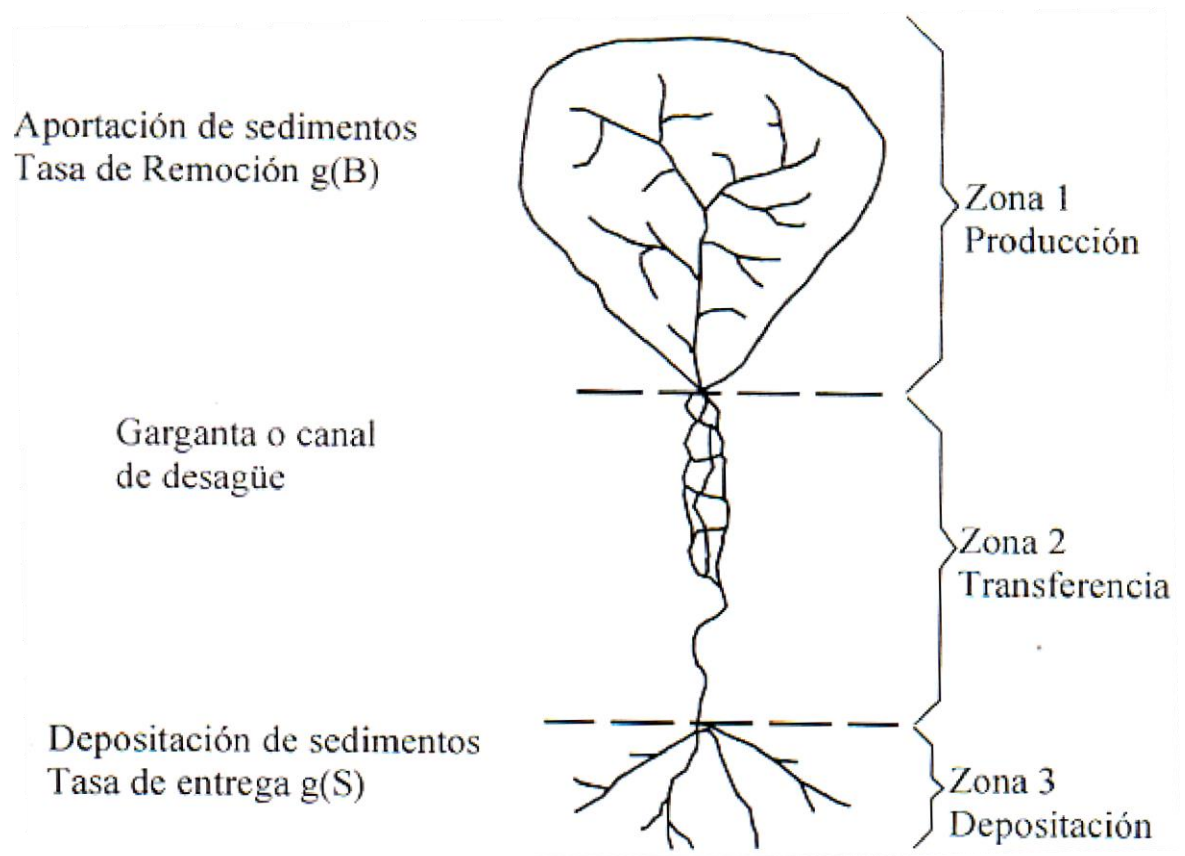


Figura 1, Partes constitutivas de una cuenca hidrográfica y origen de los sedimentos (Annandale, 1987).

La Sedimentología es una rama de la física hidráulica que trata con las propiedades físicas de las partículas sólidas consideradas de manera individual o en forma de mezcla (Simona y Sentürk, 1992).

Los sedimentos son compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales provienen generalmente de fuentes fuera del área de depositación. La materia orgánica consiste de microorganismos y otros organismos mayores, junto con derivados de la descomposición de los materiales.

El material inorgánico es el producto de la erosión del suelo y del intemperismo de las rocas, junto con compuestos de hidróxido de hierro, óxidos de sílice y carbonatos de calcio, los cuales pueden ser transportados por el agua o formados en el área de depositación como productos solubles y otros compuestos.

Los sedimentos naturales son una mezcla de composición diversa:

- 1.- Partículas minerales individuales de suelo producto de la erosión hídrica y partículas de rocas derivadas de la fragmentación del material parental.
- 2.- Minerales de arcilla
- 3.- Precipitados
- 4.- Materia Orgánica

Aún cuando la composición de los sedimentos es diversa, dentro de los estudios de ingeniería agrícola los de mayor importancia, y en cierta manera más sujetos a estudio, son los sedimentos de origen inorgánico; la gran mayoría de ecuaciones útiles en el estudio del transporte y depositación de sedimentos han sido generadas para este tipo de sedimentos.

3.4.4 Clasificación de los Sedimentos

Los sedimentos se clasifican como materiales cohesivos (granular y friccionante), no cohesivos y rocosos. La mayoría de las corrientes naturales transportan sedimentos no cohesivos o materiales granulares (no hay fuerzas cohesivas entre granos adyacentes). Aún en el caso de suelos cohesivos, después de un corto tiempo, las fuerzas de adhesión se rompen entre partículas y cambian a materiales no cohesivos. No obstante, después de la depositación en cuerpos de agua y embalses, los materiales pueden convertirse en sedimentos cohesivos por reacciones físicas y químicas. Los materiales rocosos son sedimentos individuales, comúnmente se les llama “cantos rodados”, pueden llegar a pesar unos cuantos gramos, hasta alcanzar 5 ó 10 toneladas. Estos sedimentos generalmente pertenecen a rocas ígneas intrusivas y extrusivas.

3.4.5 Formas de Transporte

La producción de sedimentos no reconoce otro origen que no sea la erosión que tiene lugar en la superficie de la cuenca, y se considera que es la fuente principal de material sólido transportado por los cursos de agua que la drenan. Parte del caudal sólido provienen de la erosión del lecho y orillas de los cauces, pero tal aportación, en relación con la cuenca, es pequeña.

El transporte total del material sólido por los ríos y corrientes naturales se lleva a cabo por una de las siguientes formas, como se observa en la Figura 2.

Suspensión: Se refiere a los sedimentos transportados sin tocar fondo.

Saltación: Se refiere a los sedimentos transportados en el lecho, dando pequeños saltos sucesivos

Acarreos: Se refiere a los sedimentos transportados deslizándose en el fondo o rodando.

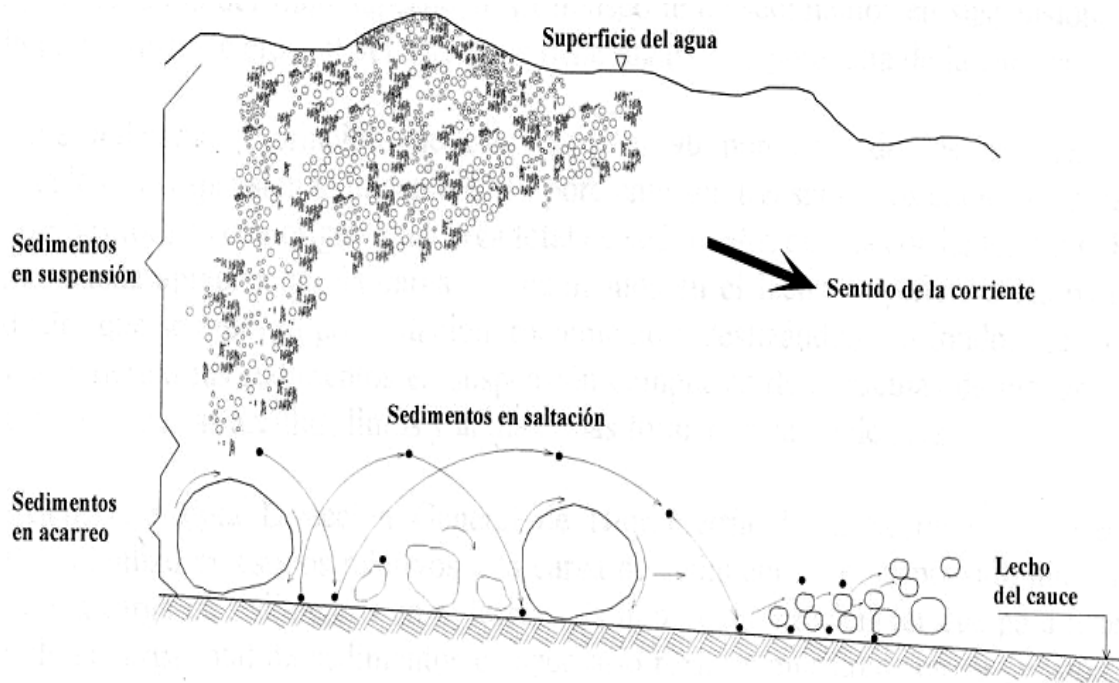


Figura 2, Formas de transporte del material sólido por una corriente (Annandale, 1987).

3.4.6 Deposito de las Partículas

Cuando la corriente pierde energía es incapaz de transportar la carga de partículas sólidas, comenzando las partículas a depositarse en el lecho. El depósito de sedimentos constituye un tema de interés en geomorfología pero no es de menos importancia desde la perspectiva agrícola y ambiental. En particular la mayor importancia radica en fenómenos tales como la colmatación de embalses.

El embalse es una zona de estancamiento temporal de los cursos de agua, por lo que representa las condiciones óptimas para el depósito de sedimentos. Sin embargo, para los embalses propiamente dichos, la colmatación es una de las peores adversidades que pueda ocurrir.

Dependiendo del modo de operación del embalse, se ha definido un índice que es la eficiencia de atrape de sedimentos que expresa la fracción de sedimentos que queda en el embalse del total recibido. Factores tales como la superficie de la cuenca de alimentación, la capacidad de embalse, el tamaño de las partículas y el modo de operación, influyen sobre este índice.

3.5 PERCEPCIÓN REMOTA

La Percepción Remota (*Remote Sensing*) o teledetección, se define como el conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos mediante mediciones a distancia, sin el contacto material con los mismos (Lasselin y Darteyre 1991, citado por Soria *et al.*, 1998). La percepción remota no engloba solo los procesos que permiten obtener una imagen desde el aire o el espacio, sino también su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación.

Los componentes básicos de un sistema de percepción remota son: los sensores remotos, la escena y el tratamiento de la información.

3.5.1 Aplicaciones de la Percepción Remota

En México, durante los últimos años el uso de estas técnicas ha tenido impulso en varias instituciones de investigación, docencia y servicio tanto públicos como privados. Algunas mantienen una rápida incorporación de técnicas de percepción remota a sus investigaciones, mediante la adquisición de hardware y software, cuyas aplicaciones están dirigidas a evaluar los recursos naturales del país. Según Soria *et al.*, (1998), las aplicaciones que tienen los Percepción Remota para evaluar los recursos naturales de la tierra se pueden dividir en tres grandes grupos: terrestres, marítimos y atmosféricos

Aplicaciones terrestres: La superficie terrestre sufre constantes cambios debido principalmente a cambio de uso del suelo como la apertura de nuevas tierras agrícolas, deforestación, construcción de nuevas áreas urbanas, presas, zonas industriales, etc.

Aplicaciones marítimas: Los estudios marítimos han tomado importancia, debido a las alteraciones de los océanos por parte del hombre y fenómenos naturales; ya que los mares representan un gran potencial alimenticio para el futuro de la humanidad. La aplicación de percepción remota ha permitido ampliar la capacidad de estudio de grandes zonas marítimas como por ejemplo: comportamiento de la temperatura, distribución de poblaciones de peces, estudios de corrientes marinas, etc.

Aplicaciones meteorológicas: Nuestro planeta sufre constantes cambios esto, debido a fenómenos como los huracanes, sequías, inundaciones, etc. Algunas de las aplicaciones de la percepción remota son por ejemplo: Predicción climatológica, localización y predicción de huracanes, tornados, tormentas, etc.

3.6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) o *Geographic Information Systems (GIS)* es una colección de computadora, software, información geográfica y personal, diseñado para capturar de manera eficiente, almacenar, actualizar, manipular, analizar y desplegar en todas formas la información referenciada geográficamente (ESRI, 1995).

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) son sistemas computacionales diseñados para aceptar, organizar, almacenar, recuperar, analizar y desplegar la información geográfica o espacial (Gabriel Ortiz).

Por Sistemas de Información Geográfica se refiere también a dos conceptos un tanto diferentes, que alude a las aplicaciones de los SIG reales, que incluye el hardware, software y los datos geográficos y no geográficos que componen el sistema y que son necesarios para la solución de un problema en particular; y dos, el software generado por alguna empresa comercial desarrolladora de programas de SIG.

Una de las razones de las variadas definiciones de SIG se debe a que existen diversas clases de sistemas de información geográfica. Dependiendo del campo en que se apliquen, ha surgido software especializado para manejo, por ejemplo; de infraestructura urbana, estudio de recursos naturales, planeación, etc., que han dado matices diferentes al mismo concepto. Es por eso que algunos, han sido desarrollados por diferentes disciplinas, tales como la cartografía, la geodesia, ciencia de computación, las bases de datos, los sensores remotos y la fotogrametría entre otros.

3.7 MODELOS DE EROSIÓN

Otra forma de caracterizar la erosión es representar algunos de los procesos que la componen para tratar de establecer alguna relación entre variables ambientales de medida asequible, y alguna medida de pérdida de suelo o de acumulación de sedimentos.

Se han propuesto muchos modelos, que se van perfeccionando a medida que se conocen mejor los comportamientos del agua en el suelo, de la interceptación de la lluvia en un dosel vegetal o del movimiento del agua y de las partículas sólidas en los cursos superficiales. Al mismo tiempo, se han desarrollado esquemas sencillos de cálculo para evaluar las pérdidas de suelo en zonas determinadas.

Curiosamente, estos esquemas sencillo precedieron a los modelos más completos, lo que se debe, especialmente, al esfuerzo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que culminó parcialmente el impulso inicial de conservación de suelos, a raíz de las secuelas de la gran depresión económica de los 1930, y de las tormentas de polvo originadas en los estados del Sur, con una ecuación que resumía los resultados experimentales de las numerosas ecuaciones dispuestas en gran parte del país. Esta ecuación, que se conoce como **Ecuación Universal de Pérdida de Suelo** (Wischmeier y Smith, 1978), ha sido ampliamente difundida por todo el mundo, y aplicada incluso en cuencas de las cuales no se conocían los valores de los parámetros (Wischmeier, 1976).

La ecuación universal de pérdida de suelo reconoce seis factores que influyen en el fenómeno de la erosión hídrica, estimando la pérdida de suelo en una parcela, A, como el producto de los valores asignados a aquellos. Hay también una versión para la erosión eólica (Skidmore et al., 1970).

Los factores son esencialmente los mismos factores formadores del suelo. La agresividad de la meteorología es el factor **erosividad** al que se le asigna el símbolo R, expresado como el producto acumulado de la energía cinética de la lluvia. La superficie o resistencia del suelo frente a la erosión, o **erodabilidad**, K, es otro factor. Este se estima a partir de la distribución de tamaño de partículas, del contenido de materia orgánica, y de evaluaciones cualitativas del grado de desarrollo estructural y de la permeabilidad. El factor topográfico, es el producto de los efectos de la longitud y de la inclinación de cada ladera, L y S. La cubierta del suelo resume gran parte de los efectos de la vegetación, incluyéndose el aspecto superficial, el micro relieve, y la protección de las plantas y residuos, C. el último factor es el grado de protección que obras como terrazas o bancales dispensan, P. la fórmula final es:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P. \quad (1)$$

Los modelos de erosión están siendo más aceptados que los esquemas anteriores por su mayor versatilidad para representar situaciones específicas y posiblemente, por la expresión de los ordenadores personales, junto con los sistemas de información geográfica. El primer gran modelo de erosión fue propuesto por uno de los padres de la ecuación universal, Wischmeier, y, a pesar de su sencillez, resumía certeramente el fenómeno de la erosión en una ladera.

Otro modelo importante, el de Moore y Burch (1986), consistente en la aplicación de la expresión de la capacidad de transporte de Yang, basada en el uso de la potencia unitaria de corriente de Bagnold, confirmó la bondad de la aproximación sugerida en la ecuación universal para expresar el factor topográfico.

Hacia la mitad de la década de los años 1980, al amparo del desarrollo de métodos como el de la onda cinemática para describir el movimiento superficial del agua en una cuenca, comenzaron los modelos de erosión a incluir situaciones transitorias, como las que ocurren en el transcurso de cada episodio de lluvia y escorrentía (Laguna y Garalde, 1993). Un grupo de estos modelos es el de Rose y colaboradores de la Universidad de Griffith, denominado GUESS, en el que se han ido introduciendo sucesivas mejoras como la removilización de las partículas sólidas depositadas previamente en el agua (Hairsine y Rose, 1992). Mención especial merece el modelo de KINEROS (Woolhiser et al., 1990), que, mediante la concatenación de sucesivas cascadas cinemáticas representando los elementos hidrológicos (planos, canales y embalses en los que separan una cuenca), permite seguir la evolución de la escorrentía y el sedimento en toda ella. Este modelo ha sido la base de partida sobre la que se está desarrollando el modelo EUROSEM patrocinado por la Unión Europea para su aplicación en el continente (Morgan et al., 1991). El Departamento de Agricultura de Estados Unidos ha concentrado sus esfuerzos en un nuevo modelo conocido como WEPP (Nearing et al., 1989).

La expansión combinada de técnicas de análisis numérico y de la informática ha estimulado la proliferación de modelos detallados, en los que se considera conjuntamente el crecimiento de una planta, las pérdidas de suelo, e, incluso su efecto sobre la producción vegetal, como es el caso del modelo creado para evaluar tales efectos, el EPIC (Williams et al., 1984), o los preparados con el fin de evaluar las consecuencias ambientales de la erosión como el CREAMS (Knisel, 1980).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

4.1.1 Localización geográfica

El área de la cuenca del Valle de México está localizado entre los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Distrito Federal, y delimitado entre las latitudes 19°02' y 20°12' Norte y las longitudes 98°15' y 99°30' W, con una superficie de 1,086.675 km² (Figura 3).

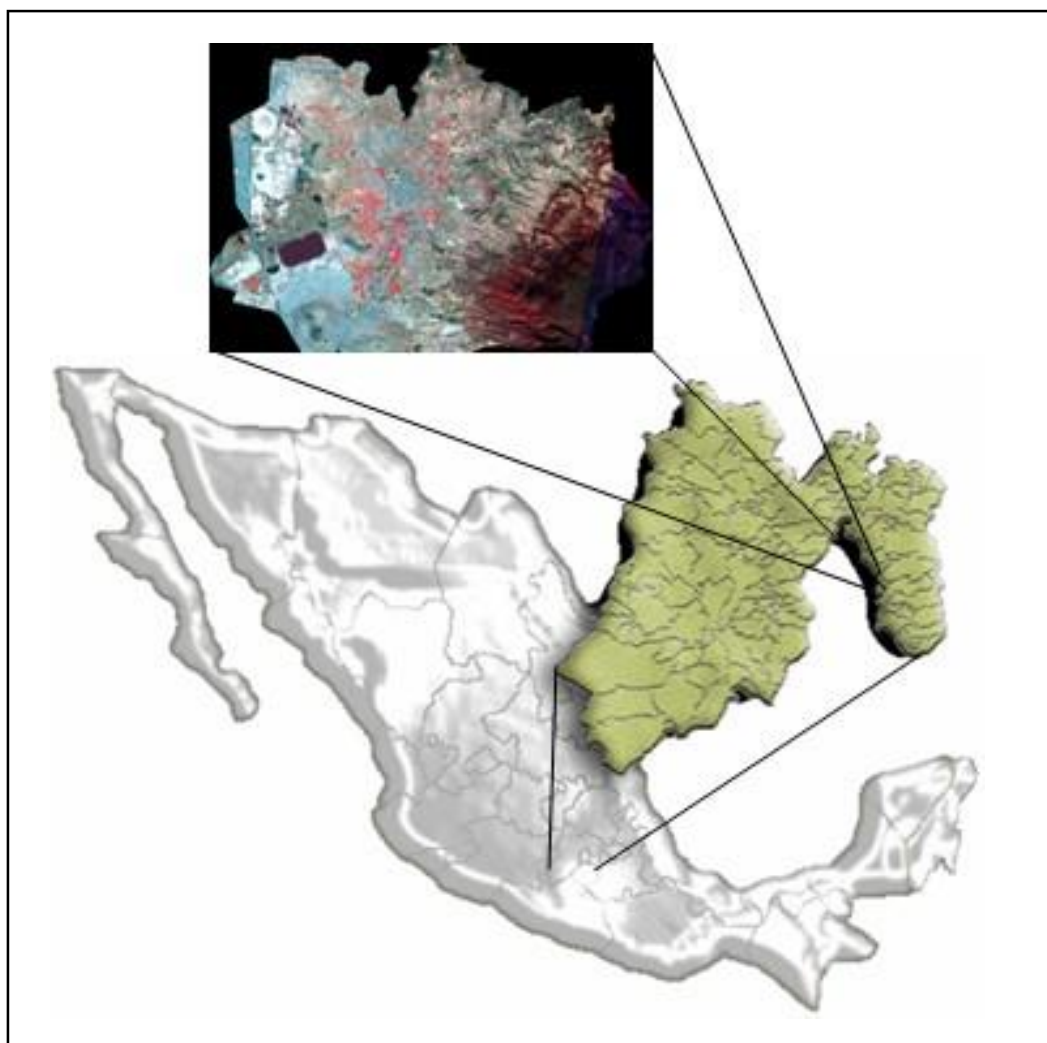


Figura 3, Mapa de localización del área de estudio

El área de estudio, la cuenca del valle de México, está limitada por el norte, de oeste a este, por los cerros de Sincoque, San Sebastián, Xalpan y Hueipoxtlá por el cerro de Acayúcan y de las sierras de Tezontlalpan y de Pachuca; por el sur, de este a oeste, por el Popocatepetl, las sierras de Chichinautzin y del Ajusco y el monte de las Cruces; por el este, de norte a sur, por la sierra de Pachuca, los cerros de Tecajete, San Gabriel Xihuinco, Tlalzalán Tlálloc, Telapon, Papayo y los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Finalmente, por el oeste, de norte a sur, la cuenca de estudio está limitada por la sierra de Tepotzotlán, el monte Bajo, el monte Alto y la sierra de las Cruces.

4.1.2 GEOLOGÍA

La cuenca del Valle de México está situada en el centro del eje volcánico (Falla de Humboldt), que atraviesa el territorio nacional desde la costa del Pacífico en Nayarit, hasta el Golfo de México en Veracruz. Ha estado sujeta a grandes esfuerzos tectónicos, así como erupciones volcánicas ocurridas desde principios del periodo Terciario hasta épocas recientes (Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidrológico, 2005) (Figura 4).



Figura 4, Eje Volcánico (Falla de Humboldt). (Instituto de Geofísica, UNAM)

Las formaciones del terciario Medio comprenden restos de volcanes estratificados, tobas, brechas, derrames de lavas y depósitos laháricos. Los tipos de roca son muy variados: andesitas basálticas, basaltos, dacitas, entre otros. Estas formaciones se encuentran principalmente en la parte inferior de la sierra que limita la cuenca al este, al oeste y al norte (Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidrológico, 2005).

En el Terciario Superior se presentan grandes depósitos de lavas al este y al oeste de la cuenca, así como las series andesitas antiguas del Iztaccíhuatl y el Ajusco. Lo atestiguan restos de volcanes estratificados y extensos complejos en la mitad septentrional de la cuenca, así como otros tipos de formaciones depositadas a distintas elevaciones.

En el Cuaternario se inicio un último ciclo de vulcanismo, cuyas manifestaciones aún persistentes; de esa época son los volcanes Cerro Gordo, Chimalhuacan, Estrella y Chiconautla. Posteriormente se formo la Sierra Chichinautzin, entre las Sierras Nevada y Las Cruces, con lavas basálticas que cerraron la cuenca hacia el sur. Lo anterior permitió que se formara un relleno con material de acarreo y cenizas volcánicas transportadas por el aire o por corrientes de agua hacia las partes bajas; se formo entonces, una gran planicie que fue ocupada por lagos someros (Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidrológico, 2005).

De acuerdo con el levantamiento gravimétrico regional de la zona (Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidrológico, 2005), la cuenca subterránea de Valle de México está dividida en varias subcuencas de las cuales cuatro se localizan dentro del área de estudio: Teotihuacán, Texcoco, Ciudad de México y Chalco.

Los estudios de geología estructural y de hidrología subterránea de la cuenca del valle de México fueron llevados a cabo mediante exploraciones geofísicas, sondeos de profundidad variable hasta 2,065m y determinaciones de laboratorio con muestras de arcillas y limos encontrados a diversas profundidades. Se

aplicaron los métodos de prospección sísmica, gravimétrica y magnométrica sobre el relieve de la roca basal y de los derrames lávicos sepultados. Estos estudios mostraron que la profundidad de la subcuenca Texcoco resulto ser mayor de 2,065m y se estableció que las rocas calizas marinas que formaron la base de la cuenca están a una profundidad mayor (Estudio Geofísico-Geohidrológico CFE, 1996).

El corte estratigráfico del Pozo 1 muestra 13 derrames de roca ígnea, lo que demuestra una gran actividad volcánica en la cuenca sobre un periodo de 30 millones de años, entre el Eoceno Medio y el Mioceno. El espesor de algunos de los derrames indica que la fuente era más cercana al pozo que los aparatos volcánicos de los márgenes de la cuenca (Figura 5).

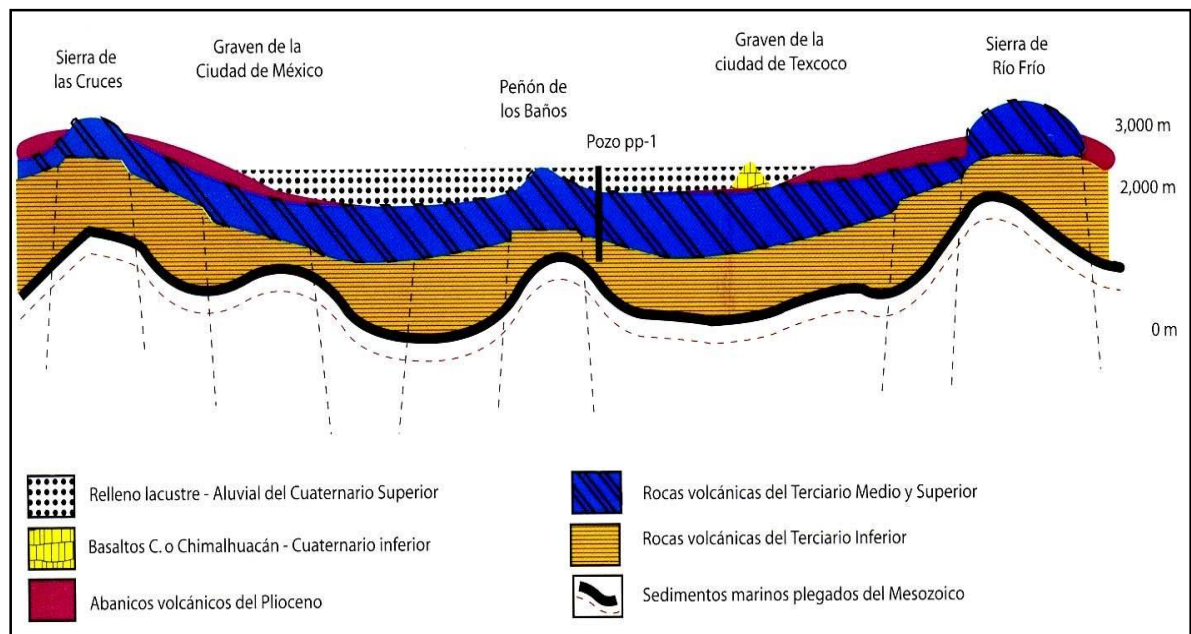


Figura 5, Corte Estratigráfico del Valle de México (C. F. E.).

4.1.3 GEOMORFOLOGÍA

La actividad volcánica dentro de la Meseta Volcánico Transmexicano (MVT) genero un gran número de cuencas endorreicas y el consecuente desarrollo de

lagos, lo que le dio a la región una apariencia típica de geoforma volcánica integrada por un conjunto de volcanes mono- y poligénicos de grandes alturas entre los que resaltan el Pico de Orizaba (5,747 metros de altura), el Popocatepetl (5,452 metros de altura), el Iztaccíhuatl (5,286 metros de altura), el Nevado de Toluca (4,558 metros de altura) y el Nevado de Colima (4,000 metros de altura).

La porción central de la MVT se desarrollo a través de siete fases de vulcanismo, ocurridas a partir del Oligoceno (Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidrológico, 2005); las mas importantes son la quinta, ocurrida a fines del Mioceno, que dio origen a las sierras Las Cruces, Río Frió y la Sierra Nevada (limites poniente y oriente respectivamente) y la sexta, en la que se desarrollaron el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl. Entre la sexta y la séptima fases del periodo Cuaternario, la actividad volcánica interrumpió el drenaje de la cuenca del Valle de México y dio a esta su carácter endorreico.

4.1.4 CLIMA

El clima de la región, según la clasificación de Koppén corresponde a un semiárido templado (BS), con verano calido.

La temperatura máxima alcanza 30 a 32°C y ocurren entre Abril y Junio. La insolación baja durante la estación de lluvias, de Julio a Octubre, los días son más frescos y las temperaturas máximas oscilan entre 26 y 29°C. Durante la estación fría, de Octubre a Marzo, las temperaturas mínimas se mantienen en valores cercanos a 0°C, la temperatura máxima varia de 26 a 28 °C, y la temperatura mínima más baja ocurre en enero y varia entre los -2 y los -5°C. Durante la temporada lluviosa, las temperaturas mínimas oscilan entre 7 y 10°C.

La mayor amplitud de variación diurna ocurre en la segunda mitad del periodo de secas y llega a alcanzar de 25 a 30°C en Febrero, Marzo y Abril. Por la mañana, es cercana a 0°C, en tanto que después del medio día sube a los 30°C. Estas variaciones ayudan a disgregar el suelo de la superficie en el área del estudio. Al mismo tiempo, el excesivo calentamiento activa la evaporación de la humedad de la tierra, reseca la capa superficial.

La región del ex lago de Texcoco recibe, en promedio, 852 horas de insolación; este incremento se refleja en una mayor energía de calor que induce la evaporación. La evaporación media anual asciende a 2519mm, mientras que en las estaciones vecinas se registran valores entre 1200 y 1600mm.

La temporada de lluvia comienza a mediados de Mayo y termina en Octubre. La estación pluviométrica que recibe menos lluvia es la de Sosa Texcoco (ubicada en el Caracol), con un promedio de 460mm; este valor se incrementa hacia los límites geográficos oriente y norte del ex lago para alcanzar 600mm/año en Texcoco, San Andrés y la Grande.

En los años sesenta, el clima del ex Lago de Texcoco era lo menos seco de los climas semiáridos y la variabilidad de la lluvia entre los años no era tan elevada como se podría esperarse de un clima de este tipo. El índice de variación era 18 y 25% para las estaciones la Grande y Texcoco, respectivamente, esto significa que la lluvia no varía demasiado de un año a otro en el área del ex lago.

De 1923 a 1960, el año más lluvioso fue 1941, con una precipitación de 1,192mm, seguido de los años 1925 y 1931, con poco más de 1,000mm. El año mas seco fue 1957, con solo 393mm. En 1949, 1950 y 1951, la lluvia fue escasa menos de 500mm.

4.1.5 HIDROLOGÍA

El área del ex-lago de Texcoco pertenece a la cuenca del Valle de México localizada en el extremo sur de la Región Hidrológica 26, Alto Pánuco.

El sistema hidrológico de la cuenca consiste, en su mayor parte de escurrimientos efímeros e intermitentes de carácter torrencial, con avenidas de corta duración y arroyos secos durante el estiaje. El drenaje es de tipo radial centrífugo, dendrítico y dendrítico paralelo. La red del drenaje no está bien interconectada y tiene poco desarrollo, debido al control geológico de red. Hacia la porción este de la cuenca se identifica una serie de arroyos intermitentes que descienden de la sierra nevada y desaparecen en la base de la misma, lo cual indica que los materiales en esa zona tienen buena permeabilidad. Destacan, entre ellos, los ríos Papalotla, Teotihuacán, Xalapango, Coxcacaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec.

El desequilibrio hidrológico de la cuenca se origina por algunos fenómenos naturales, pero sobre todo por el deterioro causado por el hombre: la devastación de los bosques, la tala inmoderada, los incendios, las prácticas de tumba-roza y quema a que han sido expuestos los recursos forestales, los cambios del uso de suelo y las prácticas agrícolas inadecuadas.

La cuenca Tributaria del ex Lago de Texcoco se ha dividido en tres zonas: noreste, oriente y sureste.

La parte noreste tiene suelos poco profundos con restricciones para el uso agrícola. Los de la zona sureste, por su parte, los suelos tienen características variables que van desde profundos, de textura media y sin pendientes; hasta otros que ocupan las laderas de serranías, relativamente superficiales e incluso con restricciones para el uso agrícola. La zona noreste está constituida por las cuencas de los ríos San Juan Teotihuacán Papalotla, Xalapango y Coxcacaco.

En la zona oriente, que era la más degradada al iniciarse las obras se ha logrado abatir la aportación de sedimentos mediante los trabajos de conservación de suelos y las obras de corrección de cauces, al punto que se ha llegado a una quinta parte de la pérdida de suelo registrada antes de realizar los trabajos. Esta zona esta formada por las cuencas de los ríos Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec.

En la zona Sureste existe mayor protección vegetal no obstante los volúmenes de escurrimiento son elevados. Corresponde a las subcuencas de los ríos San Francisco, La Compañía y Amecameca.

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ESCURRIMIENTOS DE LA ZONA.

La Figura 6 muestra los escurrimientos de la cuenca oriente del ex-lago de Texcoco, conformados por ocho principales ríos que se describen a continuación:

4.2.1 Río Papalotla

De los ocho ríos más importantes de la región, el río Papalotla es, por su extensión y volumen de escurrimiento, el más importante. Está formado por la unión de dos vertientes, una que recoge los escurrimientos de las estribaciones montañosas situadas en el centro del municipio de Tepetlaoxtoc, que atraviesa la cabecera del municipio del mismo nombre, y otra que proviene de la zona montañosa cercana al poblado de Santa Inés, en el mismo municipio, entre las poblaciones de Jolalpa y Papalotla, al noreste del Cerro de las Cuevas. La unión de las dos vertientes puede considerarse como el origen del Río Papalotla que cerca del ex lago de Texcoco, se bifurca. La extensión aproximada de las ramificaciones norte (la más importante de las dos) es de 17, 250m; la ramificación sur se extiende sobre 13,150m; el área de la cuenca es de 186.581 km² (ver resultados).

Después de la bifurcación, el río Papalotla pasa por San Pablo Jolalpa, entra al municipio de Papalotla (al norte de la cabecera) y corre por el sur de Tepetclán y Tlaltecahuacan. Después entra al municipio de San Andrés Chiautla, pasa el municipio de Tezoyuca (al sur de la cabecera), atraviesa la carretera Texcoco-Tepexpan, el llamado puente “La Grande”, entra al municipio de Atenco (al Oriente de Nexquipayac) y desemboca en el lecho del ex lago de Texcoco.

4.2.2 Río Xalapango

Este río se origina entre las poblaciones de San Joaquín y Santa Inés, del municipio de Texcoco. Se forma por la unión de dos vertientes principales que recogen las corrientes que provienen de las partes montañosas del noreste del municipio de Texcoco. Atraviesa de carretera México-Veracruz en el km. 46 aproximadamente; pasa al sur de Pentecostés y atraviesa los municipios de San Andrés Chiautla y Chiconcuac; cruza la carretera Texcoco-Tepexpan, entra al municipio de Atenco y desemboca en el vaso del ex lago de Texcoco. Desde el lugar donde se unen sus dos vertientes principales hasta la desembocadura en el ex lago de Texcoco tiene una longitud aproximada de 13,725m. El área de la cuenca es de 39.715 km².

4.2.3 Río Coxcacaco

Tiene su origen en el punto de unión de dos vertientes que recogen las corrientes derivadas de las estribaciones montañosas del este del municipio de Texcoco. Una de ellas viene de las poblaciones de Nativitas y San Dieguito; la otra, de San Miguel Tlaixpan. Ambas se unen en la región adyacente al lugar denominado Molino de las Flores. La corriente atraviesa la carretera México-Veracruz, pasa cerca del poblado “La Resurrección”, del Rancho de Santo Tomás, cruza la carretera Texcoco-Tepexpan, franquea el Rancho “El Consuelo”, divide las poblaciones de Riva Palacio y la Magdalena, entra al municipio de Atenco y desemboca en los límites de los municipios de Atenco y

Texcoco en el vaso del ex lago de Texcoco. Desde el punto de unión de sus dos vertientes hasta la desembocadura en el ex lago tiene una extensión de 14,150m, aproximadamente. El área de la cuenca es de 51.035 km².

4.2.4 Río Texcoco (o Río San Lorenzo)

Es el resultado de la unión de varias vertientes de la zona montañosa al este del municipio de Texcoco (cerca de la población de Tequexquináhuac). Su cauce principal se origina al oriente de la localidad de San Pablo Ixayoc. El río continuo a un lado del camino de Santa Maria Nativitas, rodea la población de Texcoco atraviesa la carretera Los Reyes-Texcoco, vía el lago, y desemboca, sin salir del municipio, en el vaso del ex lago de Texcoco. Tiene una longitud, desde el punto de unión de sus principales vertientes hasta su desembocadura, de alrededor de 14,375m. El área de la cuenca de este río es de 36.626 km².

4.2.5 Río Chapingo

Se forma por vertientes que provienen de la zona montañosa del municipio de Texcoco. El río Chapingo se localiza al este del municipio de Texcoco, cruza la carretera México-Texcoco aproximadamente en el kilómetro 38.5, pasa al sur de la Universidad Autónoma Chapingo y de la población de Boyeros, y continua hasta desembocar en el vaso del ex lago de Texcoco. Su longitud aproximada desde su única unión es de 13,868m. El área de la cuenca es de 18.525 km².

4.2.6 Río San Bernardino

Se forma por vertientes que provienen de la zona montañosa al este del municipio de Texcoco. El punto de convergencia está al sureste de San Mateo Huexotla. Cruza la carretera México-Texcoco, pasa al norte de San Bernardino, por los límites de los terrenos de la Universidad Autónoma Chapingo, y continúa hasta desembocar en el vaso del ex lago de Texcoco. Su longitud aproximada,

desde el punto de unión de sus principales vertientes es de 8,325m. El área de la cuenca es de 19.407 km².

4.2.7 Río Santa Mónica

Se origina por la unión de tres vertientes: una proviene de la zona montañosa al este del municipio de Chicoloapan, y las otras dos se originan en las estribaciones montañosas al sureste del municipio de Texcoco. El punto de unión de las tres vertientes se localiza al sur de Coatlinchán, en el municipio de Texcoco. El río atraviesa la carretera Los Reyes-Texcoco, pasa al sur del poblado de Montecillo y continúa hasta desembocar en el ex lago de Texcoco. Su longitud aproximada, desde el punto de unión de las tres vertientes hasta su desembocadura es de 6,450m. El área de la cuenca es de 57.287 km².

4.2.8 Río Coatepec

El río Coatepec nace de la Sierra Quetzatépetl, localizada al oriente del municipio de San Vicente Chicoloapan, por la unión de dos vertientes provenientes de dicha Sierra, tiene un curso oriente-poniente. Pasa al norte del municipio de Coatepec, la unión de sus dos vertientes se localiza en la parte poniente del municipio de San Vicente Chicoloapan. El río atraviesa la carretera Los Reyes-Texcoco. El río continúa al lado oriente del municipio de Chimalhuacan hasta su desembocadura en el ex lago de Texcoco. Su longitud aproximada desde el punto de unión de sus dos vertientes hasta su desembocadura es de 5,402m. El área de la cuenca es de 74.262 km².

4.2.9 Zona Baja

La zona baja esta formada por la planicie de la Cuenca Oriente (Figura 6), que es la zona en donde las cuencas de los ríos Papalotla, Xalapango, Coxcacaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec vierten sus

aguas al ex lago de Texcoco. En esta zona es donde se encuentra ubicada la mayor parte de la infraestructura de la cuenca y en donde sus cauces se encuentran modificados por la acción humana (canales revestidos, colocación de compuertas, etc.), además de que se encuentra la mayor parte de los asentamientos humanos así como el mayor de las aportaciones de aguas negras que recibe el ex lago de Texcoco.

La Zona Baja esta limitada al norte por la zona de Ecatepec y San Juan Teotihuacan, al sur por el municipio de Chimalhuacan y Ciudad Nezahualcoyotl, al oriente por las ocho cuencas descritas anteriormente y al poniente por el Distrito Federal. El área que cubre la zona baja es de 376.941 km².

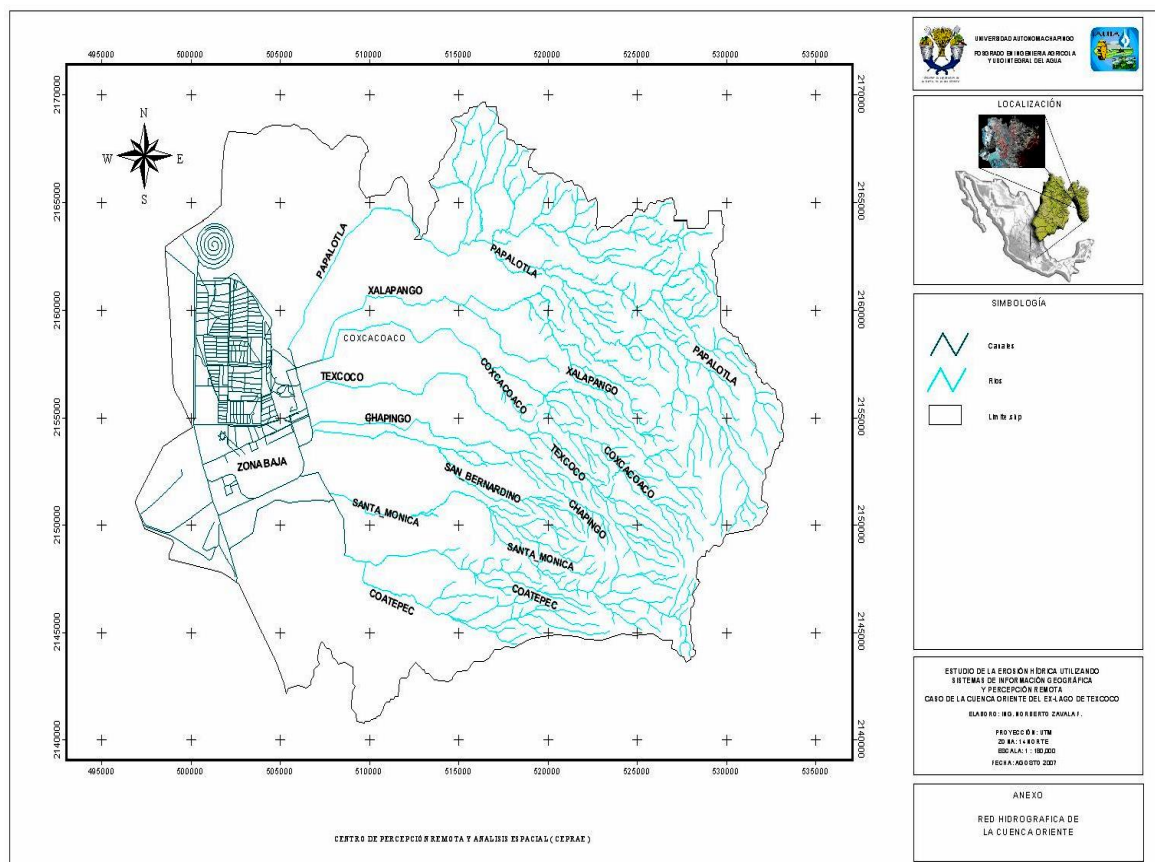


Figura 6, Escurrimientos de la Cuenca Oriente del Ex-Lago de Texcoco.

4.3 MATERIALES CARTOGRÁFICOS

4.3.1 Imágenes de Satélite SPOT de ERMEXS

Las imágenes de satélite utilizadas en el presente proyecto pertenecen a la constelación SPOT 5 y fueron proporcionadas por ERMEXS (Estación de Recepción México de la constelación Spot) a través de la gestaría oficial de imágenes CEPRAE de la UACH. Se utilizaron 6 imágenes satelitales SPOT 5 de alta resolución, que comprenden: 3 imágenes pancromáticas, tomadas el día 08 de Enero de 2006, y 3 imágenes multiespectrales de 4 bandas cada una tomadas el día 9 de Enero de 2006 (Anexo 2 y 3). Las características de las imágenes incluyendo las de las constelaciones de todo el sistema de SPOT Image (SPOT 2, 3 y 4) se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3, Características de las Imágenes del Sistema SPOT

SPOT 1, 2 Y 3.			
Mode	Band	Spectral band	Resolution
XS-multispectral	XS1	0,50 - 0,59 μm	20m x 20m
	XS2	0,61 - 0,68 μm	20m x 20m
	XS3	0,79 - 0,89 μm	20m x 20m
P-panchromatique	PAN	0,51 - 0,73 μm	10m x 10m
SPOT 4.			
Mode	Band	Spectral band	Resolution
Multispectral	B1	0,50 - 0,59 μm	20m x 20m
	B2	0,61 - 0,68 μm	20m x 20m
	B3	0,79 - 0,89 μm	20m x 20m
	MIR	1,58 - 1,75 μm	20m x 20m
M - monospectral	PAN	0,61 - 0,68 μm	10m x 10m

SPOT 5.

Mode	Band	Spectral band	Resolution
Multispectral	B1	0,50 - 0,59 μm	10m x 10m
	B2	0,61 - 0,68 μm	10m x 10m
	B3	0,79 - 0,89 μm	10m x 10m
	SWIR	1,58 - 1,75 μm	20m x 20m
M - monospectral	PAN	0,51 - 0,73 μm	5m x 5m (or 2.5m x 2.5m)

4.3.2 Cartas topográficas

Se utilizaron varias cartas en formato digital de INEGI:

Dos cartas topográficas con toponimia a escala:	1:250,000
Cuatro cartas topográficas con toponimia a escala:	1:50,000
Una carta edafológica con toponimia a escala:	1:250,000
Cuatro cartas de uso de suelo y vegetación a escala:	1:50,000

4.3.3 Software para el Procesamiento Digital y Sistemas de Información Geográfica

Para la corrección geométrica y el procesamiento digital de las imágenes se utilizaron dos software:

- ERDAS IMAGINE® Ver 8.7
- ENVI/IDL RSI (Research Systems Inc.) actualmente conocido como ITT.
- ENVI fue usado para la creación del modelo de Elevación Digital (DEM) y el Análisis del terreno.

Para la elaboración de los mapas, de las bases de datos de las subcuencas y el análisis espacial de los datos se usaron una combinación de software de ESRI:

- ARCINFO® (1985),
- ARCGIS 9 (Arcmap-Arcinfo)
- AUTOCAD Ver. 2005
- ARCVIEW® Ver 3.2 (1999) para la presentación de los resultados finales.
- Para la obtención de los datos climatológicos se utilizo en software ERIC 2000.

4.4 METODOS

4.4.1 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES PARA DETERMINAR EL USO ACTUAL DEL SUELO

Los mapas de uso del suelo y de la vegetación de INEGI no están actualizados, por lo cual fue necesario elaborarlos a partir de imágenes de satélite SPOT 5 multiespectrales.

Para la clasificación se utilizó el método de clasificación supervisada con el clasificador de Máxima Verosimilitud, el cual parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio adquirido por experiencia previa, por los trabajos de campo o a través de información auxiliar, para colocar sobre la imagen píxeles de entrenamiento. La media y la varianza de las áreas de entrenamiento son utilizadas para estimar la media y la varianza de las clases, y estimar la probabilidad de pertenencia de los píxeles a cada clase. Cada píxel se asigna a la clase con mayor probabilidad de pertenencia. La secuencia que se sigue para la clasificación supervisada es la siguiente:

Definición de los Píxeles de Entrenamiento: Se define sobre la imagen grupos de píxeles estadísticamente homogéneos para cada tipo de uso y comunidad vegetal. Varios factores son tomados en cuenta en el proceso de

colección de áreas de entrenamiento (Cambpel, 1996), estos factores son los siguientes:

Pureza, el área donde se toman los píxeles de entrenamiento debe ser lo mas representativa posible de la característica a la cual esta representando.

Tamaño, un número de 100 píxeles por muestra es aconsejable como mínimo.

Localización, las clases de entrenamiento deben situarse de tal manera que reflejen la diversidad de toda la imagen y en lo posible en lugares que sean fácilmente reconocibles en un mapa o fotografía aérea.

El Número de Áreas de Entrenamiento, depende del número de clases, se aconseja definir más áreas de entrenamiento que clases para que toda la diversidad dentro de cada clase esté representada. La secuencia para la elección de áreas de entrenamiento es como sigue:

- Recopilación de toda la información posible sobre el área de estudio.
- Reconocimiento preliminar de la imagen para determinar posibles zonas de entrenamiento.
- Definir posibles áreas de entrenamiento mediante digitalización en la imagen, formando grupos de píxeles estadísticamente homogéneos.
- Se verifica que las áreas de entrenamiento sean independientes en caso contrario se eliminan las sobrepuestas y se vuelven a definir.

Clasificación de la Imagen: El método de máxima verosimilitud estima la probabilidad de pertenencia de un píxel desconocido a las clases de entrenamiento a través de la varianza y la correlación.

Explícitamente se usa un modelo de probabilidad del tipo normal para determinar los límites de decisión, se asume que las áreas de entrenamiento para cada clase en cada banda están distribuidas normalmente. Las áreas de entrenamiento con histogramas sesgados bi o trimodales no son ideales para una clase, porque estos sesgos representan clases individuales que deben ser entrenados y etiquetadas como clases separadas (Erdas, 1996).

A partir del vector medio (M_c) para cada clase y la matriz de covarianza de la clase c (V_c) para todas las bandas, se clasifica vector x de un píxel en una clase, la regla de decisión que se asume es asignar el píxel x a la clase que tiene máxima probabilidad p_c :

$$p_c(a_c) \geq p_i(a_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ clases posibles} \quad (2)$$

$$p_c(a_c) = \ln(a_c) - 0.5 \ln[\det(V_c)] - \left[0.5(X - M_c)^T V_c^{-1} (X - M_c) \right] \quad (3)$$

Donde, $p_c(a_c)$ es la probabilidad de pertenencia del vector X a la clase c , X es el vector píxel de clase desconocida, M_c es el vector medio de la clase c , $\det(V_c)$ es el determinante de la matriz de covarianza V_c , a_c es una probabilidad a priori para un píxel que esta en la clase c .

4.4.2 ESTIMACIÓN DE REGISTROS FALTANTES DIARIOS Y MENSUALES

Los datos o valores faltantes de un registro de lluvia son bastante frecuentes y se deben a una gran variedad de causas. Por ejemplo, debido a desperfectos en el equipo de mediciones, por enfermedad o sustitución del encargado de las observaciones, por interrupciones debidas a limitaciones presupuestales, etc. En general, los datos faltantes son estimados en base a los registros de las estaciones cercanas, utilizando dos métodos: el Método del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos (Método del U. S. National Weather Service) y el Método Racional Deductivo, dependiendo de la

disponibilidad de los datos. A continuación se describe cada uno de los métodos mencionados:

Método del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos. Este procedimiento ha sido verificado tanto teórica como empíricamente y considera que el dato faltante en una cierta estación A, puede ser estimado en base a los datos observados en las estaciones circundantes. El método puede ser aplicado para estimar valores diarios, mensuales o anuales faltantes.

El método consiste en ponderar los valores observados con una cantidad W, definida como al recíproco del cuadrado de la distancia (D) entre cada estación vecina y la estación A. La lluvia estimada, P_x , será igual a:

$$P_x = \frac{\sum (P_i \times W_i)}{\sum W_i} \quad (4)$$

En donde:

P_i : precipitación observada para la fecha faltante, en las estaciones auxiliares circundantes (pueden ser como mínimo 2), en milímetros.

W_i : $1/D_i^2$, siendo D_i la distancia entre cada estación circundante y la estación incompleta, en Km.

Se recomienda utilizar cuatro estaciones auxiliares (las más cercanas) y de manera que cada una quede localizada en uno de los cuatro cuadrantes que definen unos ejes coordenados que pasan por la estación incompleta, generalmente los ejes norte-sur y oriente-poniente (Figura 7).

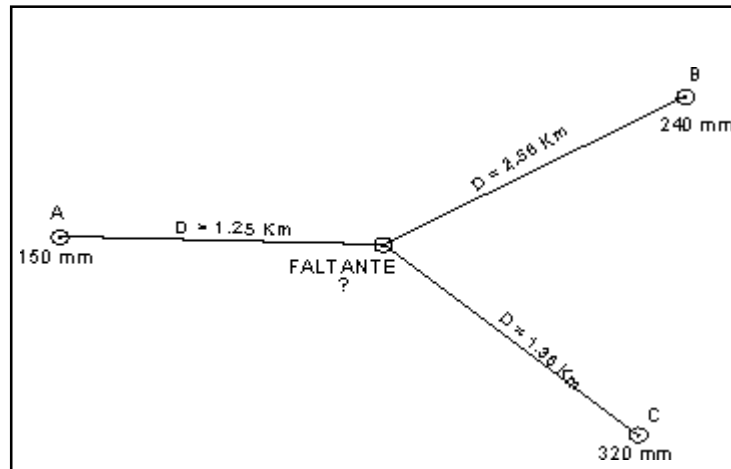


Figura 7, Estimación del dato faltante (Método del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos).

Método Racional Deductivo. Cuando no es posible disponer de estaciones cercanas y circundantes a la estación incompleta, o bien, las existentes no cuentan con observaciones de los datos (meses) faltantes, se puede estimar el valor mensual faltante por medio de un simple promedio aritmético de los valores contenidos en el registro para ese mes, lo anterior se considera válido únicamente si es un solo año (o máximo dos) el faltante y tal promedio se realiza con diez datos (años) como mínimo (o 20 años, en el caso de dos datos mensuales faltantes).

Con estos métodos se obtuvieron todos los datos diarios y mensuales faltantes de las 22 estaciones procediendo a obtener los promedios mensuales de cada una de las estaciones.

4.4.3 MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA

La erosión es un fenómeno compuesto de dos procesos que consisten en el desprendimiento de las partículas del suelo y su transporte por el agente

erosivo. Cuando la energía para este transporte no es suficiente, se presenta un tercer proceso: la sedimentación. La severidad de la erosión hídrica depende de la cantidad de material que se aporte a través del desprendimiento y de la capacidad del agente erosivo para transportarlo.

Cuando el agente erosivo tiene capacidad para transportar más material que el que se le está abasteciendo por el desprendimiento, se tiene el caso de una erosión limitada por el desprendimiento. Cuando hay más material desprendido que el que se puede transportarse, la erosión esta limitada por transporte. El reconocimiento de estos dos factores es importante porque el éxito o falla de los sistemas de conservación dependen de la aplicación de las medidas correctoras para limitar el factor dominante.

En la actualidad la estimación de pérdida de suelo debido a la erosión laminar y en canalillos puede ser calculada utilizando modelos matemáticos, entre estos, La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es el modelo matemático más utilizado para esta predicción.

4.4.4 Descripción de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, fue originalmente desarrollada por Wishmeier a partir de la década de los 40 y complementada por él mismo y Smith en 1965 cuando le aumentaron los factores de manejo del cultivo y del terreno.

Fue diseñada para propósitos de planeación y para predecir el impacto del uso de la tierra en la erosión del suelo.

En su origen fue desarrollada por Wishmeier para calcular promedios de suelo perdido anualmente por hectárea, ahora se han hecho modificaciones para poder hacerlo mensual o incluso por tormenta.

La Ecuación 4 es una relación empírica de factores multiplicativos, estructurada de la siguiente manera:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P. \quad (1)$$

Donde:

A = Es el promedio de pérdida de suelo anual en toneladas por hectárea

R = Es el factor de erosionabilidad de la lluvia (MJ mm/ha hr)

K = Es el factor de erosionabilidad del suelo (ton ha hr/ MJ mm ha

L = Es el factor de longitud de la pendiente (Adimensional)

S = Es el factor de grado de la pendiente (Adimensional)

C = Es el factor de manejo de cultivo (Adimensional)

P = Es el factor de prácticas mecánicas de control de erosión (Adimensional)

4.4.4.1 Factor de Erosionabilidad por Precipitación Pluvial (R)

La lluvia posee una capacidad potencial para causar erosión, a esto se le llama erosividad de la lluvia. Se mide a través de índices de erosividad.

Este es un cálculo estadístico de la suma anual de energía cinética de la lluvia (relacionado al tamaño de la gota de lluvia). En la estimación del tiempo de lluvia se considera como máximo 30 minutos de intensidad.

Para el caso de México, Cortés (1991) preparó un mapa de isoerosividad desarrollado con datos de 53 estaciones meteorológicas (Figuerola, 1991). Debido al escaso número de estaciones con pluviógrafos en el país y la escala a la que se realizó el plano, fue conveniente regionalizar las estaciones a fin de caracterizar áreas sujetas a condiciones similares de lluvia. Es así como Cortés forma 14 regiones diferentes de erosividad de la lluvia para la República Mexicana (Figura 8). Así también, se generaron las ecuaciones que se

muestran en el Tabla 4, que permiten la estimación del factor R de la USLE en función de lluvia anual para cada una de las regiones.

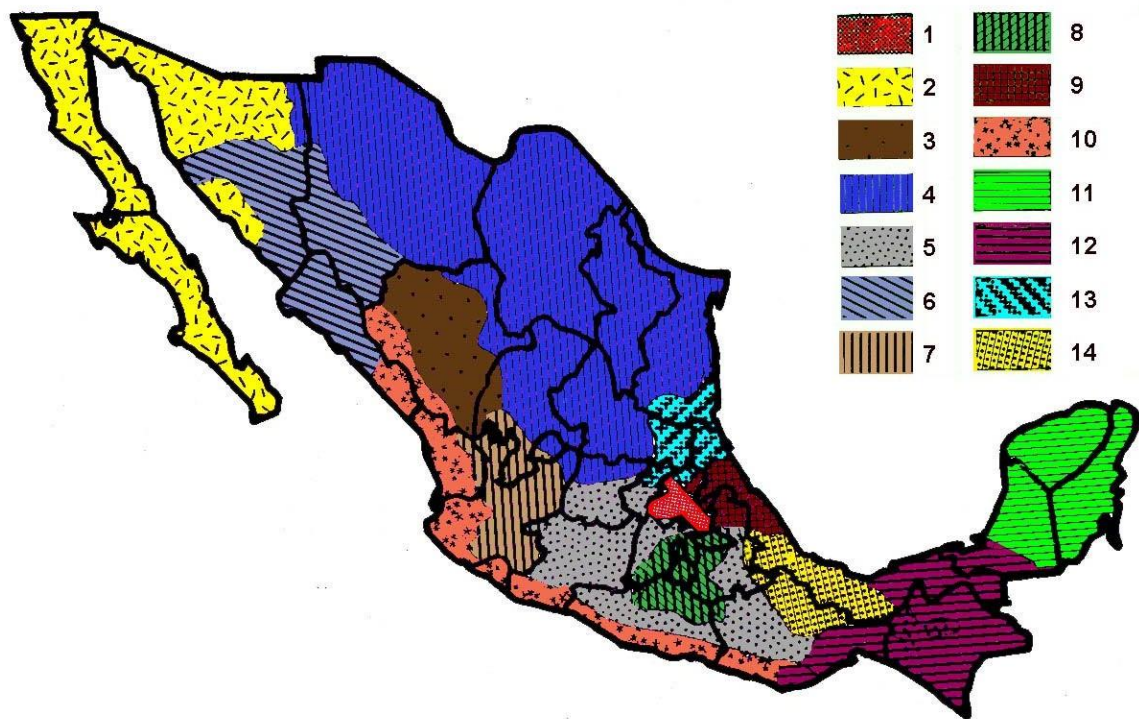


Figura 8, Regionalización de la Republica Mexicana con Base en Índices de Erosionabilidad (Cortes, 1991 citado por González, 2003).

Tabla 4. Ecuaciones para Estimar el Factor R por Región (Cortés, 1991).

Región	Ecuación	R ²
I	$Y = 1.2078X + 0.002276X^2$	0.92
II	$Y = 3.4555X + 0.006470X^2$	0.93
III	$Y = 3.6752X - 0.001720X^2$	0.94
IV	$Y = 2.8959X + 0.002983X^2$	0.92
V	$Y = 3.4880X - 0.000188X^2$	0.94
VI	$Y = 6.6847X + 0.0011680X^2$	0.90
VII	$Y = -0.0334X + 0.006661X^2$	0.98
VIII	$Y = 1.9967X + 0.003270X^2$	0.98
IX	$Y = 7.0458X - 0.002096X^2$	0.97
X	$Y = 6.8938X + 0.000442X^2$	0.95
XI	$Y = 3.7745X + 0.004540X^2$	0.98
XII	$Y = 2.4619X + 0.006067X^2$	0.96
XIII	$Y = 10.7427 - 0.001008X^2$	0.97
XIV	$Y = 1.5005X + 0.002640X^2$	0.95

4.4.4.2 Factor de Erodabilidad del Suelo (K)

Este factor cuantifica la resistencia del suelo al desprendimiento y/o transporte por el impacto de la gota de lluvia y/o flujo superficial.

La distribución del tamaño de las partículas primarias del suelo (textura), el contenido de materia orgánica, la estructura, los óxidos de hierro y aluminio, las uniones electroquímicas, el contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado del suelo, son algunas de las propiedades que determinan disposición del suelo a ser erodado (erodabilidad).

Wischmeier et al., 1978, elaboraron un nomograma que permite evaluar el factor K usando cinco parámetros del suelo:

- 1.- % de limos + arenas muy finas
- 2.- % de arenas
- 3.- % de materia orgánica
- 4.- Estructura
- 5.- Permeabilidad

Los Tablas 5 y 6 presentan la clasificación de la estructura del suelo utilizada para determinar el valor de erodabilidad del suelo.

Tabla 5, Códigos de Estructura para Definir el Valor de K. Fuente: Wischmeier et al., 1978.

Código	Estructura	Tamaño en (mm)
1	Granular masiva muy fina	< 1
2	Granular masiva fina	1 – 2
3	Granular masiva gruesa	2 – 5
4	Granular masiva muy gruesa, columnar, prismática o sin estructura	> 5

Tabla 6, Códigos de Permeabilidad del Suelo para Definir el Valor de K. Fuente: Wischmeier et al., 1978.

Código	Velocidad (mm/h)	Nombre
1	> 125	Muy rápida
2	125 – 60	Medianamente rápida
3	60 – 20	Moderada
4	20 – 5	Lenta
5	5 – 1.25	Medianamente lenta
6	< 1.25	Muy lenta

Existe una metodología propuesta por la FAO (1980), en la que se estima el valor de K a partir de la textura superficial y las subunidades de suelo (Tabla 7).

La simbología usada en los mapas edafológicos de INEGI incluye la información sobre las unidades de suelo y la textura para estimar un valor del factor K usando el Tabla 7 tal como se muestra en el ejemplo siguiente:

$$\frac{Ah}{2} \text{ o } \frac{Bh + I}{2}$$

Donde:

A = Unidad de suelo

Bh + I = Asociación de Unidades de Suelo

h = Subunidad de Suelo

2 = Textura

Tabla 7, Valores del Factor de Erosionalidad K, (FAO, 1980).

Orden	Textura			Orden	Textura			Unidades de suelo de la clasificación FAO	
	G	M	F		G	M	F	Nombre	Símbolo
A	0.026	0.040	0.013	Lo	0.026	0.040	0.013	Acrisoles	A
Af	0.013	0.020	0.007	Lp	0.053	0.079	0.026	Cambisoles	B
Ag	0.026	0.04	0.013	Lv	0.053	0.079	0.026	Chernozem	C
Ah	0.013	0.020	0.007	M(a,g)	0.026	0.040	0.013	Podzoluvisoles	D
Ao	0.026	0.040	0.013	N(d,e,h)	0.013	0.020	0.007	Rendzinas	E
Ap	0.053	0.079	0.026	O(d,e,x)	0.013	0.020	0.007	Ferrosols	F
B	0.026	0.040	0.013	P	0.053	0.079	0.026	Gleysols	G
Bc	0.026	0.040	0.013	Pf	0.053	0.079	0.026	Feozem	H
Bd	0.026	0.040	0.013	Pg	0.053	0.079	0.026	Litosols	I
Be	0.026	0.040	0.013	Ph	0.026	0.040	0.013	Fluvisols	J
Bf	0.013	0.020	0.007	Pl	0.026	0.040	0.013	Kastañozem	K
Bg	0.026	0.040	0.013	Po	0.053	0.079	0.026	Luvisols	L
Bh	0.013	0.020	0.007	Pp	0.053	0.079	0.026	Gleysem	M
BK	0.026	0.040	0.013	Q(a,c,f,l)	0.013	0.020	0.007	Nitosols	N
Bv	0.053	0.079	0.026	R	0.026	0.040	0.013	Histosols	O
Bx	0.053	0.079	0.026	Re	0.026	0.040	0.013	Podzole	P
C(g,h,k,l)	0.013	0.020	0.007	Rc	0.013	0.020	0.007	Arenosols	Q
D(d,e,g)	0.053	0.079	0.026	Rd	0.026	0.040	0.013	Regosols	R
E	0.013	0.020	0.007	Rx	0.053	0.079	0.026	Solonetz	S
F(a,h,o,p,r,x)	0.013	0.020	0.007	S	0.053	0.079	0.026	Andosols	T
G	0.026	0.040	0.013	Sg	0.053	0.079	0.026	Rankers	U
Gc	0.013	0.020	0.007	Sm	0.026	0.040	0.013	Vertisols	V
Gd	0.026	0.040	0.013	So	0.053	0.079	0.026	Planosols	W
Ge	0.026	0.040	0.013	T	0.026	0.040	0.013	Xerosols	X
Gh	0.013	0.020	0.007	Th	0.013	0.020	0.007	Yermosols	Y
Gm	0.013	0.020	0.007	Tm	0.013	0.020	0.007	Solonchak	Z
Gp	0.053	0.079	0.026	To	0.026	0.040	0.013		
Gx	0.053	0.079	0.026	Tv	0.026	0.040	0.013		
Gv	0.053	0.079	0.026	U	0.013	0.020	0.007		
H(c,g,h,l)	0.013	0.020	0.007	V(c,p)	0.053	0.079	0.026		
I	0.013	0.020	0.007	W	0.053	0.079	0.026		
J	0.026	0.040	0.013	Wd	0.053	0.079	0.026		
Jc	0.013	0.020	0.007	We	0.053	0.079	0.026		
Jd	0.026	0.040	0.013	Wh	0.026	0.040	0.013		
Je	0.026	0.040	0.013	Wm	0.026	0.040	0.013		
Jt	0.053	0.079	0.026	Ws	0.053	0.079	0.026		
Jp	0.053	0.079	0.026	Wx	0.053	0.079	0.026		
K(h,k,l)	0.026	0.040	0.013	X(h,k,l,y)	0.053	0.079	0.026		
L	0.026	0.040	0.013	Y(h,k,l,y,t)	0.053	0.079	0.026		
La	0.053	0.079	0.026	Z	0.026	0.040	0.013		
Lc	0.026	0.040	0.013	Zg	0.026	0.040	0.013		
Lf	0.013	0.020	0.007	Zm	0.013	0.020	0.007		
Lg	0.026	0.040	0.013	Zo	0.026	0.040	0.013		
Lk	0.026	0.040	0.013	Zt	0.053	0.079	0.026		

- G = Gruesa, M = Mediana, F = Fina

4.4.4.3 Factor de Longitud e Inclinación de la Pendiente (LS)

El factor LS relaciona la distancia en metros que recorre el agua sobre el terreno antes de cambiar de dirección y el grado de inclinación de dicho fragmento del terreno. Esta relación es importante puesto que determina la velocidad del flujo.

Pendientes más pronunciadas producen velocidades más altas del flujo superficial. Pendientes mas largas acumulan escurrimientos de áreas más altas y también resultan en velocidades más altas del flujo superficial. Entonces ambos resultan en incremento a la erosión potencial, aunque no de una manera lineal, por convencionalismo L y S son incluidas en un solo termino.

La longitud de la pendiente (L) y el grado de las pendiente (S) expresadas en porcentaje representan la participación determinante de la topografía en el proceso de pérdida de suelo. A medida de que el valor de estos factores aumenta, la perdida de suelo es mayor.

El Factor LS de la USLE se desarrolla usando una unidad de evaluación denominado lote estándar. Un lote estándar tiene 22.13 m de longitud y se encuentra ubicado en una pendiente uniforme con un 9% de inclinación. Este lote estándar se utilizó como base para definir la variación de los factores L y S (WISCHMEIER, 1978).

Así, la ecuación para el cálculo de L queda definida de la siguiente manera:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (5)$$

Donde:

λ = Longitud de la pendiente en metros

m = Exponente que depende del grado de pendiente

La magnitud del exponente (m) varía en función de la pendiente del terreno, siendo sus valores entre 0.1 y 0.5 (Mitchell, 1984) como lo, indica el Tabla 8.

Tabla 8, Valores del Exponente (m) Dependiendo del Grado de Inclinación.

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

Valor del exponente	Porcentaje de pendiente
0.5	$S_t > 5$
0.4	$3 > S_t > 5$
0.3	$2 > S_t > 3$
0.2	$1 > S_t > 2$
0.1	$S_t < 1$

En el cuadro anterior, S_t es la pendiente del terreno y se determina usando la siguiente ecuación:

$$S_t = \frac{D_n}{\lambda} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

S_t = Pendiente del terreno en %

D_n = Desnivel en metros

λ = Longitud de la pendiente en metros

El factor S es una función de S_t y se calcula usando la ecuación 6:

$$S = \frac{0.43 + 0.30S_t + 0.04S_t^2}{6.613} \quad (7)$$

Donde:

S = Factor S

S_t = Pendiente en %

La formula final para el cálculo del factor S se muestra a continuación:

$$S = 0.065 + 0.045S_t + 0.0065S_t^2 \quad (8)$$

4.4.4.4 Factor de Manejo de Cultivo (C)

Este factor traduce los efectos de manejo agrícola de la tierra tales como la labranza (fechas y tipos), cultivos, distribución estacional del índice erosivo, historia de los cultivos (rotación) y nivel de rendimiento del cultivo (producción potencial de materia orgánica).

Los valores de C fluctúan entre 0.0 y 1.0, siendo la unidad la condición extrema que favorece la erosión (sin cobertura vegetal y con barbecho continuo), y 0.0 para terreno totalmente protegido por cobertura vegetal. Con fines prácticos varios autores señalan el uso de tablas para determinar el valor de C; dichos valores se muestran en el Tabla 9.

Tabla 9, Valores del Factor C para diferentes Manejos del Suelo y Cultivos en México a partir de varios autores (Santos, 1995).

Rotación o Cultivo Chapingo, México	Manejo del Suelo y Cultivo	Factor
Maíz	SE (Sin escardas), SR (Sin residuos)	0.47
Maíz	SE, SR	0.47
Maíz	CE (Con escarda), CR (3.0 ton/ha, rastrojo)	0.34
Maíz	CE, CR (6.0 ton/ha de rastrojo)	0.25
Maíz	CE, AO (10.0 ton/ha de estiércol)	0.31
Maíz – Maíz - Maíz	CE, SR	0.298
Maíz	CE, SE de media prod. (44 ton/ha FV)	
Fríjol	CE, SR	0.273
Asoc. Maíz - Fríjol	CE, SR	0.42
Asoc. Maíz - Fríjol	SE, SR	0.30
Asoc. Maíz - Fríjol	CE, CR (3.0 ton/ha de rastrojo)	0.31
Asoc. Maíz - Fríjol	CE, CR (6.0 ton/ha de rastrojo)	
Asoc. Maíz - Fríjol	CE, CR, AO (10.0 ton/ha de estiércol)	0.38
3 ciclos Asoc. Maíz - Fríjol	CE, SR	0.240
3 ciclos Asoc. Maíz - Haba	CE, SR	0.187
Cebada	SR	0.17
Cebada	CR (3.0 ton/ha de rastrojo)	0.11
Cebada	CR (6.0 ton/ha de rastrojo)	0.16
Cebada	AO (10.0 ton/ha de estiércol)	0.09
3 ciclos de Cebada	CR	0.067
Cebada	SR alta productividad (34.0 ton/ha FV)	0.075
Cebada	SR media productividad (28.0 ton/ha FV)	
Cebada	SR baja productividad (28.0 ton/ha FV)	0.126
3 ciclos de Trigo	SR	0.135
3 ciclos de Avena	SR	0.124

En los bosques no disturbados la capacidad de infiltración y contenido de materia orgánica son altos y mucha de la superficie está cubierta por un mantillo de materia orgánica en descomposición de varios centímetros de espesor. Estas capas de mantillo protegen al suelo de las fuerzas erosivas del escurrimiento y de las gotas de lluvia (Figuerola, 1991). El factor C para bosques no disturbados se obtiene del Tabla 10. Los valores del factor C para una combinación de coberturas entre pastizales, agostaderos y terrenos en descanso se muestran en el Tabla 11.

Tabla 10, Factor C para Terrenos Forestales no Disturbados (Wischmeier et al., 1978)

Porcentaje del área cubierta por el follaje de los árboles y arbustos	Porcentaje del área cubierta por mantillo de más de 5cm de espesor	Factor C
100 – 75	100 – 90	0.0001 – 0.001
70 – 45	85 – 75	0.002 – 0.004
40 – 20	70 – 40	0.003 – 0.009

Tabla 11, Factor de Cobertura Vegetal C para Pastizales, Agostaderos y Terrenos en Descanso (Wischmeier et al., 1978)

Cobertura Aérea Tipo y Altura	Porcentaje de Cobertura	Cobertura en contacto con la superficie del suelo Porcentaje de Cobertura						
		Tipo*	0	20	40	60	80	95
Cobertura no apreciable		P	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
		M	0.45	0.24	0.15	0.091	0.043	0.011
Malezas altas o arbustos con altura promedio de caída de gotas de 50 cm.	25	P	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
	50	M	0.36	0.20	0.13	0.083	0.041	0.011
		P	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
	75	M	0.26	0.16	0.11	0.076	0.039	0.011
		P	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
		M	0.17	0.12	0.09	0.068	0.038	0.011
Arbustos numerosos con alturas promedio de caída de gotas de 2 m	25	P	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
	50	M	0.40	0.22	0.14	0.087	0.042	0.011
		P	0.34	0.16	0.08	0.038	0.012	0.003
	75	M	0.34	0.19	0.13	0.082	0.041	0.011
		P	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
		M	0.28	0.17	0.12	0.078	0.040	0.011
Árboles sin arbustos. Promedio de caída de gotas de 4 m	25	P	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
	50	M	0.42	0.23	0.14	0.089	0.042	0.011
		P	0.39	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
	75	M	0.39	0.21	0.14	0.087	0.042	0.011
		P	0.36	0.17	0.09	0.039	0.012	0.003
		M	0.36	0.20	0.13	0.084	0.041	0.011

* P = Pastos, M = Malezas

4.4.4.5 Factor de Prácticas Mecánicas (P)

Por definición el factor P de la Ecuación Universal es la relación entre la pérdida del suelo con una práctica de conservación a la pérdida correspondiente en un terreno surcado, en el sentido de la pendiente.

a).-Determinación del Valor del Factor P para Surcado al Contorno: Este cálculo se hace utilizando un factor por altura de surcos que es modificado en función de la severidad de las lluvias y que se ajusta para el caso de surcados al contorno con declive. El factor por altura del surco se obtiene en el Tabla 12.

Tabla 12, Factor P para Surcado al Contorno. Fuente: Figueroa et al., 1991.

Pendiente %	Altura de Surcos		
	Baja (2.5 - 7.5 cm)	Moderada (7.5 - 12.5 cm)	Alta (> 12.5 cm)
0.5	1.0	0.8	0.8
1	0.9	0.7	0.7
2	0.9	0.6	0.5
3	0.9	0.5	0.3
4	0.8	0.5	0.3
5	0.8	0.5	0.2
6	0.8	0.5	0.2
7	0.8	0.5	0.2
8	0.8	0.5	0.2
9	0.8	0.5	0.2
10	0.8	0.6	0.2
11	0.8	0.6	0.2
12	0.9	0.6	0.2
13	0.9	0.6	0.3
14	0.9	0.6	0.3
15	1.0	0.6	0.3
16		0.7	0.3
17		0.7	0.3
18		0.7	0.3
19		0.8	0.4
20		0.8	0.4
21		0.9	0.5
22		0.9	0.5
23		1.0	0.6
24			0.6
26			0.7
28			0.8
30			0.9
32			1.0

b).- Factor P para terrazas: En el Tabla 13 se da el factor para terrazas utilizado en el cálculo de la erosión en la ecuación.

Tabla 13. Factor P para Terrazas. Fuente Figueroa et al., 1991.

Intervalo Horizontal (m)	Extremos Cerrados	Valores del factor P para terrazas con desagües y pendiente de:		
		0.1 - 0.3	0.4 - 0.7	> 0.8
< 30	0.5	0.6	0.7	1.0
30 – 45	0.6	0.7	0.8	1.0
45 – 55	0.7	0.8	0.9	1.0
55 – 70	0.8	0.8	0.9	1.0
70 – 90	0.9	0.9	1.0	1.0
> 90	1.0	1.0	1.0	1.0

FALTA CUADRO 14 DIAGRAMA DE FLUJO

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA RED HIDROGRÁFICA Y CANALES (SIG-RHC)

La digitalización de la Red Hidrográfica de la zona de estudio se llevó a cabo por medio del software ERDAS IMAGINE 8.7 y Autocad 2005. El SIG-RHC incluye un mapa general de la Cuenca Oriente del ex – Lago de Texcoco (Figura 9) y su base de datos, y ocho mapas con sus respectivas tablas de atributos correspondientes a las ocho subcuencas que conforman el área de estudio.

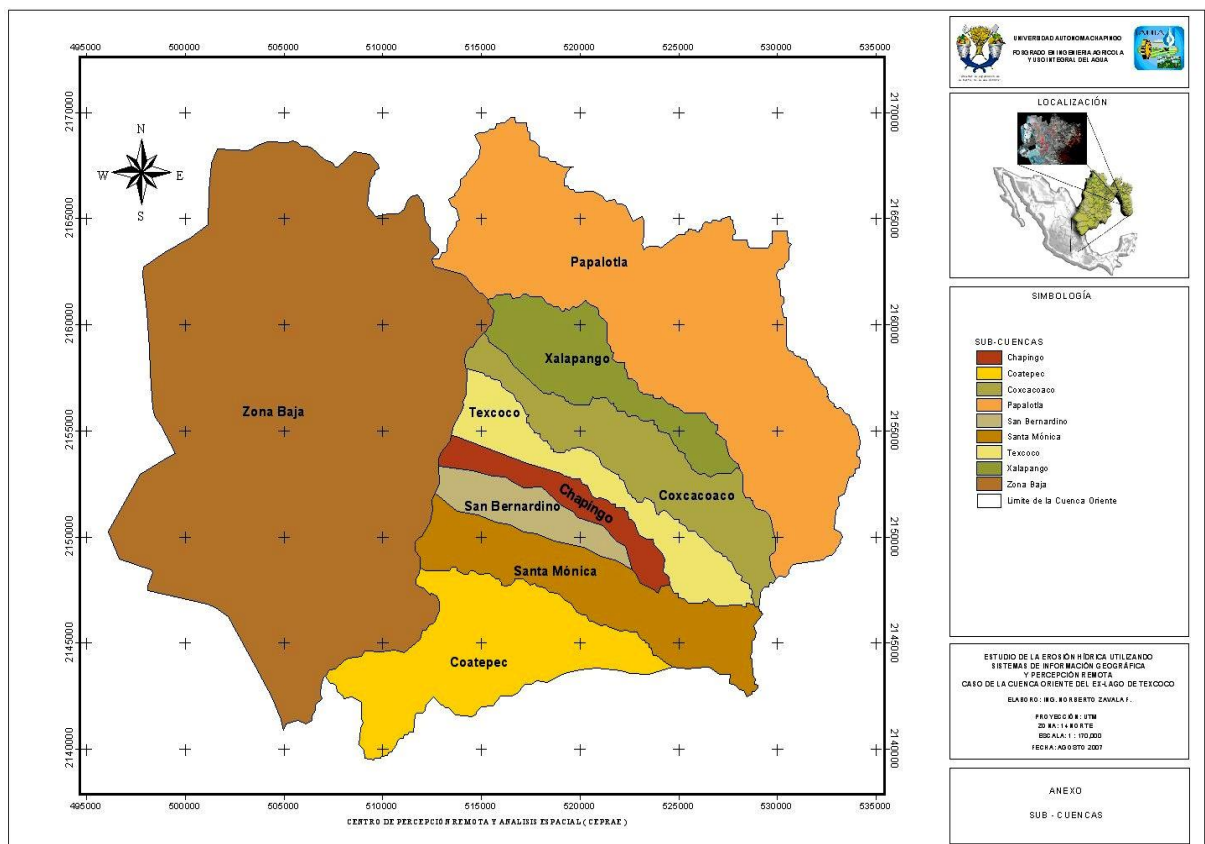


Figura 9, Mapa General de la Cuenca Oriente del ex – Lago de Texcoco.

La tabla de atributos del mapa general del cual se derivan los ocho mapas de las subcuencas se muestra a continuación (Tabla 15):

Tabla15, Atributos de la Cuenca Oriente del ex - Lago de Texcoco

NOMBRE	SUB-CUENCAS	ÁREA Km ²	PERIMETRO
PAPALOTLA	1	186.581	90167.88
ZONA BAJA	2	376.941	91998.23
XALAPANGO	3	39.715	40743.79
COXCACOACO	4	51.035	52956.93
TEXCOCO	5	36.626	48170.74
CHAPINGO	6	18.525	32728.56
SAN BERNARDINO	7	19.407	25379.22
SANTA MÓNICA	8	57.287	51496.08
COATEPEC	9	74.262	52906.20

En la Figura 10 se muestra la clasificación de la Red Hidrográfica por orden y subcuenca

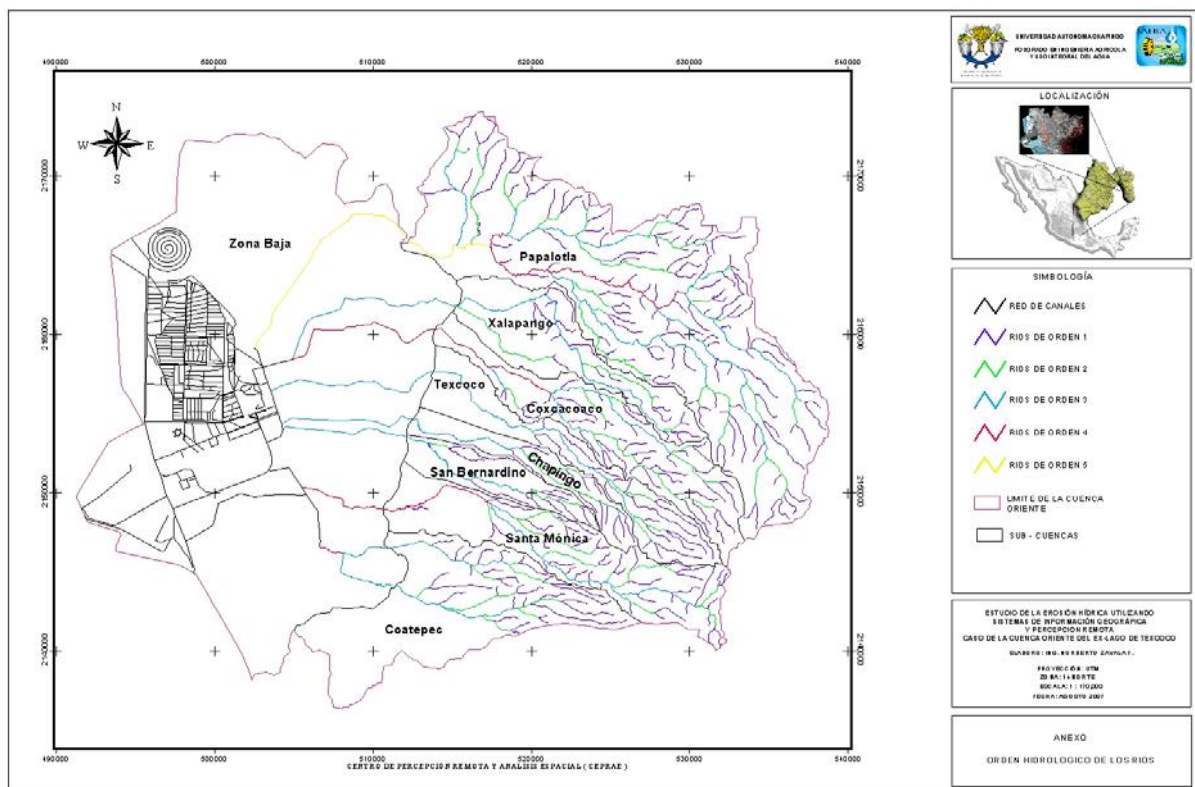


Figura 10. Red Hidrográfica y Sistema de Canales de la Cuenca Oriente.

La base de datos correspondiente se muestra en el Tabla 16.

Tabla 16, Base de Datos de la Red Hidrográfica.

NOMBRE	LONGITUD	NÚMERO DE ORDEN	COD. DE CUENCA
CHAPINGO	18389.176	1	1
CHAPINGO	9769.196	2	1
CHAPINGO	14935.407	3	1
TOTAL	43093.779		
COATEPEC	46073.453	1	2
COATEPEC	15916.490	2	2
COATEPEC	21681.708	3	2
COATEPEC	1402.904	4	2
TOTAL	85074.554		
COXCACOACO	55946.537	1	3
COXCACOACO	19665.673	2	3
COXCACOACO	13697.971	3	3
COXCACOACO	17201.068	4	3
TOTAL	106511.248		
PAPALOTLA	158162.890	1	4
PAPALOTLA	57540.410	2	4
PAPALOTLA	54778.932	3	4
PAPALOTLA	15737.754	4	4
PAPALOTLA	18362.483	5	4
TOTAL	304582.469		
SAN BERNARDINO	20802.996	1	5
SAN BERNARDINO	4542.672	2	5
SAN BERNARDINO	15880.649	3	5
TOTAL	41226.316		
SANTA MONICA	50401.311	1	6
SANTA MONICA	23910.331	2	6
SANTA MONICA	16118.760	3	6
SANTA MONICA	12002.465	4	6
TOTAL	102432.867		
TEXCOCO	33971.520	1	7
TEXCOCO	7455.614	2	7
TEXCOCO	25040.077	3	7
TOTAL	66467.212		
XALAPANGO	23878.175	1	8
XALAPANGO	13834.249	2	8
XALAPANGO	28778.893	3	8
TOTAL	66491.317		

En base a la información del cuadro anterior considerando algún campo podemos realizar alguna búsqueda de los atributos y estadísticas de la base de datos (Figura 11 y Tabla 17).

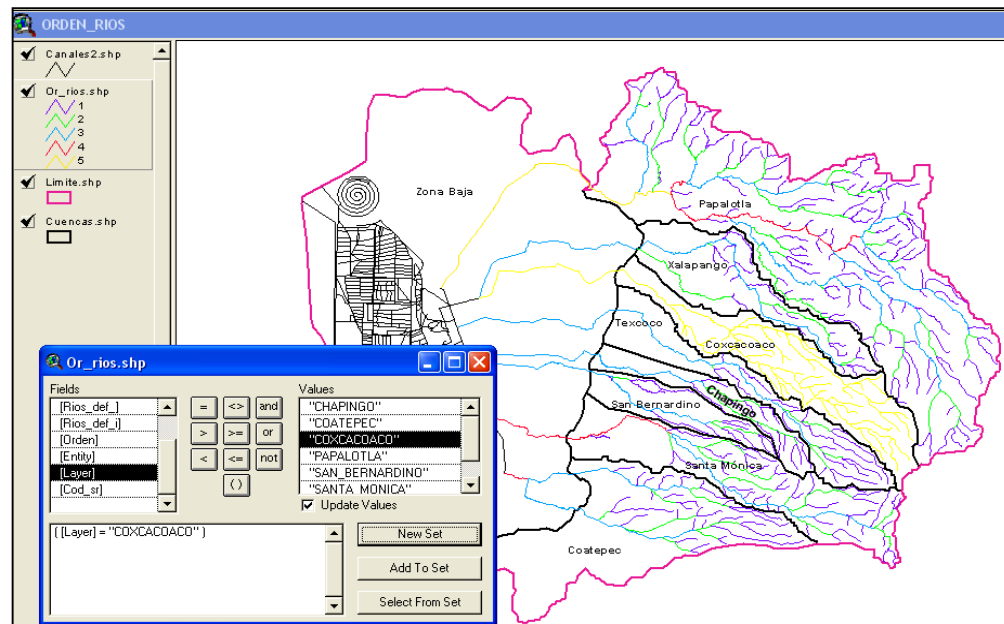


Figura 11, Búsqueda de Atributos de la Red Hidrográfica con ayuda de ArcView.

Tabla17, Estadística de la Base de Datos correspondiente a la búsqueda (o Query) anterior.

ArcView GIS 3.2										
File Edit Table Field Tools Window Help										
0 of 598 selected										
Attributes of Or_rios.shp										
Shape	Fnode	Tnode	Length	Rios_def	Rios_def_i	Order	Entity	Layer	Cod_sr	
PolyLine	204	213	13400.030000	210	179	4	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	230	213	1380.431000	226	268	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	232	225	1169.325000	227	271	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	230	233	125.403500	228	175	2	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	231	235	974.898300	230	305	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	235	232	349.881900	231	305	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	238	235	86.206300	233	270	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	213	240	3801.038000	235	269	4	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	232	240	715.361100	237	305	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	240	242	62.585940	238	269	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	244	231	1063.330000	240	305	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	246	244	498.338700	242	305	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	248	233	465.170300	244	174	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	242	253	377.507600	249	269	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	233	255	624.344100	251	175	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	244	256	480.563300	252	166	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	259	242	739.869900	254	159	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	253	260	380.115600	255	269	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	246	262	1106.636000	257	155	2	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	269	258	1025.668000	263	161	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	269	230	1650.809000	264	268	2	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	260	272	332.512800	266	269	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	275	272	396.559800	269	160	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	272	276	73.273030	270	269	3	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	260	279	826.921300	273	157	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	281	262	1071.285000	275	154	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	283	276	475.035900	276	158	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	267	269	1903.046000	278	268	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	287	253	2753.063000	280	156	1	Polyline	COXCACOACO	3	
PolyLine	231	288	2187.579000	281	176	2	Polyline	COXCACOACO	3	

5.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Las estaciones meteorológicas que se consideraron para el estudio de la cuenca oriente fueron obtenidas del programa ERIC-2000, en donde en base a las coordenadas (Latitud y Longitud) de un área rectangular la cual cubría en su totalidad la zona de estudio, se extrajeron las estaciones las cuales estaban repartidas en toda la zona. De las 42 estaciones obtenidas del programa ERIC-2000, se procedió a realizar una depuración de la misma en base a la cercanía con la zona de estudio y de acuerdo al número de años de registro que presentaba cada una de ellas, quedándose solamente con 27 estaciones las cuales se presentan a continuación en el Tabla 18.

Tabla 18, Estaciones Metereológicas

No.	Longitud	Latitud	Elevación	Clave	Estación
1	-99.0833	19.4000	2240	9009	Col. Agrícola Oriental
2	-99.0833	19.4833	2240	9029	Km 6+250 Gran Canal
3	-99.0667	19.4667	2340	9043	Col. San Juan de Aragón
4	-98.6667	19.6167	2730	13005	Charco del Zacaton E. Z.
5	-98.6667	19.6333	2820	13007	Corralejo, E. Zapata
6	-98.8167	19.4167	2326	13035	Tezontepec, Tezontepec
7	-98.9167	19.5500	2300	15008	Atenco, Texcoco (DGE)
8	-98.9000	19.4500	2449	15029	El Tejocote, Atlacomulco
9	-99.0167	19.5667	2240	15040	Km 2+120 (Bombas)
10	-98.8833	19.5500	2800	15044	La Grande, Texcoco
11	-98.8833	19.5167	2268	15083	San Andrés Texcoco
12	-98.6833	19.6000	2810	15091	San José Tepetlaoxtoc
13	-98.8167	19.5167	2420	15101	San Miguel Tlaixpan, Texcoco
14	-98.8167	19.5833	2300	15123	Tepetlaoxtoc
15	-98.9167	19.6167	2240	15124	Tepexpan, Tepexpan
16	-98.8833	19.5167	2216	15125	Texcoco, Texcoco (DGE)
17	-98.6667	19.6167	2760	15135	Xochihuacan, Otumba
18	-98.9167	19.5500	2245	15138	Atenco, Texcoco (CFE)
19	-99.0000	19.4500	2236	15145	Canto, Plan Lago de
20	-98.8833	19.5167	2278	15163	Texcoco, Texcoco (SMN)
21	-98.9000	19.4500	2485	15167	El Tejocote, Texcoco
22	-98.8833	19.5000	2250	15170	Chapingo, Texcoco
23	-98.7000	19.5333	2882	15210	San Juan Totolapan
24	-98.9000	19.6333	2262	15263	Acolman, Acolman
25	-98.9500	19.6167	900	21217	Teutla, Jolalpan
26	-98.6833	19.5667	2790	29013	La Venta, Calpulalpan
27	-98.9333	19.4167	2230	15023	Chimalhuacan

En la tabla anterior se observan las 27 estaciones varias de ellas están iluminadas de diferentes tonos de colores para indicar las estaciones que presentan las mismas coordenadas (Latitud y Longitud).

El procedimiento que se utilizó para la corrección de sus coordenadas fue checar en el manual de Enriqueta García las coordenadas correctas de las estaciones que presentaban este problema.

Con las coordenadas correctas para cada una de las estaciones se procedió a extraer todos los registros de forma diaria de precipitación de las 27 estaciones comprendiendo un periodo de 1940 a 1999 del programa ERIC-2000, cabe aclarar que hay estaciones que no cumplen con todo este periodo de registro.

Posteriormente se procedió a la eliminación de estaciones en base al registro de número de años que presentaban datos de precipitación y la cantidad de datos faltantes así como a su ubicación por ejemplo.

El caso de las estaciones de Atenco (CFE) y Atenco (DGE), en el primer caso presentaba 12 años de registros con un total de 48 datos diarios faltantes, por lo contrario en la segunda estación presentaba 24 años de registro con un total de datos faltantes de 5.

Este criterio fue utilizado para las demás estaciones, quedando solo 22 estaciones meteorológicas las cuales presentan en el Tabla 19, las cuales fueron utilizadas para este trabajo.

En la Figura 12, se muestra la distribución de dichas estaciones con respecto a la Cuenca Oriente.

Tabla 19, Estaciones Meteorológicas Definitivas

No.	Longitud	Latitud	Elevación	Clave	Estación
1	-99.0833	19.4000	2240	9009	Col. Agrícola Oriental
2	-99.0833	19.4833	2240	9029	Km 6+250 Gran Canal
3	-99.0667	19.4667	2340	9043	Col. San Juan de Aragón
4	-98.6667	19.6167	2730	13005	Charco del Zacaton E. Z.
5	-98.6667	19.6333	2820	13007	Corralejo, E. Zapata
6	-98.8167	19.4167	2326	13035	Tezontepec, Tezontepec
7	-98.9167	19.5500	2300	15008	Atenco, Texcoco (DGE)
8	-98.9333	19.4167	2230	15023	Chimalhuacan
9	-99.0167	19.5667	2240	15040	Km 2+120 (Bombas)
10	-98.8833	19.5500	2800	15044	La Grande, Texcoco
11	-98.8500	19.5333	2268	15083	San Andrés Texcoco
12	-98.6833	19.6000	2810	15091	San José Tepetlaoxtoc
13	-98.8167	19.5167	2420	15101	San Miguel Tlaixpan, Texcoco
14	-98.8167	19.5833	2300	15123	Tepetlaoxtoc
15	-98.9167	19.6167	2240	15124	Tepexpan, Tepexpan
16	-98.8833	19.5167	2216	15125	Texcoco, Texcoco (DGE)
17	-99.0000	19.4500	2236	15145	Canto, Plan Lago de
18	-98.9000	19.4500	2485	15167	El Tejocote, Texcoco
19	-98.8833	19.5000	2250	15170	Chapingo, Texcoco
20	-98.7000	19.5333	2882	15210	San Juan Totolapan
21	-98.9000	19.6333	2262	15263	Acolman, Acolman
22	-98.6833	19.5667	2790	29013	La Venta, Calpulalpan

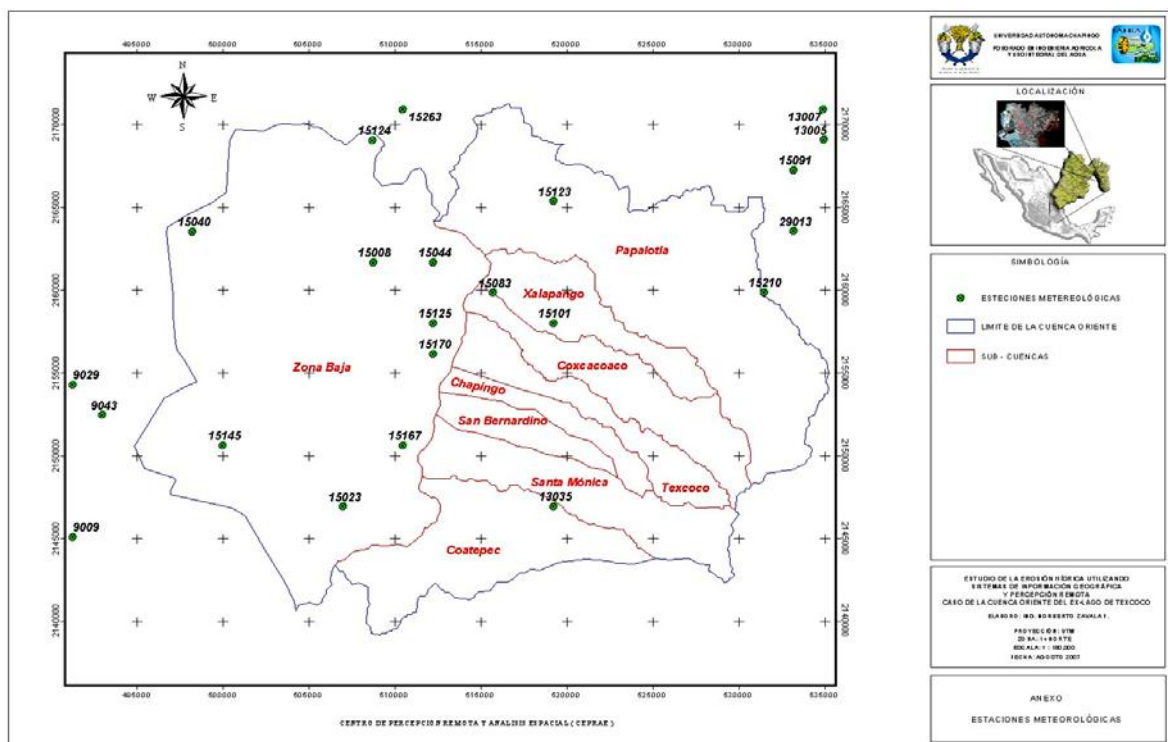


Figura 12, Ubicación de Estaciones Metereológicas de la Cuenca Oriente.

5.3 ESTIMACIÓN DE REGISTROS FALTANTES DIARIOS Y MENSUALES

Con las estaciones meteorológicas definitivas con las cuales se trabajaría se procedió a convertir el archivo en formato DBF para poder desplegarse en el software de ArcView y poder obtener las distancias entre cada una de ellas, las cuales se utilizaran para realizar la estimación de datos faltante por medio del Método del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos. Presentándose solo un caso en donde la distancia excedió de 5km. ya que las estaciones cercanas no presentaban datos y no se cumplía con las condiciones del método racional deductivo.

Mediante este método se obtuvieron los datos diarios faltantes para cada una de las estaciones en alguno de los casos se presentaba que las estaciones circundantes carecían del mismo dato de precipitación en estos casos se utilizo el Método Racional Deductivo.

Con estos dos métodos se estimaron todos los datos faltantes de cada una de las 22 estaciones meteorológicas.

5.4 CLASIFICACIÓN DEL USO ACTUAL Y VEGETACIÓN CON IMAGEN SATELITAL SPOT 5

5.4.1 Pre-procesamiento

El resultado de esta fase consiste en la elaboración de un mosaico con las tres imágenes multiespectrales que incluyen el área de estudio, y el recorte de ese mosaico a lo largo del polígono que delimita la cuenca oriente del ex-lago de Texcoco como se muestra en la figura 13 y en la figura 14 se muestra un modelo en 3D de la cuenca.

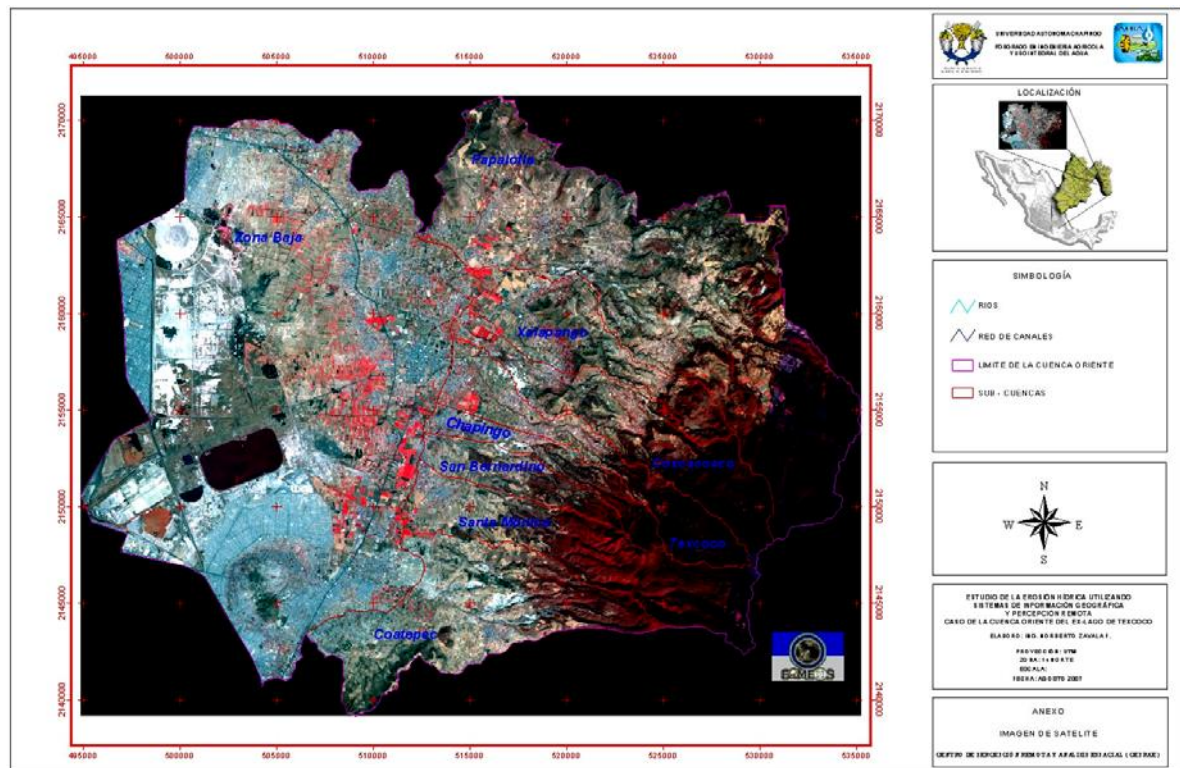


Figura 13, Imagen Satelital de la Cuenca Oriente.

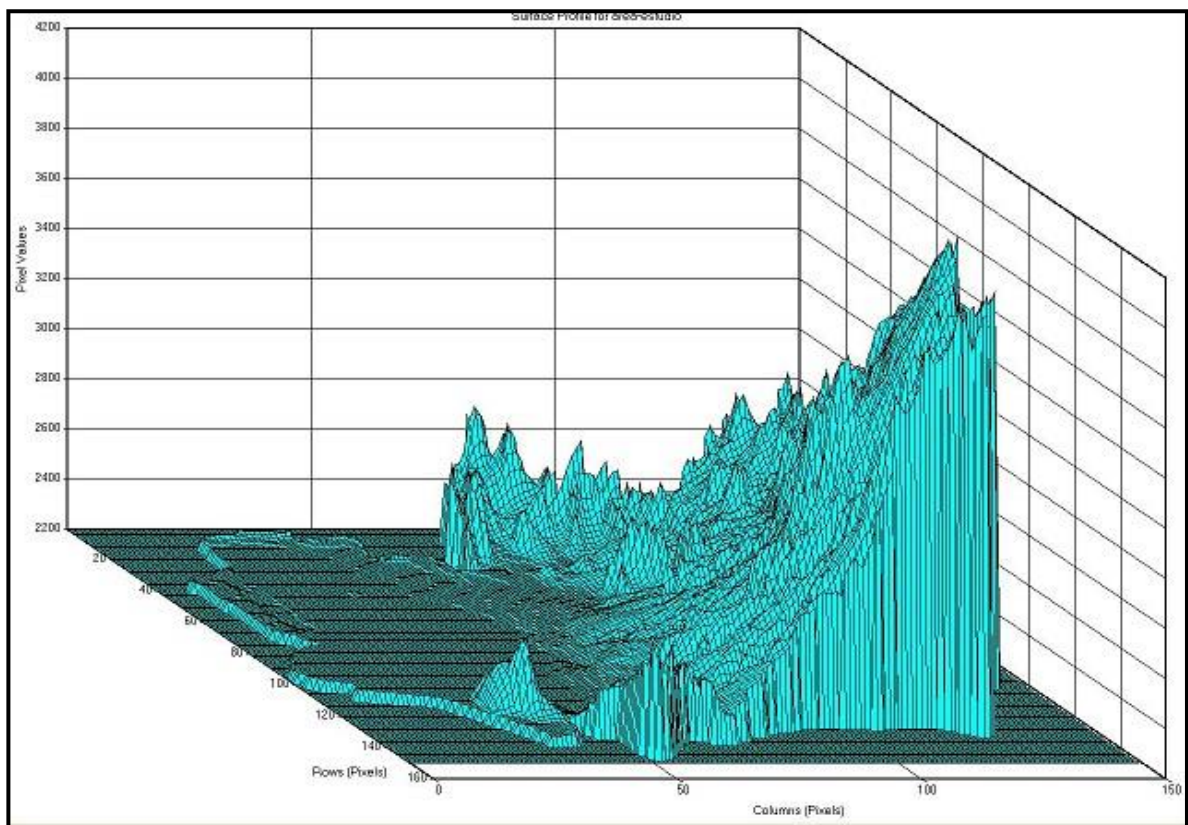


Figura 14, Modelo en 3D.

5.4.2 Clasificación de la Imagen de la Cuenca Oriente

La imagen recortada fue clasificada usando el método de clasificación supervisada y el clasificador de Máxima verosimilitud, usando píxeles de entrenamiento colectados a lo largo de la imagen con un tamaño de muestreo de 100 píxeles como mínimo por sitio de muestreo. Cincuenta y cuatro firmas espectrales fueron colectadas para las nueve clases de uso (Cuerpos de Agua, Desarrollo Urbano, Carreteras, Campos Agrícolas, Minas, Composteo, Suelos Salinos, Matorrales y Zona de Pinos - Encinos) siendo de 5 a 15 firmas espectrales de entrenamiento por clase de uso. La clasificación final (Figura 15) fue obtenida después de cuatro iteraciones, clasificación-evaluación de los píxeles-muestras, seguidas de remuestreo y eliminación de los píxeles que causan mayor confusión.

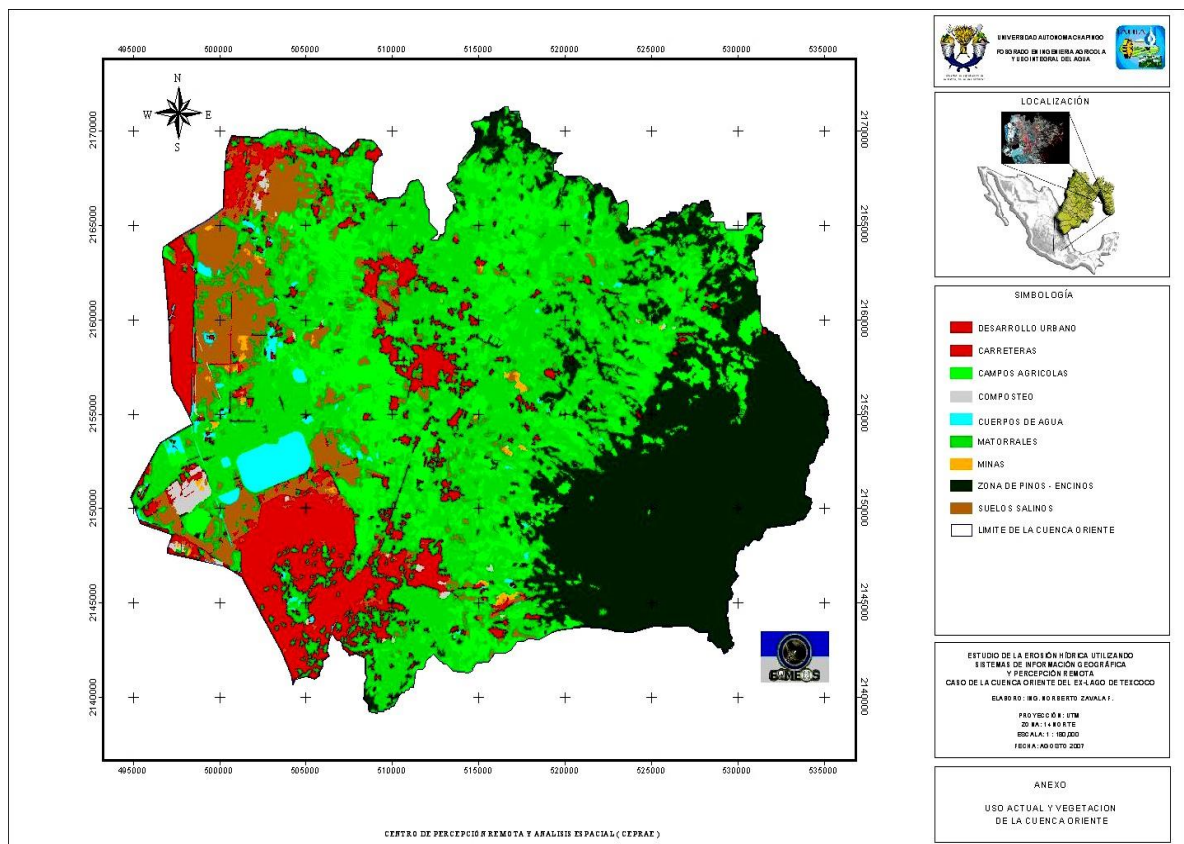


Figura 15. Imagen Clasificada de la Cuenca Oriente

La zona de la Cuenca Oriente esta constituida por un 35 % de zona de matorral y pastizales la cual predomina en la zona baja y media, un 29 % de zona de pino encino la cual se localiza únicamente en la zona alta de la cuenca, el 12 % lo cubre los campos agrícolas, el 10 % el desarrollo urbano estas dos clases se localizan en su mayoría en la zona baja debido a sus condiciones topográficas, los suelos salinos cubren un 8 % de la cuenca, los cuerpos de agua cubren tan solo un 2 % dentro de los cuales el de mayor importancia es el Lago Nabor Carrillo que es el punto de concentración de los afluentes de la Cuenca Oriente, la zona de minas, composteo y carreteras cubren menos del 1 % cada una de ellas (Tabla 20).

Tabla 20, Estadísticas de los Usos de Suelo

CLASES DE USO	AREA (M ²)	%
DESARROLLO URBANO	71881900	10.65
CARRETERAS	2474800	0.37
CAMPOS AGRICOLAS	83658900	12.40
COMPOSTEO	4312200	0.64
CUERPOS DE AGUA	14791500	2.19
MATORRAL Y PASTIZAL	240494200	35.65
MINAS	1924900	0.29
ZONA DE PINO ENCINO	196022800	29.05
SUELO SALINO	59104700	8.76

5.5 ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA

Consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo causado por el agua.

La reducción de la productividad agrícola es un problema ampliamente reconocido a nivel mundial, nacional y local que esta directamente relacionado con la pérdida de suelo al ocurrir los eventos lluviosos y de escurrimiento superficial. Los factores que propician este fenómeno están asociados con las características hidrodinámicas del suelo superficial, pendiente del terreno, la

densidad de la vegetación, prácticas de control y la cantidad e intensidad de la precipitación.

En el presente trabajo se han calculado la pérdida de suelo por erosión hídrica con Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), así como los distintos factores que intervienen en ella.

5.5.1 Factor de Erosionabilidad por Precipitación Pluvial (R)

Para el cálculo de este factor el primer paso que se realizó fue obtener los promedios anuales de precipitación de las 22 estaciones meteorológicas y luego el promedio por cada estación de todos los años de registro para obtener los valores que se utilizarán en la ecuación del Tabla 4 que corresponda a nuestra zona de estudio.

El segundo paso consistió en dividir la cuenca oriente en tres zonas de estudio considerando como base la topografía, la infraestructura y los asentamientos humanos de la zona. La forma en como quedó dividida la cuenca oriente fue la siguiente: Zona Baja, Zona Media y Zona Alta (Figura 16, 17 y 18).

Zona Baja: Corresponde a la parte más baja con una topografía plana y un desnivel máximo de 25 m. En esta zona se encuentra todo el sistema de canales del ex lago de Texcoco y los asentamientos. El uso del suelo dominante consiste pastizales+herbácea+matorral.

Zona Media: Esta zona inicia después de la zona baja y termina hasta donde se presenta el último asentamiento humano, su topografía es poco accidentada presenta un desnivel de 540 metros. La presencia de asentamientos humanos es menor que en la zona baja, en esta área se localizan las minas de explotación de materiales y es donde se presenta un fuerte impacto en la deforestación de áreas verdes.

Zona Alta: Empieza en donde termina la zona media, su topografía es muy accidentada, presenta un desnivel de 1,300 metros, ya no hay presencia de asentamientos humanos de importancia, la zona presenta en la mayor parte de su superficie pinos encinos con una mínima presencia de actividad humana.

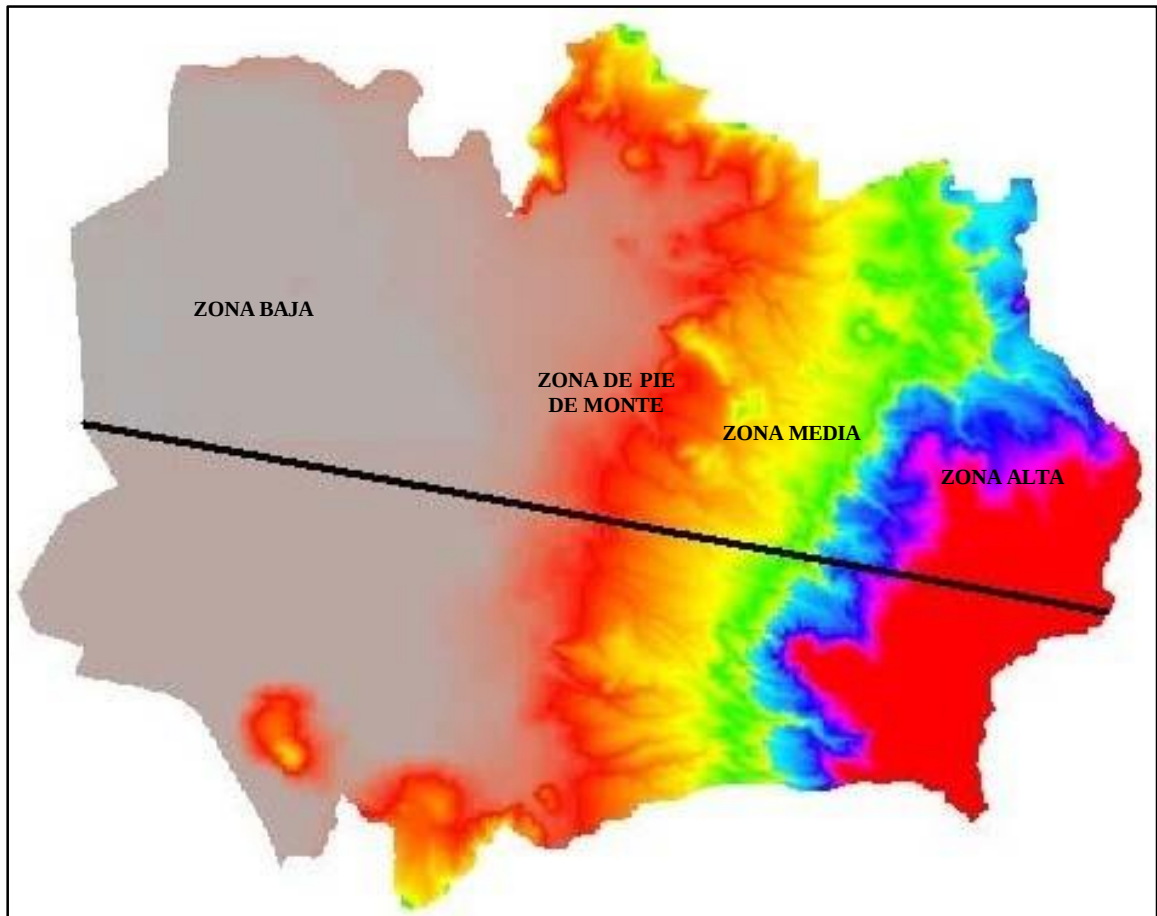


Figura 16, Modelo de Elevación Digital.

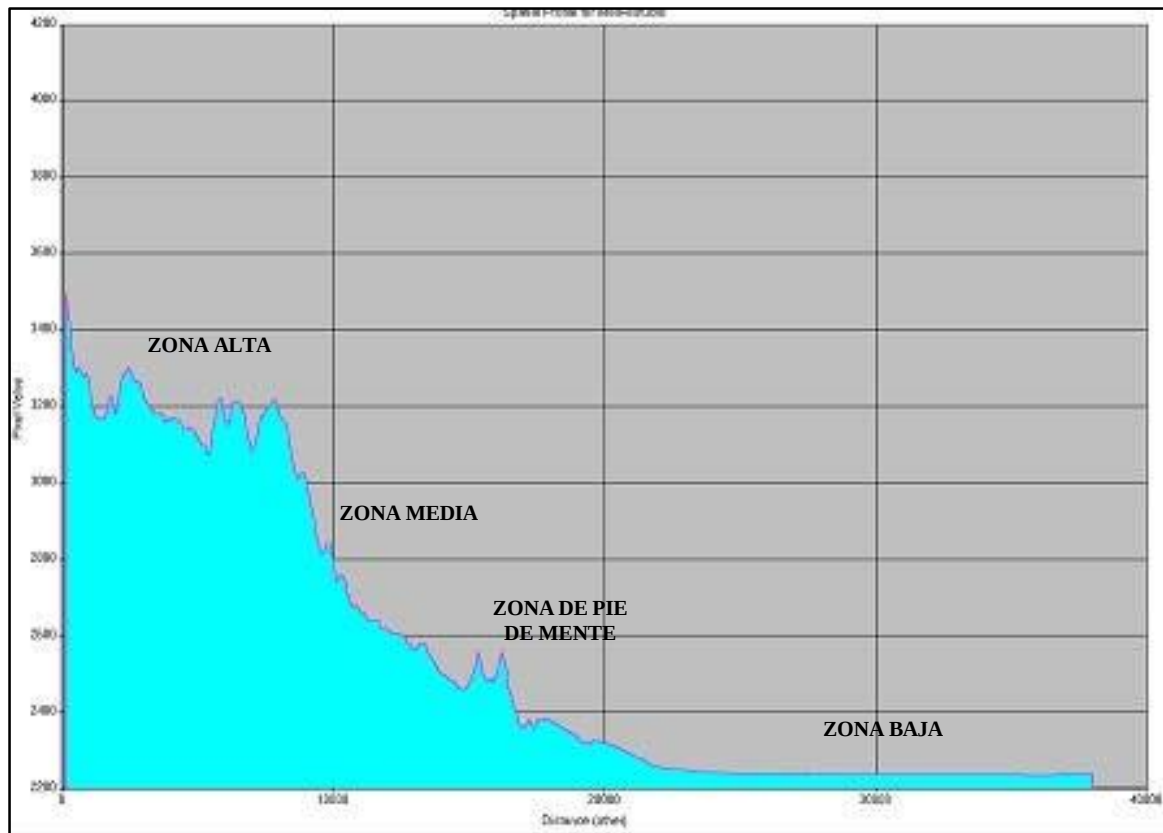


Figura 17, Perfil Transversal.

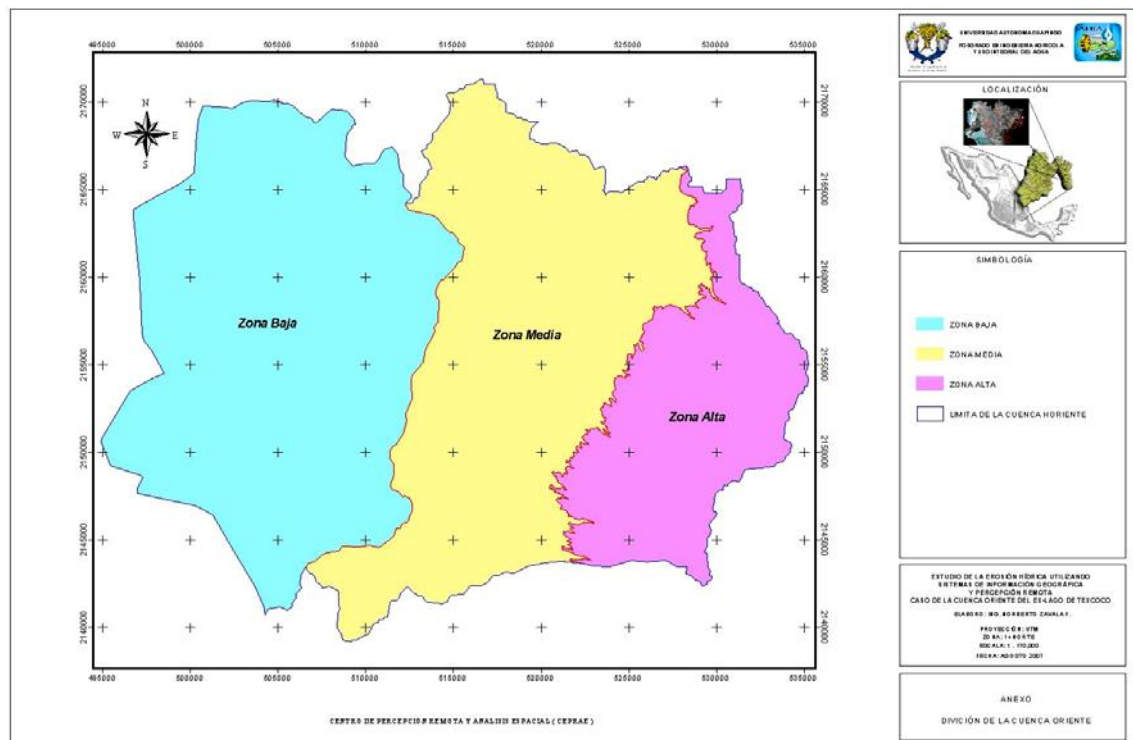


Figura 18 Topó formas del área de estudio.

Para la determinación del Factor R se determinaron las estaciones que se encontraban dentro o a los alrededores de las tres zonas en las que se dividió la Cuenca Oriente.

En base al plano de isoerosividad propuesta por Cortés (1991) para la Republica Mexicana (Figura 8). Se determino que el área de estudio quedaba dentro de la región número VIII. De tal forma que de la Tabla 4, se determino la ecuación que correspondía a nuestra zona para poder determinar el valor del factor R para cada una de las estaciones meteorológicas.

La ecuación que se utilizo para determinar el Factor R fue la siguiente:

$$Y = 1.9967X + 0.003270X^2 \quad (9)$$

Donde:

Y = Factor R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$)

X = Precipitación media anual (mm)

Los valores del Factor R para las tres zonas en las que se dividió la cuenca oriente se presentan en el Tabla 21:

Tabla 21, Valores del Factor R para la Cuenca Oriente.

ZONA	PRECIPITACIÓN (mm)	FACTOR R
Baja	894	4398.5515
Media	994.8	5222.3975
Alta	1095.6	6112.6942

Por último se obtuvo el promedio del Factor R para las tres zonas en las que se dividió la cuenca Oriente, obteniéndose el mapa del Factor R (Figura 19).

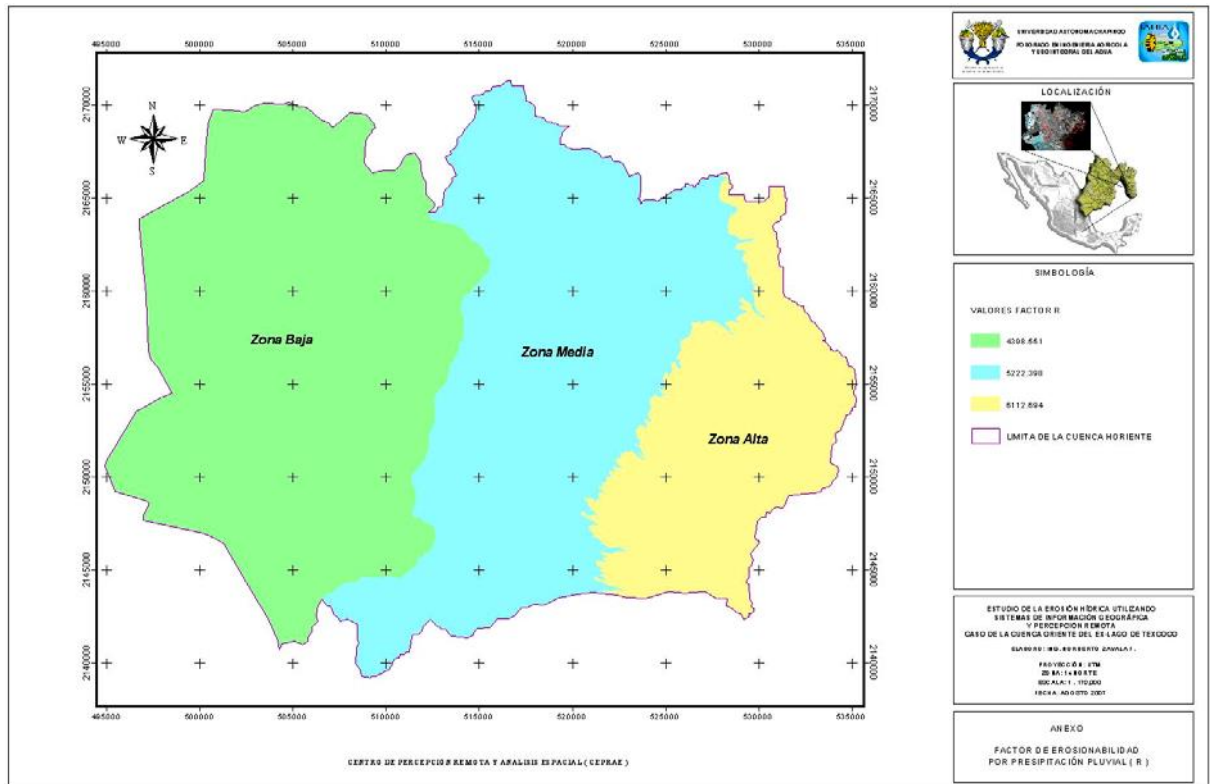


Figura 19, Mapa del Factor R para la Cuenca Oriente.

5.5.2 Factor de Erodabilidad del Suelo (K)

Este factor cuantifica la resistencia del suelo a disgregarse y/o transportarse por el impacto de la gota de lluvia y/o flujo superficial.

Como primer paso para el cálculo de este factor es determinar la clase textural del suelo a partir de la carta edafológica 1:250,000 del INEGI. Con esta información se procedió a la estimación del Factor K, el cual se llevó a cabo con la metodología propuesta por la FAO (1980), en la que estima el valor de K a partir de la textura superficial y las unidades de suelo (Tabla 7).

A continuación se presenta la Tabla de unidades de suelo, textura y el valor del Factor K para Cuenca Oriente. Tabla 22.

Tabla 22, Unidades de Suelo, Textura y Valores del Factor K

Unidad de Suelo	Clase Textural	Factor_K	Unidad de Suelo	Clase Textural	Factor_K
Zo+Zg/2/N	Media	0.03333	Th+Bh+l/2	Media	0.02000
l+Hh+Re/2	Media	0.02667	Th+Bh+l/2	Media	0.02000
Hh+Be+Vp/2/D	Media	0.05450	Hh+Be+l/2/D	Media	0.03975
Hh+Be+Vp/2/D	Media	0.05450	Bh+Be+Vc/2	Media	0.04633
Be+Hh/1/P	Gruesa	0.03067	ZU	Fina	0.01000
Vc+Vp+Hc/3	Fina	0.01967	Be+l+Bh/2/LP	Media	0.03980
Hc+Hh/2/D	Media	0.03967	Be+l+Bh/2/LP	Media	0.03980
l+Hh/2	Media	0.02000	Hh+Re+l/2/L	Media	0.03000
Zg+Zo/3/n	Fina	0.01100	Re+Hh/1	Gruesa	0.01950
Zg+Zo/3/n	Fina	0.01100	Re+l+Hh/2/L	Media	0.03000
Bk+Hh/2/D	Media	0.04633	Re+l+Hh/2/L	Media	0.03000
ZU	Fina	0.01000	Hh+Re/2	Media	0.03000
ZU	Fina	0.01000			

Mapa del Factor K de la Cuenca Oriente se obtuvo en base a la Tabla 22, la cual resulto en base a la Metodología de la FAO, Figura 20.

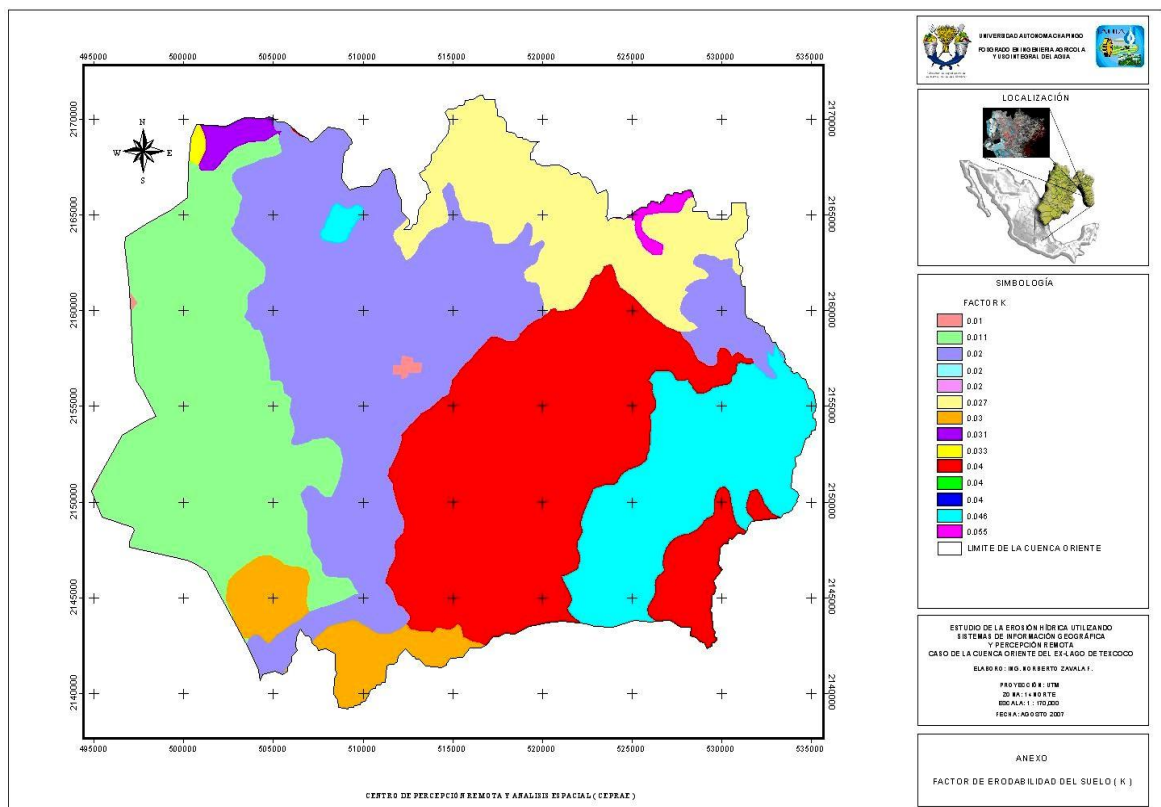


Figura 20, Mapa del Factor K de la Cuenca Oriente.

5.5.3 Factor de Longitud e Inclínación de la Pendiente (LS)

Este factor se determinó utilizando las cartas topográficas 1:50,000 de la zona la cual se cubre con la carta Texcoco, Chalco y Distrito Federal.

El primer paso fue determinar las unidades morfométricas, con esto se determinó su desnivel existente entre cada una de ellas, cuyo valor es una de las variables que se utilizan en las Formulas 6 y 7.

Para la determinación del cálculo del valor L fue necesario obtener la longitud de la pendiente y el exponente de acuerdo al grado de pendiente, estos valores se obtuvieron de la siguiente forma (Figura 21):

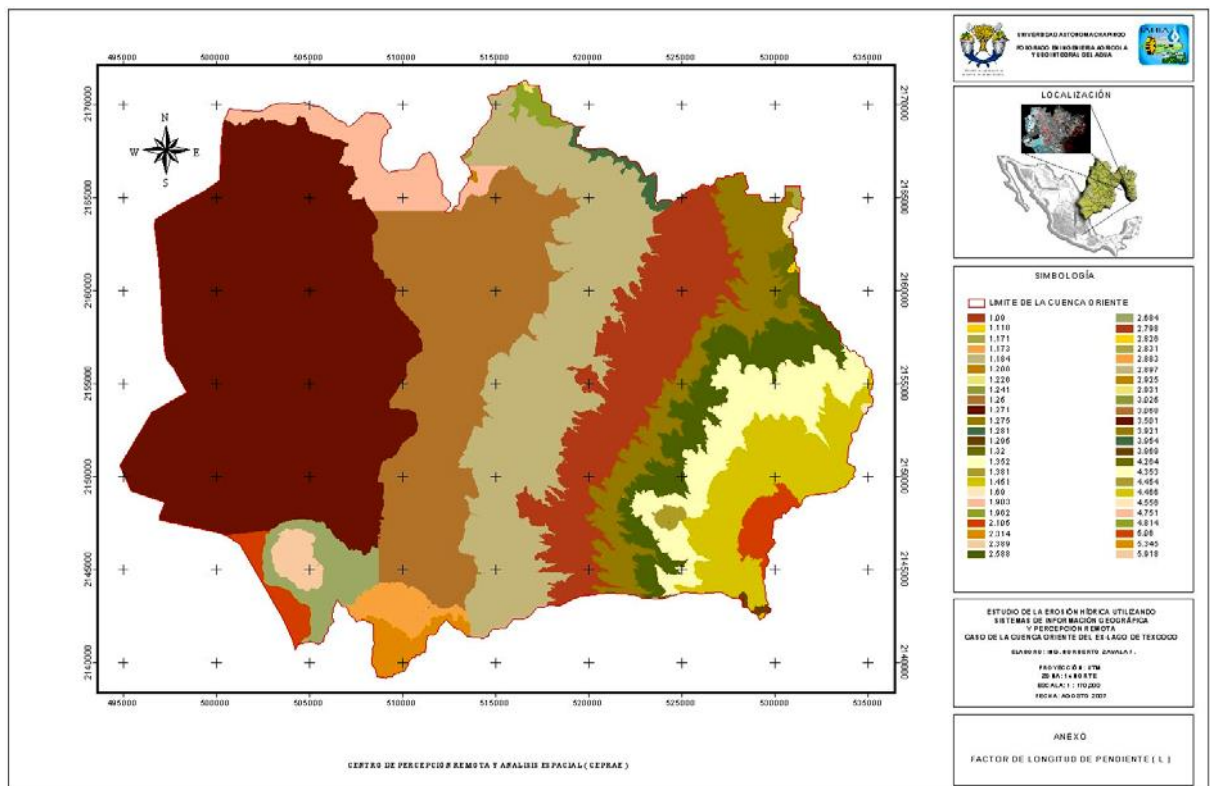


Figura 21, Mapa de Longitud de Pendiente (L).

El primer paso fue importar el mapa de unidades morfométricas a un formato de AutoCad, una vez en este software se procedió a realizar el recorte de cada una

de las unidades morfométricas, una vez separadas se realizó una malla con una separación de 500 m promedio entre líneas procurando que estas fueran perpendiculares a los límites de cada unidad. Con esto se determinó la distancia de cada uno de los segmentos, se procedió a obtener su promedio y obtener la longitud de cada pendiente. Este procedimiento se realizó para cada una de las unidades.

Para obtener el valor del exponente correspondiente al grado de pendiente se obtuvo por medio de la Fórmula 5, que contempla el desnivel existente de cada unidad morfométrica y su distancia con esto obtenemos la pendiente del terreno en porcentaje con este valor y en base a la Tabla 8 determinamos el valor del exponente de acuerdo al grado de pendiente que varía en nuestra zona de 0.1 a 0.5.

El siguiente paso fue obtener el valor de S mediante la Fórmula 8, la cual involucra la pendiente obtenida del terreno (Figura 22).

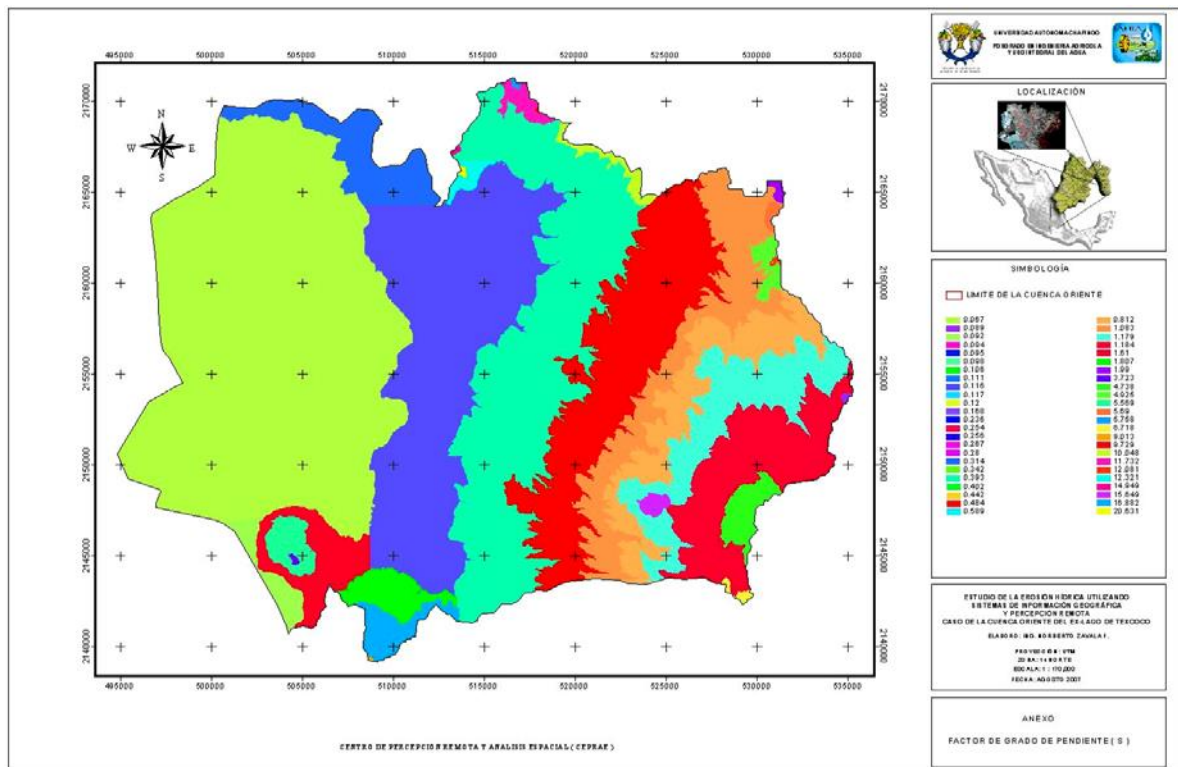


Figura 22, Mapa de Factor De Grado de Pendiente.

Con los valores se S y L se procedió a determinar el valor del Factor LS que consiste en realizar la multiplicación de estos dos valores y obtener el mapa del Factor LS. Figura 23.

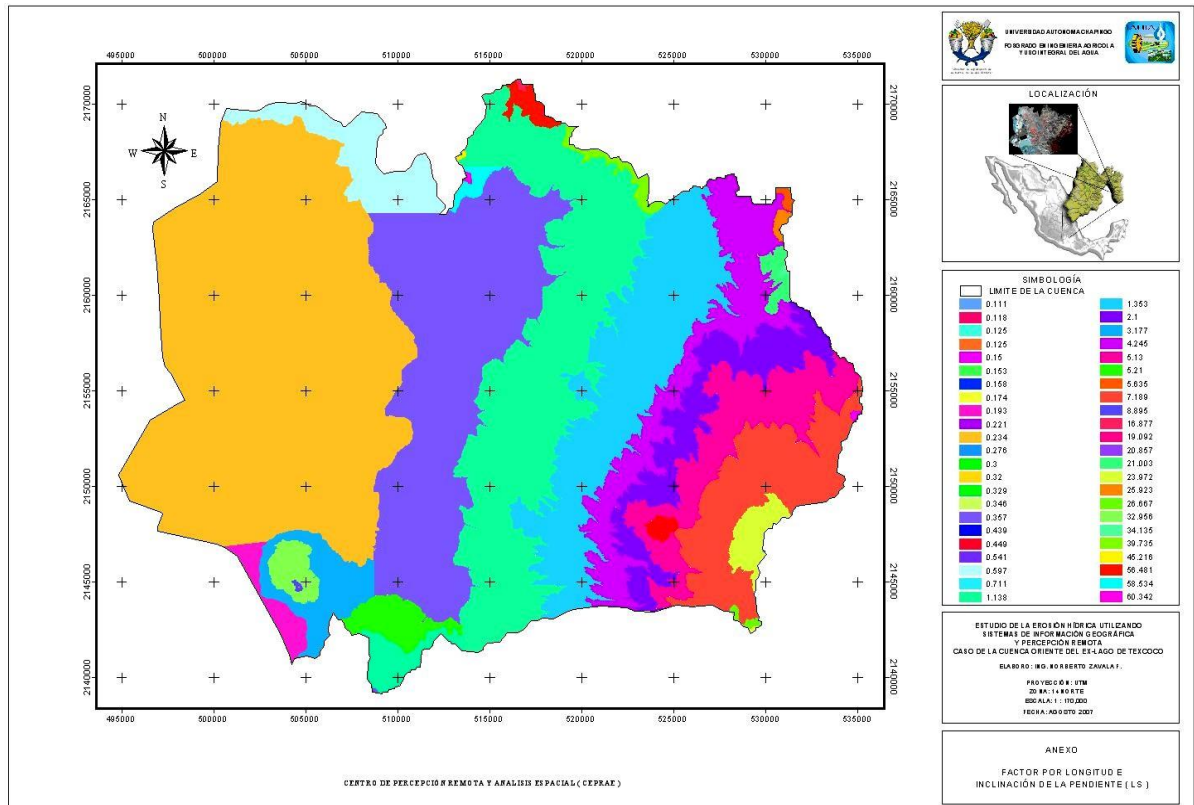


Figura 23, Mapa del Factor LS

5.5.4 Factor de Manejo de Cultivo (C)

Este factor se refiere a los efectos de manejo en la labranza (fechas y tipos), cultivos, distribución estacional del índice erosivo, historia de los cultivos (rotación) y nivel de rendimiento del cultivo (producción potencial de material orgánica)

Para la determinación del valor C se utilizó la Figura 18 del software de Erdas en la cual se consideraron 9 tipos de uso de suelo los cuales fueron cuerpos de

agua, área de desarrollo (zona urbana), suelo salino, matorral o campo agrícola en descanso, campo agrícola, área de desarrollo (carreteras), zona de pino encino y zona de composteo.

El siguiente paso que se realizó fue convertir la imagen raster a vector, posteriormente esta imagen se desplegó en el software ArcView para agregar los campos correspondientes a los valores del factor C.

Para determinar los valores correspondientes a las unidades de suelo se utilizaron varios criterios: para los cuerpos de agua, área de desarrollo (zona urbana), área de desarrollo (carreteras) se le asignó el valor de 0 debido a que no tiene influencia en la erosión de esta zona ya que tiene recubrimiento el suelo (asfalto, concreto, etc.).

Para la zona de suelos salinos o calcáreo y matorral o campo agrícola en descanso se obtuvieron los valores del factor C en base a la Tabla 11 que es una combinación del área y tipo de cobertura, la densidad y de la superficie cubierta en el suelo, dando como resultado un valor de 0.125 para la zona de suelo salino y de 0.11 para la zona de matorral o campo agrícola en descanso.

En el área de campo agrícola los valores fueron determinados en base a los cultivos predominantes de la zona, los cuales fueron obtenidos de la Tabla 9, donde los cultivos predominantes que se presentan en la cuenca oriente fueron maíz, avena, frijol y alfalfa y su combinación de los mismos. El valor asignado para el factor C fue de 0.471.

El valor de C para la zona de pinos encino se determinó en base a la Tabla 10 y 11, debido a que en esta zona se presenta una combinación de árboles con pastos o matorrales determinándose un valor de 0.39.

Para la zona de minas las cuales se presentan en la subcuenca Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec, se le asigno un valor de 0.95 debido a que en estas zonas se presenta la mayor cantidad de erosión. Para la zona de composteo el cual se encuentra en la zona baja de la cuenca se le determino un valor de 0.5.

Resultando el mapa del Factor C el cual se presenta a continuación, Figura 24.

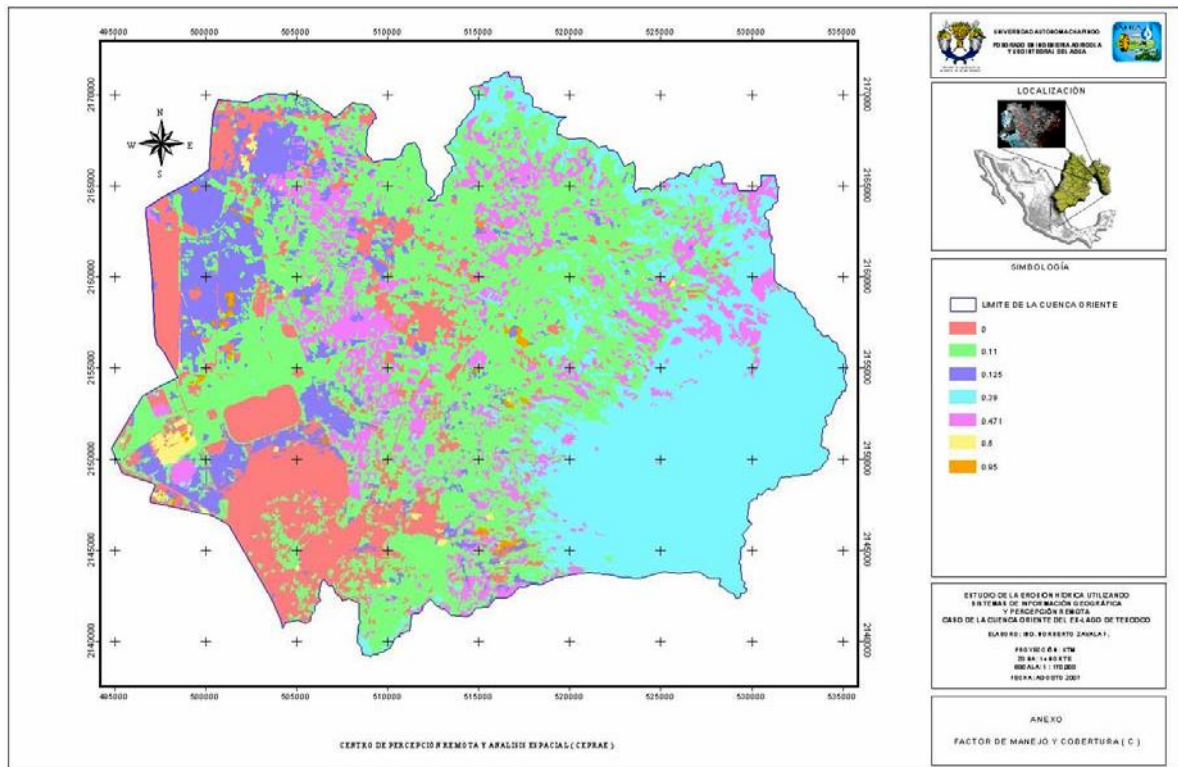


Figura 24, Mapa del Factor C.

5.5.5 Factor de Prácticas Mecánicas de Control de Erosión (P)

Por definición el factor P de la ecuación universal es la relación entre la pérdida de suelo con una práctica de conservación a la pérdida correspondiente en un terreno bajo cultivo en el sentido de la pendiente.

Para la determinación de los valores del factor P se utilizó la publicación del Proyecto lago de Texcoco, y se realizaron recorridos de campo. En las que se localizaron las siguientes prácticas mecánicas: construcción de represas, terrazas, subsoleo, zanjás trinchera y cepas comunes.

5.5.5.1 Represas para control de azolves.

Una manifestación de erosión avanzada de los suelos es la formación de cárcavas (cauces o arroyos profundos que se forman en los terrenos por el flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales). Para controlar la erosión en las cárcavas es necesario construir represas escalonadas, a fin de disminuir la fuerza erosiva de las corrientes, retener los azolves y propiciar la recarga de los acuíferos.

Los criterios para la ubicación de represas son la existencia de cárcavas con diferente grado de avance de erosión, el tipo de escurrimiento, la pendiente del cauce, la precipitación sobre el área de influencia de la cárcava, la configuración del terreno, la textura y la estructura del suelo, y el tipo de cobertura vegetal. Los tipos de represa utilizados en la cuenca pueden ser de mampostería de tercera, gaviones o muros secos.

De acuerdo con los aforos practicados, tanto los gastos máximos como los medios han disminuido de manera considerable. Lo anterior resulta, principalmente, de la edificación de represas para control de escurrimientos y azolves, así como de la construcción de terrazas y zanjás trincheras, que propician una disminución en la torrencialidad de los escurrimientos y mayor captación de los mismos, y que favorecen la recarga de los mantos acuíferos.

De acuerdo a la publicación del Proyecto lago de Texcoco, los cauces que se han corregido con la construcción de las represas son: los ríos Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica, en los cuales se han construido

represas que cubren un 90% de su longitud, en los ríos San Francisco, Xalapango y Coxcacaco se tiene un 50% de obras; el Papalotla cuenta con un 30%. En el río Coatepec se han realizado trabajos en menor escala.

5.5.5.2 Terrazas

Como parte del Proyecto Lago de Texcoco, se han construido terrazas del tipo bancal, constituyendo una superficie plana en forma escalonada. Estos terraplenes entre bordos de tierra, en sentido perpendicular a la pendiente máxima del terreno, tiene el propósito de reducir la erosión del suelo, aumentar el área de captación de agua y la infiltración, desalojar los excedentes de agua superficiales a velocidades no erosivas, reducir el contenido de sedimentos de las aguas de escurrimiento y acondicionar la superficie de los terrenos para incorporarlos a la producción agrícola y forestal.

5.5.5.3 Subsoleo.

Una actividad complementaria a las terrazas es el subsoleo (roturación del suelo), que se ejecuta en el área de corte de la terraza o en los terrenos muy degradados (tepetatales), con el objeto de romper las capas duras, acelerar el proceso de formación de suelo y favorecer la infiltración.

Las subcuencas con mayor cantidad de obras son las de Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica, con un 90%. Les siguen las subcuencas Coxcacaco, Xalapango y Papalotla, con un 30% y las de Coatepec con un 20%.

5.5.5.4 Zanjas Trincheras y Cepas Comunes.

Las zanjas trincheras y las cepas comunes son otro tipo de prácticas de conservación de suelo y agua, realizadas a mano, principalmente en terrenos

tepetatosos o en proceso de erosión, siguiendo las curvas de nivel, es decir, en forma transversal a la pendiente del terreno. Con el producto de la excavación se forman bordos en que se plantan variadas especies de árboles. El objeto de este tipo de obras es disminuir la fuerza erosiva de las corrientes de agua causadas por la pendiente del terreno y favorecer la infiltración.

Los factores que se han considerado para establecer estas acciones son: la presencia de erosión de leve (A/B) a severa (B/C) y con escasa vegetación, la pendiente del terreno (entre 10 y 30%), la precipitación y el escurrimiento superficial de las subcuencas.

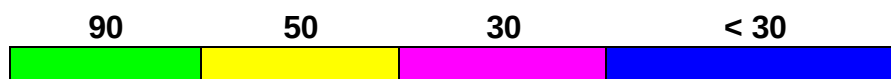
Las subcuencas con mayor cantidad de este tipo de obras son Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica, con un 90%. Las que tienen menor cantidad son Papalotla, Coxcacaco, Xalapango y Coatepec, con un 30-40%.

En el Tabla 23, se encuentran las 8 subcuencas con cada uno de los porcentajes de las prácticas mecánicas y el valor asignado para el factor P.

Tabla 23, Porcentaje de Practicas Mecánicas de la Cuenca Oriente

CUENCA	PRACTICAS MECANICAS				FACTOR P
	PRESAS	SUBSOLEO	ZANJA TRINCHERA	REFORESTACIÓN TERRAZAS	
PAPALOTLA					0.6
XALAPANGO					0.5
COXCACOACO					0.5
TEXCOCO					0.4
CHAPINGO					0.4
SAN BERNARDINO					0.4
SANTA MONICA					0.4
COATEPEC					0.7
ZONA BAJA					1

PORCENTAJE
SIMBOLO



Resultando el Mapa del Factor P (Figura 25).

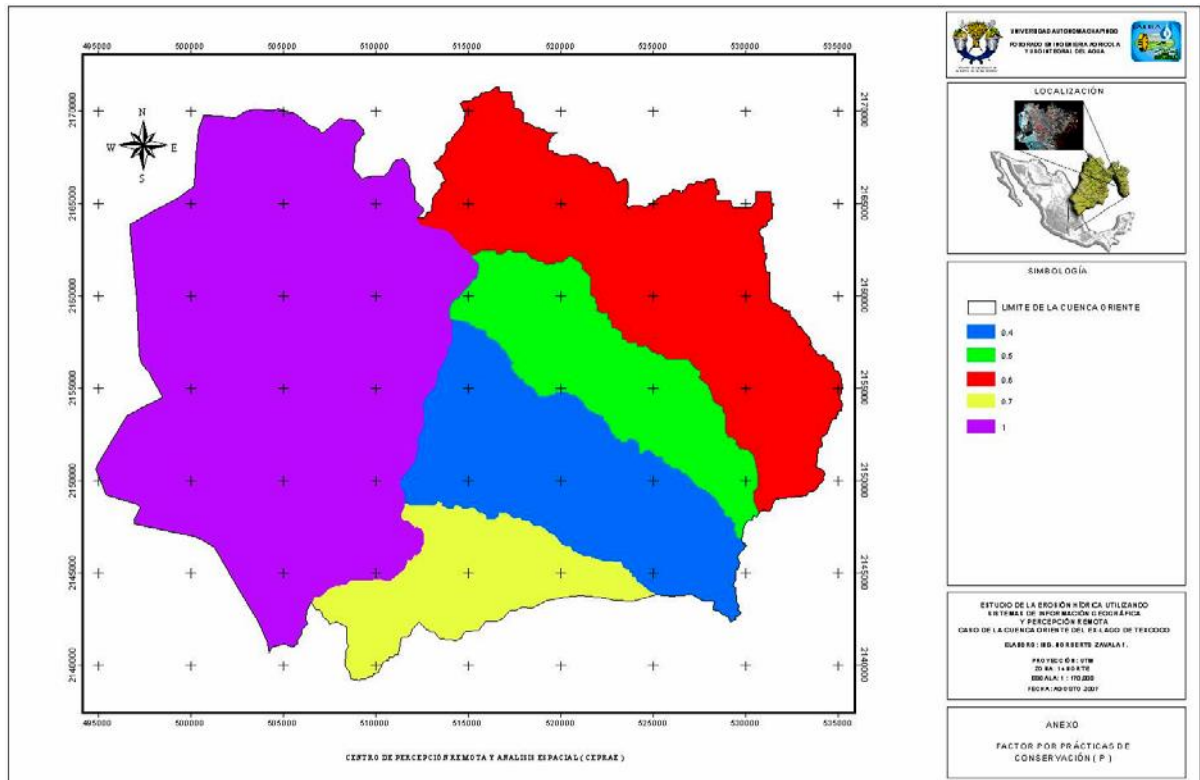


Figura 25, Mapa del Factor P

5.6 EROSIÓN HÍDRICA

La erosión hídrica consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo causado por el agua.

Para la determinación de la Erosión Hídrica de la Cuenca Oriente se realizó mediante la unión de los geodatos de los factores de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (R, K, LS, C y P) o capas, usando los software ArcView y ARCGIS 9.

Una vez con la unión de las bases de datos se procedió a realizar el cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica (ton/ha/año) a través de la multiplicación

de los factores R, K, LS, C y P con la opción **Map calculador** resultando la Figura 26.

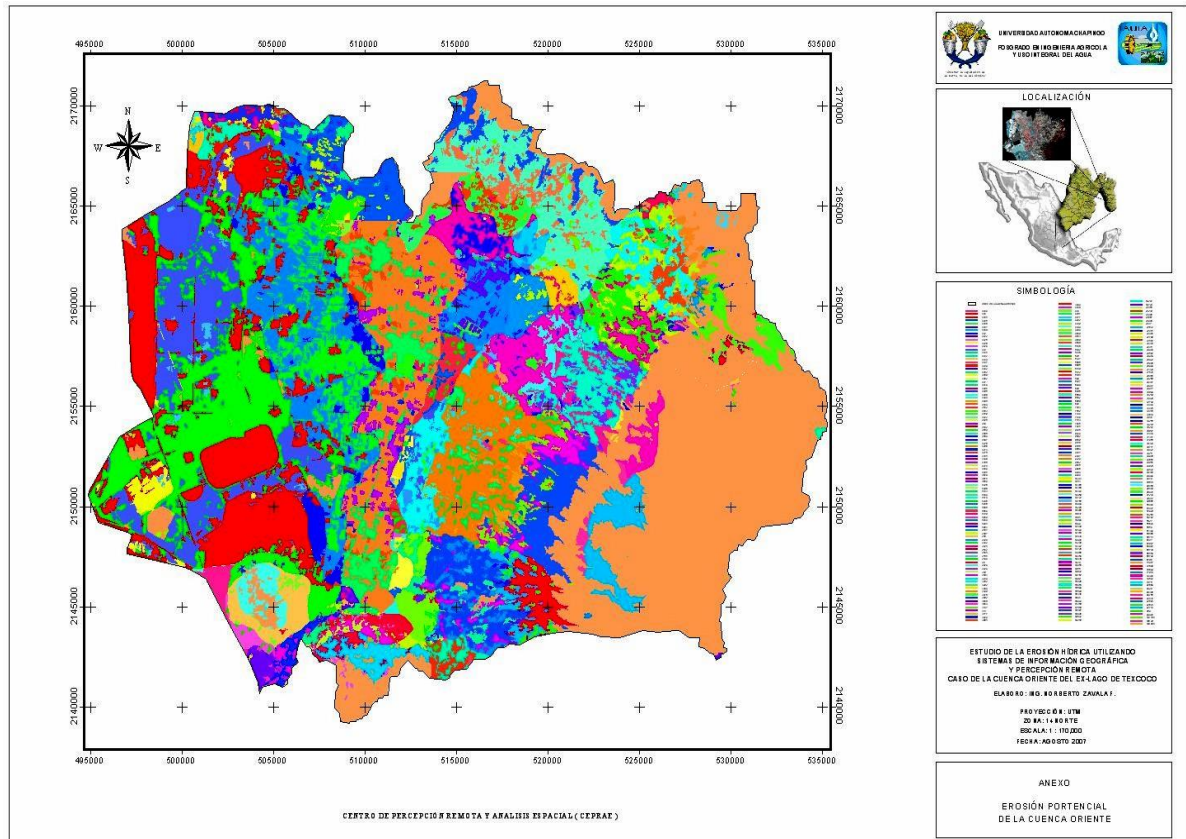


Figura 26, Erosión Hídrica de la Cuenca Oriente.

5.7 CLASES DE EROSIÓN.

El resultado del cálculo de la erosión hídrica se clasificó en base a 5 clases: clase especial (Leve en Área de Desarrollo), Leve, Moderada, Fuerte y Severa (Figura 27), considerando los tipos de erosión (Tabla 24):

Tabla 24, Clasificación de la Erosión Hídrica de la Cuenca Oriente

TIPO	SIMBOLOGIA	NIVEL		
		1 (LEVE)	2 (MODERADA)	3 (FUERTE)
LAMINAR	L	L1	L2	L3
CANALETAS	C	C1	C2	C3
CARCAVAS	K	K1	K2	K3

Leve: Se considera como erosión leve si se producen de 0 a 10 Ton/Ha/Año, es de tipo mayormente laminar con pocas canaletas (L1), presenta hasta un 25% del horizonte “A” erosionado. Presenta un balance de Pedogénesis sobre Morfogénesis el cual esta a favor de la Pedogénesis dando lugar a un medio geodinámico estable.

Moderada: Se considera una erosión moderada si se producen de 10 a 50Ton/Ha/Año, es de tipo canaletas (L2 a L3, C1 a C2 y K1, o combinación de los anteriores), presenta de un 25% a 50% del espesor del horizonte “A” erosionado. Corresponde a un medio geodinámico penestable.

Fuerte: Se considera como erosión fuerte si se producen de 50 a 100 Ton/Ha/Año, es de tipo canaletas con cárcavas (C3, K1 a K2 o una combinación de los anteriores), presenta más 50% a 75% del espesor del horizonte “A” erosionado. Corresponde a un medio geodinámico inestable.

Severa: Se considera severa si se producen más de 100 Ton/Ha/Año, es de tipo cárcavas (K3 con posible combinación de L3 y C3), presenta más de un todo del espesor del horizonte “A” erosionado, parte o todo el horizonte B. Hay presencia de afloramiento rocoso. Presenta un medio geodinámico muy inestable.

A continuación se presenta la proporción que ocupa cada clase de erosión dentro de la Cuenca Oriente (Tabla 25).

Tabla 25, Estadística de las Clases de Erosión.

CLASE	EROSIÓN	ÁREA (M ²)	PERIMETR O (M)
Leve en Área de Desarrollo	0 A 10	1018390600	2360
Leve	0 A 10	4198658100	475520
Moderada	10 A 50	4535496400	4060
Fuerte	50 A 100	4580554900	1460
Severa	> A 100	17842251200	1540

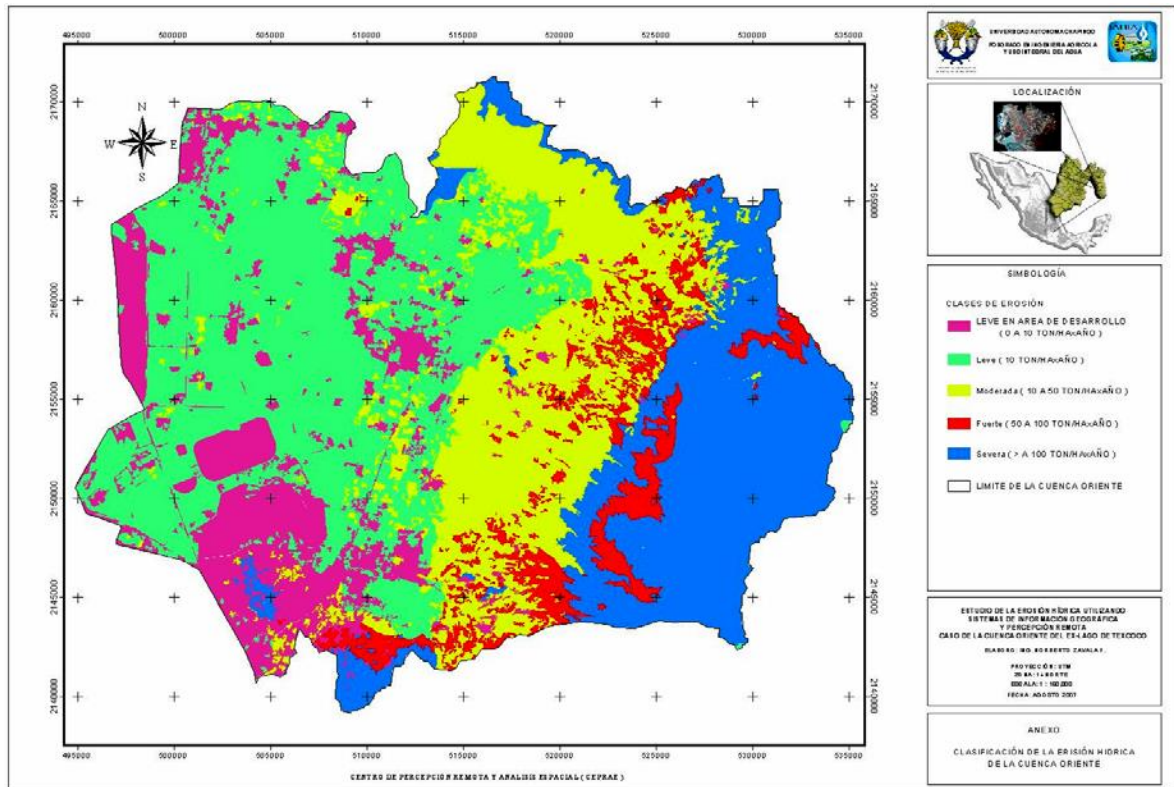


Figura 27, Clasificación de la Erosión Hídrica para la Cuenca Oriente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos indican que la mayoría de las subcuencas que tienen prácticas de conservación presentan una erosión de leve a moderada dependiendo de la pendiente,
- La erosión en la zona baja es de 0.5 y de 108 Ton/Ha/Año en la zona alta.
- Las subcuencas que no presentan prácticas de conservación presentan una erosión de fuerte a severa.
- La reducción de la erosión debido a las practicas de conservación es de un 16.5%, comparado en donde no presenta ninguna practica.
- Fue utilizado para toda la cuenca el modelo de estimación de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica desarrollada por Wishmeier y Smith en 1965, utilizando los factores tabulados establecidos en el manual de predicción de perdida de suelo por erosión en el cual los coeficientes fueron elaborados para la republica mexicana.
- Fue muy importante el uso de las imágenes de satélite Spot para la clasificación del uso actual de la vegetación del área de estudio ya que el mapa de INEGI no contaba con la actualización correspondiente.
- El presente trabajo permitió establecer un sistema de información muy detallado y actualizado de toda la red hidrográfica de la cuenca oriente del estado de México.

- El DEM de la cuenca oriente no fue utilizado ya que la equidistancia del mapa topográfico no era lo suficientemente detallado para su aplicación en la zona baja.

6.2 RECOMENDACIONES

- La construcción en un 100% de obras de control de azolve en todas las subcuencas que forman la cuenca oriente.
- Desarrollo de programas de reforestación en la zona alta y media ya en estas zonas es donde se presenta el mayor grado de erosión hídrica.
- Programas adecuados de rotación de cultivos y un adecuado manejo del uso de la tierra.
- Un control en la descarga de aguas negras en toda la red hidrográfica la cuenca oriente.
- Realizar estudios periódicos de la cuenca, utilizando imágenes de satélite de alta resolución a mayor escala y con información mas detallada de la zona.

ANEXOS

ANEXO 1

PRECIPITACION

EST	9009			AÑOS			27					
<u>AÑO</u>	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>
1961	0	0	4.6	10.7	22.7	187.5	57.1	55.6	79.5	16.5	10	6
1962	0	4	1.2	93.5	65	102.5	42.9	70.2	61.4	61.5	3	1.3
1963	0	0	14.5	2.5	21.3	85.7	107.6	109.4	174.4	88.7	10	0
1964	6.4	0	29.8	0	130	88	99.1	36.4	41.3	22	3	6.9
1965	3	22.5	1	25.7	27.9	140.5	87.3	192.8	46.5	67.8	0	4.2
1966	16.3	2	45.5	30.8	30.3	91.8	88.5	159.8	53.9	30.7	0	4
1967	64.5	0	14.3	16.6	63.6	49.8	140.2	147.7	139.6	36	4.9	0
1968	3.5	15.7	0.3	56.5	24.6	224.1	104.3	93.4	103.3	31	9.3	19.5
1969	6.9	10.5	23.6	8.8	20.7	41.2	99.6	161.2	96.9	5.5	0.5	2
1970	1.5	4.9	0	0	31.2	104.5	151.4	64.8	95.6	29.5	0	0
1971	0	0	20.7	14.3	18.9	152	107.8	85.7	148.6	70.6	9.6	7.3
1972	0.3	0	0	68	140	108.3	108.8	59.5	79.8	59.4	20.7	0.3
1973	0	2.5	0	45.8	27.1	67.6	107.1	139.2	46.1	18.7	11.4	0.6
1974	2.1	16	12.5	18.6	52.2	125.1	130	72.9	59	12.8	0	0
1975	40.5	5.4	6	52.9	122	71.9	77.6	157	68.5	43.5	0	0
1976	0	16	13.7	23	70.7	32.3	125.4	179.4	124.5	75.3	6.1	24.5
1977	2	5.6	0	10	69.4	67.9	140	45.9	67.2	21	1.5	1.7
1978	2.7	9.5	40.8	7	44.4	205.3	143.8	93.9	61.9	175.2	26.3	5.7
1979	0	16.1	0	27	41.8	88.9	126.9	136.8	125.8	0.2	0	15
1980	37.3	5.4	0	31.9	44.6	130.4	48.9	137.1	114.9	36.1	7.5	0
1981	21.9	31.4	6.1	43.8	31.2	132.4	113.4	48.9	60.7	71.4	0	3
1982	0	7	24.9	20.4	58	153	102.3	52.9	16	67	0	1.5
1983	3.2	1.3	4.8	6	13.5	72.4	131.7	56.8	119.9	56.3	3.5	1
1984	8.4	6	2	0	29.4	77.1	156.6	121.1	152.9	13.4	0	0
1985	4.8	0.5	3.6	66	86.8	169.9	64.1	83.4	47.7	13	0.8	0
1986	0	0	0	8	39	146.5	71.4	43	40.7	41.1	3.2	0
1987	0	0	0	4.2	7.3	45.1	88.7	104.5	40.3	0	0	0
1988	7.6	7	31.2	6.6	31.2	28.3	75.8	64	74.7	30.8	3	0
Prom	8.3	6.8	10.8	25.0	48.7	106.8	103.5	99.0	83.6	42.7	4.8	3.7

EST	13005			AÑOS			7					
<u>AÑO</u>	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>
1968	9.9	32.6	0	134.1	90.5	230.9	84.3	46.9	83.3	16.3	6.2	12.3
1969	50.7	2.8	22.4	29.2	20.5	36.7	63.5	239.2	70.6	18.9	6.2	0
1970	5.4	7.8	0	5	42.4	160.4	71.6	104.5	148.8	8.9	0	0
1972	0	2.1	18.4	18.7	63.3	122.7	108.9	70.1	87.3	45.3	35.2	8.3
1973	0	1	0	34.7	48.9	148.2	127	158.4	88.5	43.5	13.4	1.9
1974	2.3	4.3	32.3	23.4	40	171.3	199.2	56	105.6	102	0.2	0
1975	26.3	8.2	7.7	9.2	106	146.1	108.6	118.7	28.2	17.9	0.7	0
Prom	13.5	8.4	11.5	36.3	58.9	145.2	109.0	113.4	87.5	36.1	8.8	3.2

PRECIPITACION

EST	9029											
	AÑOS											
	36											
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1952	17.5	1.3	0	46	108	168	107	131	70	10.5	90	0
1953	0	4	0	2.5	5.3	54.3	74	118.7	63.9	92.9	27.6	0.5
1954	0	6.3	0.2	12.5	99.7	153	80.2	79.1	75.1	76.5	7.9	0
1955	10	0	0	0	42.6	35.5	200.6	133.5	165.3	25.4	34.4	8.5
1956	0	1	1.3	12.8	125	62.4	123.6	161.1	69.2	18.8	9.4	0
1957	0	7	1	31.1	50.6	65.2	83.5	34.5	69.5	23.5	14	4.5
1958	93	0	0	6.5	75.5	71.9	164.4	93.8	96.3	70.8	76.2	18.4
1959	0.5	0	0	48.4	39.3	131.2	105.7	93.6	42.1	130.2	1.2	1
1960	2	0	0.5	7.2	15.8	99.5	86.9	156.8	104.7	51.9	0	6.2
1961	9.6	0	3	10	15.8	155.3	48.2	73.2	46.5	29.1	3.8	3.7
1962	0	3.5	0.5	69.6	28.3	96.8	66	99.5	147.1	37.3	2.5	2
1963	0	0	21.2	11.5	39.7	105.7	149.8	148.4	157.4	48.4	7.6	11.5
1964	37.4	0	27.6	20.3	108	80.2	86.4	82.5	115.9	21.2	6.7	8.8
1965	1.7	16.5	2	59.7	45.9	97.4	166.3	168.4	135.1	44.3	5.8	4.3
1966	10.4	1.2	55.5	45.5	32.7	92.7	75.6	46.3	84.1	42	0	7.5
1967	56.4	0	4.1	5.5	60.4	63.9	103.5	151.6	126.5	46.5	1	0
1968	5.4	30.5	0	66.4	28.9	188.6	110.8	78.2	127.2	11.2	2.1	19.4
1969	11.7	3.4	11.6	21	23.7	34.8	53.6	259.4	38.4	42.9	1.3	0
1970	1.5	4.5	0	0.8	30.3	135.4	125	96.6	84.2	2.5	0.6	0
1971	0	0.6	26.3	12.1	18.2	133.1	107.3	109.7	89	85.3	2.8	3.6
1972	1	0	2.7	34.1	102	91.3	134	92.4	100.5	64.8	16.2	0
1973	0	5.6	0	13.8	26.8	101.6	169	199.2	59.9	20.3	20.9	0
1974	3.5	4.4	13.2	38.7	40	96	159.3	47.6	117.2	18.9	3.5	0
1975	41.9	5.9	23.6	30	94.5	91.8	73.3	145.6	127.1	36.4	0	0
1976	0	11.4	9.4	24.5	60	44.1	103.8	196.1	127.6	112.1	28.2	28.9
1977	5.2	8.3	0	11.4	67.1	67.7	132.7	47.3	154.7	76.2	7	1.6
1978	4.4	12.4	46.7	0.4	19.5	144	128.6	53	107.4	99.2	15.1	13
1979	0	32.8	1	16.7	63.7	87.6	169.3	174.7	104.5	4	0	13.6
1980	31.9	2.3	1.2	46.7	48.1	27.6	103.4	195.6	58.4	35.3	12.8	0
1981	20.3	22.2	6.6	40.7	28.8	129.7	122.2	108.9	49.4	65.2	0.5	1.3
1982	0	14.6	22.9	24.5	71.9	113.6	118.8	69.3	15.4	56.9	2.2	3.7
1983	15.4	1.5	3.5	0	37.5	88.6	139.8	136.8	67.6	34.2	3.6	7
1984	5.6	5.5	0.2	0.2	51.2	60.7	138.3	65.7	157.8	29.6	0	8
1985	3.2	2.3	7.8	59.5	49.6	152.7	109.4	78.5	64.4	44	3.4	4
1986	0	0.8	0	19.8	40.6	202.8	87.7	79.8	51.1	26.2	4.9	0
1987	0	2.7	0	13.6	30.3	162.4	135.2	98.9	133.4	0	18	0
1988	0	8.4	52.3	11.3	60.8	123.2	116.2	121.6	59.2	5.1	7.7	0
Prom	10.5	6.0	9.3	23.7	50.9	103.0	115.1	114.2	93.6	44.3	11.9	4.9

PRECIPITACION

EST	9043	AÑOS										
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1953	0	4	0	2.5	5.3	50.8	87.8	137.6	55.9	104.1	19.9	2.5
1954	0	6.2	0.8	13.5	81.9	145	61.7	62.2	68	64.4	5.4	0
1955	8.1	0	2	0	47.5	37.8	127.4	121.2	150.5	16.8	23.2	3.2
1956	0	0	0	17.5	84.6	71.2	117.3	121	52.2	7.8	7.5	0.5
1957	0	6	2	32.5	44	49	69.5	38.5	54.5	30	11.5	4
1958	88	2	0	16.5	103	89.5	146.9	85	87	84.5	72	19.5
1959	0.5	0	0.5	53.5	35.5	125	129.5	99	55	142	0	1
1960	1.5	0	4	4.5	16	47	108	152.7	126.3	64.5	0	6.5
1961	7.5	0.6	2	11.1	20.4	175.6	72.7	97.9	49.4	35	6.1	5
1962	0	2.3	1	71.5	50.6	114.9	67.1	92	135.9	49.9	4.4	3
1963	0	0	24	15.2	33.2	79.4	118	144	150	51.5	7.5	16.5
1964	34.1	0	20.5	23	110	82.7	81.9	98.2	111.8	16.5	4.5	14.8
1965	2	16.3	2.3	39.5	42.6	81.1	141.9	156.6	130.4	56.8	3.3	5.4
1966	13.5	2.4	65.2	49.6	15.9	61.6	94.5	71.7	73	36.5	0	6.3
1967	51	0	6.1	4.4	74.8	38.3	155.7	155.7	134.3	59.1	1	0
1968	5.5	11.1	0	71.3	30.3	166	144.8	88.5	117	17.5	0.5	16.5
1969	16	5.5	12.6	21.5	24.5	45	105.5	260.5	38	27.2	1	0
1970	1	4	0	0.5	19	123	132.3	100.5	90.5	7.9	0.5	0
1971	0	0	18.2	13.8	32	113.7	96.2	106.8	87.1	128.6	5	9.5
1972	0.3	1	5.1	44.4	103	91.5	125.4	93.3	90.6	46.6	9	0
1973	0	7.5	0	25.7	33.9	73.8	164.1	183.6	57.2	25.8	27.3	0
1974	3.2	6	17.5	36	48.9	90.5	150.2	50.2	91.7	46	0	0
1975	36.9	5.6	18.5	22.2	83.8	83.7	92.9	106	102.8	50	0	0
1976	0	18	10.3	20.1	53.3	38	124.7	207.9	136.9	104.9	15.4	33.7
1977	5.7	5.6	0	11.8	64	77.4	136.1	43.9	146.8	59.4	4.4	1.7
1978	5	13.3	44.8	2.2	19.9	154.8	113.2	27.1	66.9	100.5	19.3	22.5
1979	0	31.4	3.5	14.3	85.9	72.4	147.9	186.6	108	3.6	0	13.3
1980	34.8	2.5	2.7	42.2	53.2	31.8	95.8	214.6	83.5	46.5	11.1	0
1981	19.1	15.5	8.4	49.6	23.2	140.2	119.9	102.6	50.3	41	1.2	0.6
1982	0	6.5	32.1	18.2	59.9	108.1	146.4	73	14.9	48.2	3.2	3.1
1983	14.6	1.5	3.9	0	44.3	80.7	120.8	143.6	71.7	45.3	4.2	3.9
1984	5.5	8.6	0	0.7	55.2	85.3	142.8	86.4	194.9	35.7	0	5.2
1985	2.9	2.5	7.4	57.2	57.6	147.8	109.7	74.3	60.6	21.9	2	0
1986	0	0	0	19	62.1	257.7	71.7	61.1	59.6	37.4	6.6	0
1987	0	2.5	1.5	14.4	35.1	174.7	126.6	74.4	137.2	0	22	0
1988	0	6.5	45.3	16.9	58.1	152.4	110.2	115.6	63.9	7.3	6.7	0
Prom	9.9	5.4	10.1	23.8	50.3	98.8	115.5	112.1	91.8	47.8	8.5	5.5

EST	13007	AÑOS										
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1967	38	5	21.5	58.5	76.9	120.5	59.1	131.9	124.9	29.6	3.2	0
1968	2.5	34.6	0	116.1	90.6	203.7	73	46.1	113.3	30.2	8	18.3
1969	38.7	3.7	23.7	29	22.5	34.5	131.2	247.1	76.2	11.7	6	0
1970	6.6	7.7	0	12	65.2	166	94.5	63.7	115	11.5	0	0
1972	0	3.5	34.5	18.5	55.5	124.8	108.6	55.5	117	61	43.5	12.5
1973	0	4	1	36	62	125.5	156.4	262	94.9	41.4	22.8	2.2
1974	4.5	4.5	80.9	34.4	45.2	195	215.5	77.9	125.2	90.9	5.4	0
1975	29.8	9.5	9.8	10.1	142	161.1	157.4	132	27.7	27.3	0	0
1976	1	0.4	26.5	69.3	98.5	59	207.9	93.9	127.5	103.6	9.7	30.7
1977	1	7.6	0	16.6	136	47.5	193.3	56.1	72.6	48.7	1.6	2
Prom	12.2	8.1	19.8	40.1	79.5	123.8	139.7	116.6	99.4	45.6	10.0	6.6

PRECIPITACION**EST 15008****AÑOS****24**

<u>AÑO</u>	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>
1961	9.5	0	6.6	4.3	26.8	236.7	61.6	77.4	44.3	20.4	7	3
1962	0	1.3	6.9	75.3	43.2	82	83.6	117.1	116.8	54.2	5.5	3
1963	0	0	17.3	16.9	61.3	84.6	174.2	155.5	124.3	48.2	25.2	13.1
1964	33.3	0	2.2	25.8	93.1	104.7	96.6	87.5	83.8	84.5	6.6	6.5
1965	3.2	22.3	6.2	29.2	76.2	82.9	131.7	144.6	122.8	85.3	5.2	6.4
1966	17	3.2	57.2	31.9	11	101.9	108.1	111.6	92.8	40	0	6.5
1967	63.9	0	9.5	3.6	71.4	69.9	96.8	162.7	147.9	83.1	3.8	6.2
1968	2.1	15.9	1.5	62.7	73.3	213.7	161.7	51.6	87	57.9	3.7	12.9
1969	7.7	15.6	27.9	8.1	11.3	33.4	121.9	255.6	69.3	22.1	3.7	0
1970	2	3	2.5	16	47.8	114.1	72.9	72.4	85.3	55.4	0	0
1971	0	1.2	18.3	11.2	26.2	160.8	65	94.1	84.8	74.3	3	11.3
1972	1	0.2	23.8	18.8	83.5	103.6	123.8	74.1	66.8	39.7	20	0
1973	0.8	3	7	49	57.7	37.8	81.2	152.5	76.3	38.4	6.5	4.2
1974	0.3	3.2	16	44.8	47.7	91.8	93.5	68.1	90.3	4.5	3.8	0
1975	35.4	8.8	9.9	15.9	89.3	144.8	141.4	141.2	43.9	11.9	0	0
1976	0	1.7	15.2	38.4	64.5	23.2	144.7	89.3	92.2	69.1	15.4	34.8
1977	3.9	4.3	0	3.2	52.1	65.1	92.9	67.5	107	53.8	3.3	0.4
1978	2.7	11.8	46.7	8.5	57.6	159.8	83.8	57.6	81	90.3	20.8	0.6
1979	0.6	13	30.4	34	48.4	78.9	108.6	188.1	112.7	1	1.2	16.1
1980	38.7	5.6	6.4	36	46.5	35.9	98	136.6	66.9	37.6	28	0
1981	21.4	5.3	13.9	76	74.6	145.3	123.4	111.5	77.3	95.2	2.9	3.4
1982	0	7.1	12.8	31.7	87.3	58.6	92.5	93.5	8.3	44.9	1.1	2.8
1983	14.7	7.8	9.5	0	9.8	63	125.7	69	106.3	13.3	7.4	8.4
1984	6.4	7.6	2.5	0	21.5	97.6	226.1	107.6	125.5	91.1	0.3	3.9
1985	7.5	0.3	17.2	46	37.4	163.5	68.9	111.9	80.7	59.8	1.8	1
Prom	10.9	5.7	14.7	27.5	52.8	102.1	111.1	111.9	87.8	51.0	7.0	5.8

EST 15091**AÑOS****8**

<u>AÑO</u>	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>
1969	40.8	3.7	26	32	20.5	24.1	79.5	225.9	69.2	36.8	5	1
1970	9.5	7.8	0.6	4.3	69.8	123.9	59.2	58.9	119.1	71	0	0
1971	1.9	0	39.3	3.2	26.4	139.6	150.2	54.6	56.8	60.9	9	7.5
1972	0.5	0	19.7	26.3	81.1	122.2	131	68.2	170.2	54.7	47.2	11
1973	0.5	1	4.1	30.8	67.3	123.6	160	225.3	130.5	38.7	17.2	2.2
1974	1.8	7.7	29.7	33.6	62.2	203.8	155.6	65.6	108.6	58.4	2	0
1975	26.4	15.7	9	8.9	130	129.3	160.9	87.2	43	40.7	0.8	0
1976	0	1.8	32.6	64.4	79.2	102.4	165.1	108.5	84.6	125.9	15.4	35.6
1977	1.2	4.6	0	22.2	115	80.8	160.8	59	80.7	81.3	5.8	5.6
Prom	9.2	4.7	17.9	25.1	72.4	116.6	135.8	105.9	95.9	63.2	11.4	7.0

PRECIPITACION

EST	13035	AÑOS											35
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1944	1.5	0	0	26.2	0	29.6	74.1	165.6	152.8	4.6	11.8	0	
1945	2.5	1.1	6	15.9	46.7	88.8	133.8	70	119.5	24.2	3.5	0	
1946	8	21	2	46	37.8	74.4	41.5	56.7	77.1	93	15.8	0	
1947	5.5	7.2	0.5	14	118	92.5	82	91.5	33	50	11.5	28	
1948	53	0	5	36.5	39.5	47	95.3	12.5	28.5	24	21	0	
1949	0	0	4.5	14	117	111	12	16.1	73	0	0	0	
1950	0	0	1	48	64.5	85.5	133	0	51.5	22	0	0	
1951	0	0	31	3	101	79	62	146.5	41.6	20	0	0	
1952	1.5	8.5	3	91.5	84.1	172.7	88.5	71	62.9	1.5	52.5	0	
1953	0	1	16	19.5	13	51.5	72.1	75.1	71.1	55	34.5	0	
1954	0	43	5	46.5	92.7	37.5	40.2	77	65.5	112	0	0	
1955	4.5	0	17.5	50	75.7	96.1	65.1	171.5	112	23.5	40	21	
1956	1	3.5	0	43	70	126.5	95.5	87.5	40.9	17	4.5	1	
1957	0	0	6	31.5	35	36.5	46	25	29	11	47	17	
1958	83.5	3	0	18.5	108	122	74.7	83	133.5	78.5	62.5	25	
1959	2	13	3.5	89.5	37	115.6	100.5	81.5	59	111.5	2	2.5	
1960	10.5	0	5.5	17	68	36	73.5	87	53	77	0	12.5	
1961	17.5	0	3	8	10	146.5	90.5	73	49	38.5	21.5	16	
1962	0	8.5	2	53.7	33.5	82.7	67.5	42.5	46.5	36	27.5	4.5	
1963	0	4.5	31	20.5	71	67	122.5	65	34	52.8	12	13	
1964	41	1	9.5	16	94.8	118	70	53.1	47	3.5	41	16	
1965	2.5	25	30.6	17.4	135	105	158.6	71.1	88.2	46.1	8.5	2.2	
1966	6.2	12	70.4	109.1	28	93	108.2	130.3	22.3	29	0	7	
1967	60.8	0	26.2	17.7	62.5	36.9	19	138.5	153.6	53.7	27.5	4.2	
1968	9.5	29.5	0	99.5	97.2	144.6	53.3	77.9	193.4	4.5	8	16.7	
1970	3.2	18	0.5	14.5	40.2	139.5	79.6	36.5	79.5	7.4	0	1	
1972	0.5	4	27.5	17	64.8	35	106	46.5	68.5	39.5	34	12	
1973	3.5	0	0	29.5	59.3	105	167	99.5	110	75.5	41	1	
1974	17	2	6.5	43	35.5	96	120	37	125	11	4	1.5	
1975	25	78.5	0.5	10.9	78.5	97.2	110.5	139.4	29.5	6	0	0	
1976	0	0	49.5	87	99.6	18	109	67.2	80.8	76.6	15.3	31	
1977	6	92	58.6	86.6	27	47.9	135	96.2	115.3	0.4	40	8.5	
Prom	11.4	11.8	13.2	38.8	63.9	85.5	87.7	77.9	76.5	37.7	18.3	7.6	

EST	15210	AÑOS											11
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1976	0	2	15.2	60	81.6	94.9	129.3	111.9	40.3	120	16	28	
1977	0	4	0	13.5	110	69	115.5	54	96.7	71	60.8	4	
1978	2	16	41.5	14	16.5	191.2	64.5	71	116.1	89	28	8	
1979	0.8	22	12	25.5	26	50.5	199	132.2	129.2	5.6	9.4	21	
1980	48.1	12.5	2	36.1	76.3	56.9	45.1	156.5	45.1	34.3	37.8	0	
1981	24.8	18.5	40.6	55.5	46	147.5	160.2	67.9	87.9	43.5	2	0	
1982	0	8.7	26.6	18.7	87.8	76.5	49.7	92.3	21	23	0	0	
1983	25	24.2	19	0	34.6	46.5	153.6	81.9	89.6	22.9	2.4	1.5	
1986	0	0	0	60.6	58.4	102.4	91.6	98.9	12.2	39	6	2	
1987	0	0	14.1	13.7	70.9	134	143.1	56.5	65	0.5	4	0	
1988	0	8	62.2	26.5	41	108	38.5	128.5	82	33	0	0	
Prom	9.2	10.5	21.2	29.5	59.0	97.9	108.2	95.6	71.4	43.8	15.1	5.9	

PRECIPITACION

EST	15023											
	AÑOS											
	20											
<u>AÑO</u>	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>
1969	9.9	11.5	19.9	21.9	17.3	108.8	144.3	179	56	17.5	1.5	0
1970	6	5	0	3.5	36	117.1	137.2	114.5	95	23	0	0
1971	0	0	9.5	40	57	189.5	109.1	86.7	97.7	75.5	11	14.5
1972	0	1	9	68	81.6	98.5	177.4	47.5	115.7	29.2	8.7	0
1973	0	2	6.5	34	55.5	66.7	111.9	172.6	132.2	36.8	7.5	0
1974	0	1.5	12	22.8	50	125.2	188.6	61.8	70	24.2	0	0
1975	35	10	0	5	97.5	79	80.5	120	51.5	15	0	0
1976	0	7	6	42.7	99.7	24.1	74.1	117.8	126.3	128.7	9	35.5
1977	1	2	0	16.6	79.9	59.6	158.9	60.2	60.7	39.1	13.6	3
1978	2.5	12.5	50.5	3.4	26.8	228.6	111.4	78.1	105.9	58	13	8
1979	0	29	1.1	36	61.4	45.1	151	206.2	130.8	0	2.2	23
1980	45	8.6	0	53.5	61.7	91	58	132.4	58.7	67	46.7	0
1981	23	10	8.5	77.4	43.5	187.3	137	121	54	44.9	7.1	4.5
1982	0	8.8	10.6	41.7	96.7	78.5	140.8	77.8	25.5	44.8	0	0
1983	20.8	9.5	18.5	0	30.5	132.3	164.6	91.5	134.7	30	4.5	0
1984	8.5	12	7.5	0	39.8	109.5	150.2	70.4	92.2	35.6	0	0
1985	2	5	9	56.8	34.1	130.8	79.6	69	61.8	16.5	9.5	0
1986	0	5	0	21	57	194.7	65	106	32.5	92.3	7	0
1987	0	0	0	5	27	58.9	142.3	103.7	108.3	0	26	0
1988	22	12.3	45.5	13.5	40	90.5	119.5	49	80.3	20.5	0	0
Prom	8.8	7.6	10.7	28.1	54.7	110.8	125.1	103.3	84.5	39.9	8.4	4.4

EST	15040											
	AÑOS											
	22											
<u>AÑO</u>	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>
1966	13.1	3.6	56.8	42.8	31.6	89	133	79	35.5	63	0	6.4
1967	55	0.5	7	3.5	79.5	43	55.5	117.5	205	81.5	0	1.5
1968	2	16	0	56	45	218.5	125	40.5	100	19	0.5	15.5
1969	14.5	8	10	22.5	26.5	59	69.5	142.5	45.5	25	1.5	0
1970	1.5	4.5	2	3	48.5	119	159.5	84.5	96.5	46.5	0	0
1971	0	0	31.7	4.5	52.5	127	84	89.5	111	78	10	5.5
1972	0	0	15	28.5	72	142	175	76	112	55	20	0
1973	0	2.5	1	27.5	60	91.1	106	163.5	47.5	33.5	11.5	0
1974	0.5	3.5	12	47	42.5	99.5	129	93.5	114.5	14	1.5	0
1975	37.1	10.5	13	11	155	174	132	116.5	61.5	23	0	0
1976	0	3	19	20.1	74	15	130.5	161.5	88	101.5	14.5	11.5
1977	9	1.5	0	16	56	65	150.5	86	80	77.7	12.3	6
1978	4.5	12	62.5	0.3	18	119.5	97	56	74	91	59	24.3
1979	0	21.5	21.5	21.5	64.3	89.5	139.5	141.5	141	3.5	0	11
1980	32.5	1.5	17.5	54.3	21.8	49.1	77.1	147.5	80.3	24.7	71.5	3
1981	22	6.2	7.5	74.5	18.3	147	119.3	104.4	67	59.5	0	12.3
1982	0	11.7	13.4	23	82.3	55.3	120.2	55.9	17.3	78.6	2.7	4
1983	14.1	4.1	10.3	0	25.3	65.8	137	43.1	93	18	3.8	11.4
1984	7.7	12.8	2.5	0	54.3	125.4	131.1	80.6	114.9	52	2.1	3
1985	0.5	0	12.5	45.5	35.6	155.6	95.1	92.6	96.2	15.9	4	1.7
1986	0	0.5	0	15.6	42.7	214.9	55.5	77.9	31.8	36.6	12.5	0
1987	0	2	8.6	12.4	66	144.2	135.9	65.8	76.1	0	6.4	0
1988	0	4.5	33.1	19	43.8	100.7	98.7	58.6	88	10	8.5	0
Prom	9.3	5.7	15.5	23.8	52.8	109.1	115.5	94.5	85.9	43.8	10.5	5.1

PRECIPITACION**EST 15044****AÑOS****27**

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	11	0	2.5	7.5	9	204.5	88	126	52	43.5	23.5	3
1962	0	0	5.5	61	16	111.5	118	103	131.5	66.5	3.5	3
1963	0	1	11.5	9	81.5	97	160.5	131.2	134.5	44.9	6.5	14.6
1964	25.5	0	2.2	53.8	135	81.6	105.2	52.5	102.2	73.8	11.5	12.5
1965	2.5	27.5	4.7	36.8	71.3	55.2	157.4	156.3	137.2	82.8	17	7
1966	11.2	8.7	41.4	42.6	23	73.6	147.5	125.5	66.7	30	0	5
1967	54.6	0	12.8	13.4	83.4	48.9	104.5	170.4	118.7	69.5	2.7	11
1968	1.6	12	1	34.4	95	191.5	129.3	57.6	111.8	42.3	5	10.9
1969	12.1	3	11	12	22.5	20.6	99.7	261.3	73	41.5	4	0
1970	2.8	2.8	1.7	15.2	53.1	138.2	100.3	118.2	103.1	43.7	0	0
1971	0	0.5	28.4	7.9	32.5	169.5	63.7	110.5	105.2	54.2	8.2	22.8
1972	0.5	0	18.9	20.2	70.6	119.8	118.1	120.5	69.6	45.7	35.5	0
1973	1.5	6	0.6	51.5	28.3	53.8	145.8	134.4	77.2	34.4	5.5	0.2
1974	1.6	7	19.1	68.6	57.5	117.3	150.6	108.8	109	3.5	8.1	0
1975	35	6	21.4	8.2	75.2	168	128.6	226.1	59.7	11.8	0	0
1976	0	1.3	16.5	33.5	64.3	33.4	135.3	129.9	84.4	44.4	13.2	47.5
1977	5.2	2.5	0	5.1	74.9	97.4	82	68.9	142.8	81.9	27.2	3.2
1978	2.6	11.9	45.3	0.2	34.7	172.9	68	50.7	102.6	36.8	28.7	10
1979	0	21.6	53.9	25.5	49.9	71.6	107.7	139.5	96.2	7.3	3.2	13.3
1980	39.8	3.4	2.4	39.5	24.7	37.6	86.8	133.6	103.5	24.3	48.3	0
1981	23.3	2.5	10.8	95.8	54.1	151.1	78	144	111.3	52	1.5	2.1
1982	0	11.6	15.4	31.5	75.8	62.6	130.6	81.2	12.5	54.6	0	2.8
1983	16.2	11.8	1.8	0	9.8	60.4	95.7	109.9	79.1	32.2	5.2	21
1984	7.4	8.4	24.1	0	26.8	87.7	182.9	93.1	161	38	0.5	8.4
1985	3.7	0	37.5	40.2	56.4	144.5	78.3	137.3	118.1	38.4	7.2	0
1986	0	0	0	36.6	56.2	231.3	61.2	125.2	27.3	27.6	7.5	1.5
1987	0.1	1.8	12.5	13.6	61.7	101.6	96.3	76.1	80.5	0	7.4	0
1988	0	1.5	53.6	24.2	26.7	71.3	162.4	57.2	116.3	18.1	7.5	0
Prom	9.2	5.5	16.3	28.1	52.5	106.2	113.7	119.6	96.0	40.8	10.3	7.1

EST 15263**AÑOS****3**

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1986	0.3	0	0	24	32.6	222.7	78.1	146.4	24	108.3	13	0.3
1987	0.2	2.4	11.3	15.8	24	133.5	134.9	132.4	75.1	0	4.8	0
1988	0.6	4.5	46.6	23.4	33.6	141	127.8	61.6	75.8	0	0	0
Prom	0.4	2.3	19.3	21.1	30.1	165.7	113.6	113.5	58.3	36.1	5.9	0.1

PRECIPITACION

EST	15083	AÑOS										
						27						
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	8.2	0	8.6	6	12.5	211.7	66.3	73.2	42.7	9	5.2	3.5
1962	0	2.5	5	82.6	21.8	68.1	61.3	97.5	98.2	40.9	3	4
1963	0	0	18.2	33.5	77.5	75.4	174.1	123.9	115.6	36.4	22.3	8.5
1964	28.5	0	3.4	28	78.7	94.8	84.5	72.3	81.8	49.1	6	9.9
1965	2.4	20.5	12.6	15.1	60.4	53.8	106.8	143.1	129.6	69.7	3.2	5.6
1966	13.1	3.2	54.3	30.3	5.1	68.9	118.9	103.5	85.1	32.2	0	6
1967	59.2	0	9.9	13.2	62.6	52	96.1	156.8	145.5	75.3	1.6	2.5
1968	1.6	15.6	1.2	61.6	59.2	196.3	118.4	73.4	79.4	40	5.4	11.4
1969	8.9	15.3	10.4	13.2	10.9	53.3	142.9	267.1	63.1	15.1	2.7	0
1970	1.1	2.8	1	23.4	48.4	108.5	76.2	55.9	103.4	42.2	0	0
1971	0	0.1	15.9	9.8	23.6	136.9	63.9	91.1	75.8	95.3	4.3	11
1972	0	0	19.7	18.9	80.9	89.5	133.4	55.2	59.8	71.1	17.9	0
1973	0.5	2	3.2	40.9	67.6	40	87.1	122.6	68.9	39.4	10.4	1.9
1974	0.1	1.7	11.6	47.1	49	69.7	101	61	88.8	6.1	0.1	0
1975	32.7	8.4	4.9	29	91.8	114.4	130.6	92.2	37	12.8	0	0
1976	0	2.5	17.9	31.8	68.8	21.4	151.9	63.6	87.2	68.1	20.1	23.9
1977	2.9	4.5	0	1.7	47.8	85.1	152.7	55	113.2	36.9	3.3	0.6
1978	3.2	12.3	42.1	4	74.1	160.7	78.6	45.2	93.1	96	21.6	0
1979	1.5	13.5	27.4	22.5	37.9	84	100	186.3	123.2	0.5	0	13.3
1980	38	7	0	30.1	41.5	32.3	99.8	119.7	42.5	42.6	22.7	0
1981	21.7	4.2	11.2	68.3	65.7	126	153.1	120.4	60.2	95.9	2.5	7.7
1982	0	5.3	10	33.5	85.5	59	89.6	94.7	3	50.4	0.5	3
1983	14.6	9.1	9.8	0	10.2	59.7	146.8	83.8	120.3	26.2	5.5	2.8
1984	45.8	7.1	1.8	0	41.3	95	268.7	93.2	104	81.9	0.1	6.4
1985	7.1	0.8	15.5	52.4	35.4	162.9	66.2	114.5	87.7	48.2	2.8	0.8
1986	0	0	0	32.3	76.6	208.3	70	98.8	45.1	37.1	5.7	8.5
1987	0	1.9	13	15.3	57.3	144.5	193.6	125.7	47.1	0	4.7	2.1
1988	0	3.5	48.5	19.1	44.1	84.1	111.2	47.2	111.6	9.5	18.9	0
Prom	10.4	5.1	13.5	27.3	51.3	98.4	115.8	101.3	82.6	43.9	6.8	4.8

EST	15145	AÑOS										
						15						
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1969	11.8	2	15	22.6	4.5	37.1	105.4	220.1	53.1	28.7	1.1	0.5
1972	0.4	0.6	4.9	53.1	103	113.3	85.8	75.1	60.2	27.8	24.1	0
1973	0	7.5	3.5	25.1	27.2	78.1	170	113.7	35.5	48.4	8.3	0.8
1974	7.2	16.2	19.9	31.4	31.2	96.9	162.6	43	93	6.8	0.4	0
1975	36.3	2	16.4	6.9	77.5	71.9	98	127	66.4	27.2	0	0
1976	0	5.6	6.5	33.4	45.1	43.7	93	186.4	164.5	90.7	4.9	37.7
1977	2.2	4.9	0	19.3	64	95.8	159.5	41.1	103.6	46.3	6.3	1.2
1978	3.2	11.5	50.8	0.8	12.8	168	103.1	38	91.6	95.5	12.2	7.7
1979	0	26.6	1.5	20.8	45.6	55.5	149.6	127.2	132.2	2.5	1.6	20
1980	39.6	7.9	1.6	46.8	42.5	60.5	60.7	82.4	70.7	51.5	39.6	0
1981	18.9	11	12.8	24.7	18.2	154.2	78.3	148	49.8	12	5	1.7
1982	0	7.7	10.5	30.7	61.6	87.9	92.2	34.5	18.7	27.8	0	2.5
1983	13.5	3	6.3	0	15	78.4	98	104	91.9	48	6.5	7
1986	0	1.9	0	18.7	31.5	226	87.3	73.3	36.8	67.1	14.4	2.9
1987	0	2	6.4	10.6	58.5	94.4	152.9	95.2	117.4	0	20.3	0
1988	0	26.1	42	10.4	43.6	102.9	93.7	130.4	86.5	3.9	1.5	0
Prom	8.3	8.5	12.4	22.2	42.6	97.8	111.9	102.5	79.5	36.5	9.1	5.1

PRECIPITACION

EST	15101	AÑOS										
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	21	0	2	20	25	220	129	85	35	34	23	10
1962	0	0	0	69	19	90	32	45	153	65	5	2
1963	0	0	20	16.2	120	82	161	164	78	52	12	13
1964	24	0	15	9	131	132	73	94	114	40	15	8
1965	3	24	9	52	54	114	140	136	134	64	7	11
1966	9	1	77	48	11	75	173	186	48	42	1	5
1967	82	4	5	37	93	54	65.6	140	132	90	7	0
1968	3	19.1	0	84	26	142	74	34	119	50	12	11
1969	15	4	26	6	16	27	182	205	69	15	9	0
1970	4	5	0	22	40	155	122	40	76	24	0	0
1971	4	0	22	17	50	174	104	105	144	98	20	17
1972	0	2	9	50	121	97	109	74	101	34	4	0
1973	0	7	0	43	38	80	100	224	150	41.5	14	0
1974	3	1	14	36	34	102	205	83	87	43	6	0
1975	54	8	13	25	101	152	86	125	35	23	0	0
1976	0	0	14	31	86.5	99	198	88	109	87	9	29
1977	3.5	3	0	4	64	47.5	107.5	137.5	70	33.5	12	3
1978	2	13	35	5	52.5	167.4	91	55.5	104.5	39	9	0
1979	2	21	5.5	14.5	60.1	74.5	87.5	123.5	86.7	0	4	23
1980	57.5	8	3	43	23	59.3	90.7	148	58	70.5	60.1	0
1981	20.5	7.7	22	38.3	63	198.5	188.7	78.8	91.2	79.5	4	2.4
1982	0	20.2	12	92.5	106	56	70.5	72.5	19.5	121.5	0	2
1983	27.7	24	10	0	22	45	75	92	108	44	5	1.4
1984	20	15	5.5	0.6	48	148.5	172.5	104.5	121	57.5	0	4
1985	7	7	30	59.7	44.3	221.5	43.5	94	130	32.5	8	0
1986	0	0	0	35.7	90.4	183.8	67.2	72.5	45.5	33.8	3.8	0.3
1987	0	0	16.7	13.3	69.5	131.3	163.2	135.3	54.7	0	5	0
Prom	13.4	7.2	13.5	32.3	59.6	115.9	115.2	109.0	91.6	48.7	9.4	5.3

EST	15123	AÑOS										
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1969	19.5	0	26.5	21	26	25.5	133.5	235.5	32	27	3.5	0
1970	3	3.5	1.5	6	84	158	103.5	21	117	61	0	0
1971	0	0	10.5	5.5	21	170	73	150	62	77.5	12.5	0
1972	0	6	13	31	94.5	108	76	91.5	92	13.5	31	0
1973	0	4	5	48.5	38	99	140	155	61	46	3	4.5
1974	7.5	0	22	40.5	49	116.5	151.5	78.5	100.5	18	6	0
1975	4	0	0	63	133	45.5	50	132.5	48	31	0	0
1976	0	8	23	42.5	116	26.5	183	121	128	107	4	35
1977	3	7	0	16.5	145	34.5	206	55	69.5	36	0	0.6
1978	2.5	17	44.5	0	5	265	103	71.5	153.5	52	22.5	0
1979	0	16.5	7.4	32.5	12.5	71.4	136	243	122.6	0	14.3	21
1980	61.5	0	24.7	61	20.4	65.1	130.1	124.4	53.8	55.3	17.4	0
1981	23	3	19.5	102	60	168.5	122.2	66	95.5	41.2	0	0
1982	0	1.9	41.5	38	138	21.5	78.5	58.5	0	57.7	0	0
1983	22	48	15	0	35	56.6	200.2	219.5	64	83	0	22.5
1984	0	15	25	0	107	104.6	157	130.5	87.5	69.3	0	27.7
1985	14.5	5	32	71.2	27.1	150.6	76	102.4	116.2	21.1	10	0
1986	0	0	0	0	83	221.2	70.4	80.9	78	65.5	0	0
1987	0	0	10	5	48.3	110	121	121	78.5	0	0	0
Prom	8.4	7.1	16.9	30.7	65.3	106.2	121.6	118.8	82.1	45.4	6.5	5.9

PRECIPITACION

EST	15124	AÑOS										
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	14.1	0	4	26.3	13.3	217.3	93.4	50	30.3	24.7	4.7	1.2
1962	0	0	4.3	63.6	4.9	116.8	99.1	110.8	123.4	59.7	4.6	3
1963	0	3	25.8	9.6	74	90.5	116.3	164.6	95.7	46.1	3.2	20.7
1964	26	0	3	32.2	140	84.2	128.5	56.3	116.9	27.6	8.1	9.9
1965	2.5	21.2	6.5	27.3	85.8	75.8	151.5	171.7	119.3	94.9	1.2	6.2
1966	10.6	7.8	49.9	47.3	22.4	111.4	145.7	120.8	50	40.2	0	5.3
1967	54.5	0.8	14.4	11	70.9	69.1	104.8	156.7	189.1	65.8	6.3	16.6
1968	0.7	16.8	1.1	40.8	51.9	189.4	143.3	137.5	192.3	57.8	11.1	22.2
1969	17.5	2.3	8.8	12.3	22.6	28.9	114.2	241.7	48.7	39.1	0.3	0
1970	2.3	2.7	1	6.1	37.8	89.7	161.2	143.7	114.6	40.7	0	0
1971	0	0	40.5	2.6	43.6	155.1	86.4	102.3	88.5	117.9	2.7	9.9
1972	0	7.3	22.3	16.7	82.2	75.9	153.9	86.3	54	31.3	46.4	0.1
1973	0.6	4.8	1.8	25.9	28.4	90.4	81	141.4	62	30.1	3.7	0.2
1974	2.7	3.3	10.8	43.3	47.1	168.6	179.3	118.8	94.1	1.7	26.2	0
1975	35.6	4.6	2.3	13.2	120	142.6	97.8	154.5	46.1	9.4	0	0
1976	0	1.5	16.2	37.1	62.9	24.7	229.3	154.1	100.7	55.3	11.7	29.1
1977	5.7	0.6	2	5.7	79.5	58.2	103.5	64.4	79.6	55	49.4	12.3
1978	3.9	10.6	47.5	0.9	17.2	157.1	78.1	61.4	102.1	46.7	54.4	10
1979	0.5	26.2	40	23.6	41.6	41.7	82.2	154.1	100.6	2.8	4.7	13.8
1980	36.3	4.2	4.6	51.5	29.5	72	127.7	120	86.9	33.9	39.9	0
1981	24.6	4.1	15.3	75.3	49	144.5	43.9	120.8	143.5	83.9	5.5	5.6
1982	0	6.7	18.6	34	76.8	50.1	143.7	53	18.3	50.4	0.6	2.7
1983	16.2	6.3	8	0	8.4	65	153.3	63.5	75.3	17.7	1.9	11.3
1984	7.2	11.3	17.7	0	19.7	129.9	211.6	82.8	112.3	42.8	2.3	8.8
1985	0.6	0.6	29.5	31.8	49.1	156.1	88.2	133.1	106.7	7.4	7.1	0
1986	0	0	0	19.1	41.4	246.2	63.2	136	25.7	96.9	7.6	0
1987	0	2	7.8	15.8	38.9	103.4	109.9	95.2	71.1	0	6.8	0
1988	0	1.3	1.4	23.9	17.5	88.4	141.4	50.1	93	37.7	11.1	0
Prom	9.4	5.4	14.5	24.9	49.2	108.7	122.6	115.9	90.7	43.5	11.5	6.7

EST	29013	AÑOS										
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1967	0	2	5	18.5	62	92	52	115	126	69.5	10	1.5
1968	2	34	0	103	54	170.5	114	56	94.5	29	17	27.5
1969	23.5	4	0.8	17.5	18.5	10	114.5	257.3	66	45.6	12.5	3.5
1970	10	7	1.5	3.5	77.5	176	61.7	66.5	126.9	86	0	1.5
1971	1	1.5	39.6	8.5	59.5	133.5	132.5	70.5	125.5	99.5	16	14
1972	2	0	18	28.3	126	114.1	168.1	49.9	116.6	66.9	35.2	12.5
1973	0	2.4	7.3	25.9	78.7	180.4	176	204.3	125.1	51.5	11.4	4.4
1974	8.4	6.3	18.1	30.4	40.8	277	182	87.6	151.9	66.8	9	0
1975	25.8	8.1	7.7	41.2	125	171.6	141.2	69.6	87.7	25.1	0.6	0
1976	0	5.7	16.8	65.4	85.3	85.5	196.5	110.5	52.2	155.6	11.3	32
1977	0.6	6.9	0	17.1	94.9	112.7	129.7	61.8	88.4	112.6	9.8	9
1978	3	18.7	61.8	14.7	22.7	204.4	124.2	138.5	108.2	83.3	23.8	1.6
1979	1.3	22.1	26.6	50.7	57.6	68.7	216.4	136.4	151.2	8.1	8.6	16.3
1980	58.7	6.8	6.4	70.8	108	42.9	56.6	185.9	45.6	35.8	32.6	0
1981	20.2	25.7	39.3	52.4	76.5	212.1	88.1	143.1	116.7	31.9	1.8	3.5
1982	0	11.5	24.8	34	84.1	57.7	65.8	95.8	23.9	56.5	3.3	1.3
1983	33.2	40.2	28.7	0	34.6	47.3	157.1	92.2	88.9	29.7	4.9	2.7
1984	22.4	12.2	25.9	4.1	62.4	141.9	190.2	133.8	149.5	36.8	0.3	4.5
1985	6	13.3	38.5	65.8	92.9	155.5	124.9	70	95.4	32.7	4.9	1
1986	0.4	3.3	0	74.4	79	111.3	90	97.5	17.1	41	3	1
Prom	10.9	11.6	18.3	36.3	72.0	128.3	129.1	112.1	97.9	58.2	10.8	6.9

PRECIPITACION

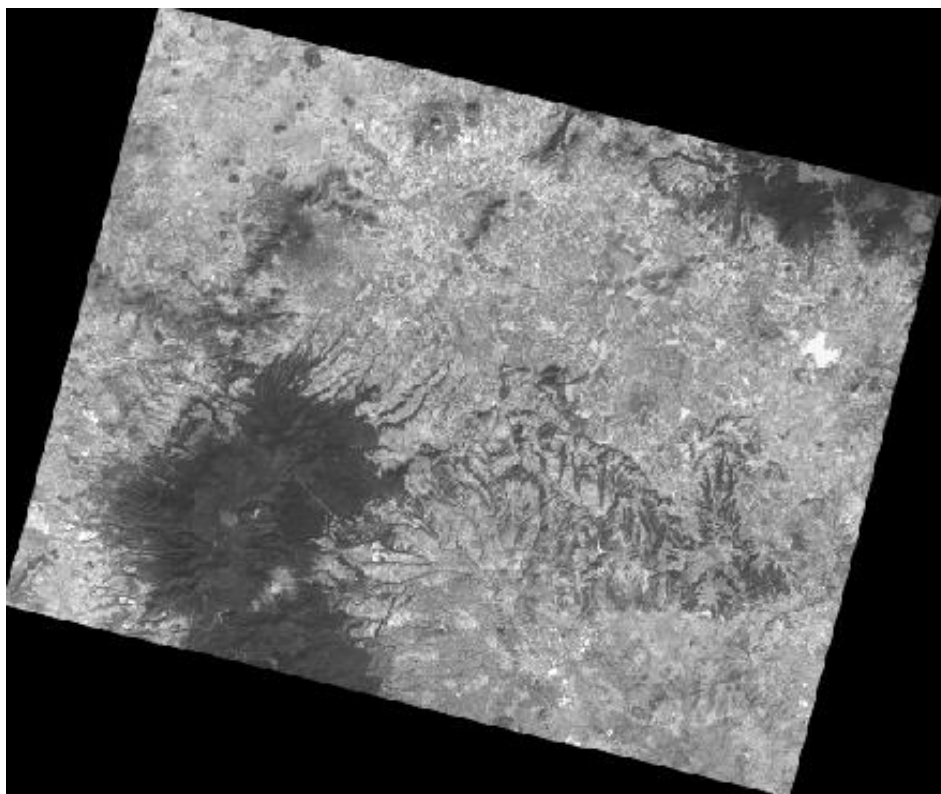
EST	15125	AÑOS										
						26						
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	3.5	0	0	0.4	22.8	201.6	117	82.4	59.7	12.2	6.2	3.5
1962	0	1.2	4.6	81.3	31.4	113	73.8	110.2	110.7	79.3	4.3	8.6
1963	0.5	0.3	21.3	23.7	61.1	85.1	191.4	130	134	31.6	3.2	11.5
1964	27.2	0	10.3	18.9	97.1	174	99.1	74.2	106.3	35.5	8	10.6
1965	2.7	25.6	0.3	27.9	40.9	94.4	104.2	158.1	79.7	55.4	0	8.9
1966	12	0.9	56.3	34.5	14.2	64.5	186.7	124.6	53.4	46	0	4
1967	64.5	2	14.7	13.2	44.4	30.2	62.2	187.7	134.5	60.1	0	0
1968	7.6	21.8	0	43.8	40.8	139	116.4	94.3	89.3	63	4	14.5
1969	14.4	5.5	14	15.8	14.5	37	145	238.1	89.3	63	4	14.5
1970	5.1	3.2	0	13	49.8	145.7	96.3	69.3	92.2	42.5	0	0
1971	0	0	10.9	37.9	65.1	80.2	98.6	66.7	84.6	59.1	7.8	0
1972	0	4	2.5	32.5	63.1	54	111.7	172.9	80.4	47.3	22	4
1973	0	2	10	58.2	65.2	114.1	194.4	97.4	87.6	19.9	2.5	0
1974	24.3	4.5	8	21.1	79.1	136.9	88.8	73.3	45.6	14.5	0	0
1975	0	3	9.8	47.3	71.9	56.4	179.3	84.6	82.8	70.2	3.9	22.3
1976	0.5	3.5	0	4.1	39.5	68.3	148.7	69.2	124.5	32.7	27.8	2.5
1977	2	12.5	38.4	2.1	24.5	218.1	109.3	84	104.4	55.2	17.3	1.3
1978	1	24.5	35.3	8.4	49.3	89.4	113.4	116.3	188.4	0.1	1.2	24.8
1979	41.6	6	4.7	27.7	25.9	63.6	84.6	104.4	54.2	52.6	38.5	0
1980	23.7	5.8	22.7	46.5	61.9	154.9	154.1	93.2	86.2	50.7	20	2.6
1982	0	5.9	30.8	34.9	84	73.4	95.5	48.6	17.6	44.2	0	2.5
1983	17.8	10.9	9	0	12.1	96.2	106.1	132.4	81.9	40.7	8.3	0.6
1984	19.8	13.9	1.4	0.8	25.5	116.5	263.3	98.3	110.4	36.9	0	3.5
1985	5	0	6.6	63.1	34	163.4	55.4	143.1	76.7	22.4	4.9	0.2
1986	0	0	0	23.3	68.8	128.2	84.6	102	30.6	29.6	4.4	0
1987	0	0	10.4	19.1	40.9	121	131.5	164.2	38.2	0	4.9	0
1988	0	16.2	47.6	14.2	47	104.3	120.2	60.8	95.6	13.7	19.3	0
Prom	10.1	6.4	13.7	26.4	47.2	108.3	123.4	110.4	86.6	39.9	7.9	5.2

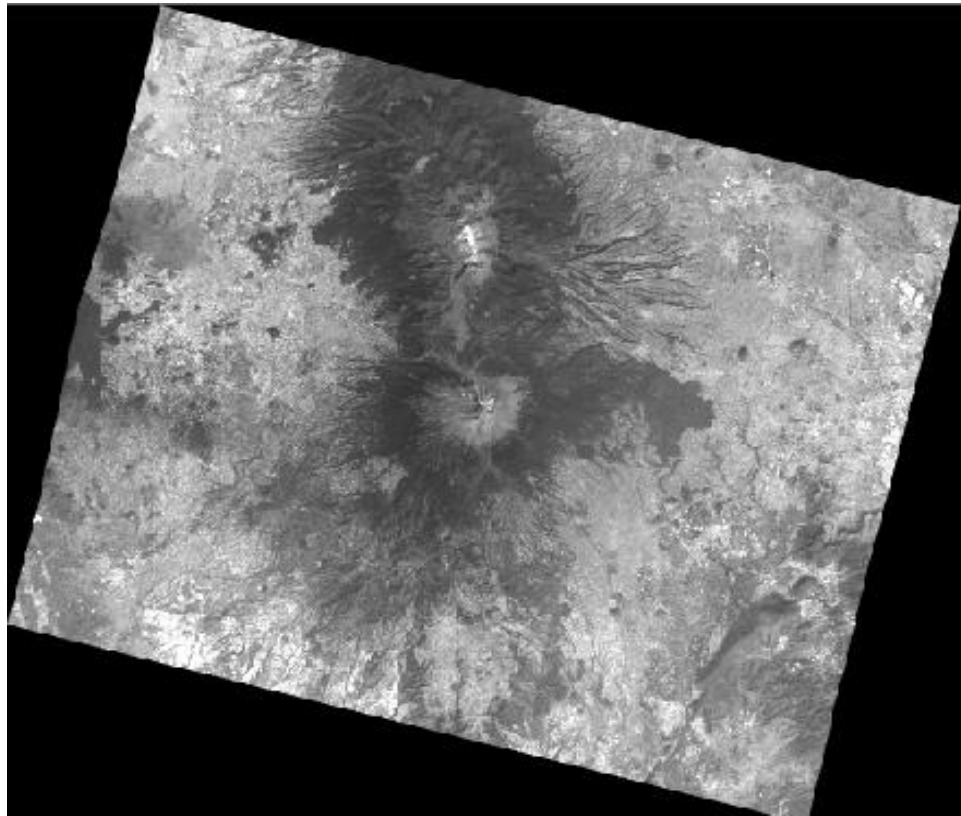
PRECIPITACION

EST	15167	AÑOS										
						28						
<u>AÑO</u>	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago</u>	<u>Sep</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>
1961	5.5	0.5	3.5	23.5	21	205.5	89.5	112.5	37.5	15.5	4	0
1962	0	0.5	7.5	64	20.5	110	61.5	71	86.5	69.7	2.5	3.5
1963	1	0	29	12	85	77	126	137	115.6	33.5	3	12
1964	21	0	9.5	15	106	116.3	146	49.5	108.9	21.5	9.5	9
1965	1.5	23	4	15.7	22.3	67.2	99.3	140.5	57.9	60	0	5
1966	9.5	4	63	22.3	9	71.1	106.4	148.5	33	31	0	5
1967	65.5	2	6.5	26.5	61.5	27.5	142.7	125.3	115.2	44	1.7	2
1968	9.9	11.1	0	51.5	42.2	140	93	73.5	70.5	50	2	16
1969	9.5	12.5	25	9.5	8.5	42.5	154.5	206.7	52.5	11	3.5	0
1970	4.5	2.5	0	6	33.5	94.1	105.5	68.5	64	39.5	0.5	0
1971	6.5	0	11.5	8	31.5	181	97.3	50.7	84	88	9.5	11.5
1972	0	0	13	49.7	79	87.5	126.3	41.5	114	28	6.5	0
1973	0	0	0	9.5	46	177.5	235	227	118.5	99	15.5	2.5
1974	1.5	1.5	11.5	64	90.6	103.6	214	76	96.5	31.5	0	0
1975	33.6	11	2	16.3	101	73.1	129.9	74.4	53.5	7.6	0	0
1976	0	16.5	6.3	43.2	70.5	22.5	129.5	99.8	165.4	118.8	4	26
1977	4	4.5	0	12.5	68.5	70.8	128.5	77.8	55.7	32	24.7	3
1978	1.6	12.5	43.5	6.5	22	199.6	113	46	62.5	80.5	35.1	0.5
1979	0	21.5	10	19.4	38.5	31.3	102.6	159.7	167	0	1.7	16
1980	39.2	11.1	1.8	40.2	56.1	40.5	42.7	133.2	54.5	61.6	36.7	0
1981	4	8	7.5	45	20.5	114.8	103.3	81.5	79.9	76.5	9.3	2.5
1982	0	7	8.2	25.5	91.8	57.5	99.1	57.7	15	36.2	0	0
1983	21.5	12.5	8.5	0	21.3	45	130.1	67.1	86.5	47	3	1
1984	11.3	22.2	2.5	2	54.3	76.5	207	96.8	79.2	56	0	3
1985	0	0	12	54.8	23.2	151.5	62.6	67.5	64	23.6	5.5	0
1986	0	0	0	22	72	132.5	103	115	25.5	45.5	5	0
1987	0	0	11.6	8.5	72.1	83	124	128	111.5	0	21.1	0
1988	0	7	48.5	15.5	34.2	87.5	88	48	95.5	12	3	0
Prom	9.0	6.8	12.4	24.6	50.1	96.0	120.0	99.3	81.1	43.6	7.4	4.2

PRECIPITACION

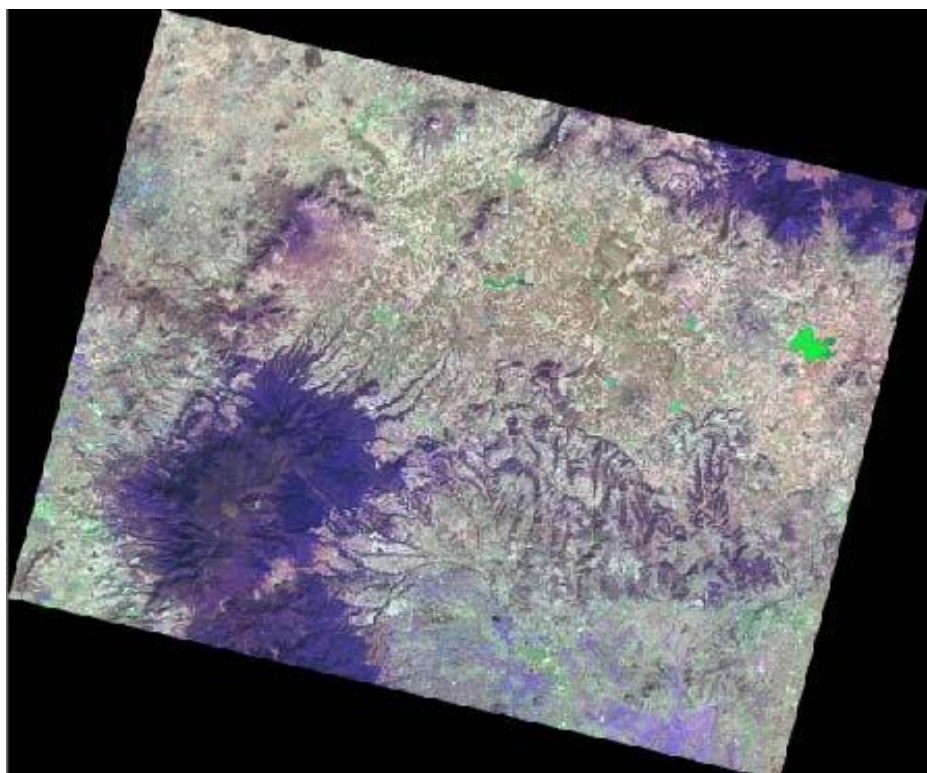
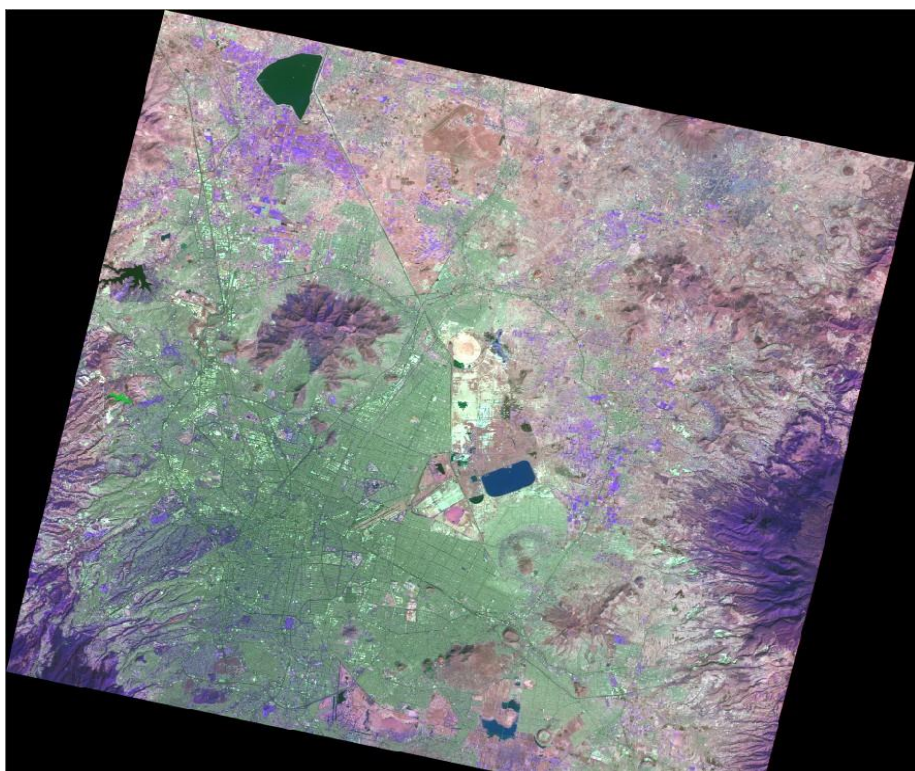
EST	15170	AÑOS										
		28										
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	5.5	0.4	7.7	5.6	22.3	174.7	149	94	67	17.8	7	4.8
1962	0	2.7	6.7	76.2	22.2	82.7	48.3	84.6	104.3	78.7	1.9	3.5
1963	0.2	0	32.6	37.8	55.8	86.4	160.7	125.5	114.7	24.9	1.8	18.7
1964	22.1	0	18.2	13.3	110	173.9	82.6	55.3	126.3	34.3	8.1	8.2
1965	2.8	27.2	0	16.6	44.4	71.7	85.1	146.5	81.2	70.7	1.8	7.5
1966	10.4	6.3	61.6	31.6	7.1	80.2	176.6	141.4	65.2	54.6	0	4
1967	65.8	0.4	14.4	13.6	62.8	42.7	93.3	160.1	117.9	58.3	3.6	3.3
1968	9.7	21.2	0.5	42.4	37.2	136.3	161	88.3	113.1	81.1	5.2	17.7
1969	14	13.4	16.5	10.3	18.7	37.8	161.5	236.9	82.4	7.2	4.2	0
1970	4.1	4.4	0.4	15.9	46.2	139.5	100.6	106.6	113.4	40.5	0.2	0
1971	9.3	0	11.2	28.6	25.4	158.7	87.3	59.2	85.9	61	8.5	7.7
1972	0	0	16.8	39.1	68.7	92.4	89.2	64.4	86.5	49.8	8.9	0
1973	0	5	7.9	30	56.1	81.9	129.8	197	72.9	53.6	22.9	1
1974	5.2	3.7	11.7	64.1	62.2	112.3	224.8	129	91.1	22	3	0
1975	36.8	11.3	7.8	35.9	88.7	127.4	155.1	91.9	36.4	14.2	0	0
1976	0	3.5	9.1	44.9	81.9	57.8	170.8	117.5	95.5	77.5	3.6	20.8
1977	0.6	5.1	0	7.6	47	95.6	129.4	59.5	112	31.6	27.8	4.3
1978	2	12.5	38.9	2.6	25.6	213.1	108.5	89	91	62.1	30.2	0.7
1979	0.3	27.6	31	7.9	65.7	89	122	102.2	189.9	1	5.1	28.8
1980	45.7	7.8	3.7	33.8	32.5	83	69.5	122.9	69.6	46.5	30.3	0
1981	21.8	6.2	21.3	45.6	49	178	140.2	102.8	104.2	54.4	22.7	4.3
1982	0	6.9	20.3	39.1	55.5	64	85.7	38.5	16.5	50.2	0	2.7
1983	19.4	10.3	9.5	0	21	83.2	111.5	115.7	89.7	41.9	7.7	0.5
1984	28	13.5	1.3	0.5	32.3	126.7	224.6	90.1	110.6	35.2	0	4.2
1985	8.5	0.3	9	70.1	35.8	163.1	64.4	153.3	82	22	7.1	0
1986	0	0	0	27.3	77.1	87.8	78.7	126.6	34.2	49.8	3.6	0
1987	0	0.3	13.7	18.8	40.2	134.1	134.1	150.8	75.3	0	6.2	0
1988	0	8.9	52	19.5	34.6	104.2	112.1	61.5	117.9	13.2	7.5	0
Prom	11.2	7.1	15.1	27.8	47.3	109.9	123.4	111.1	91.0	41.2	8.2	5.1

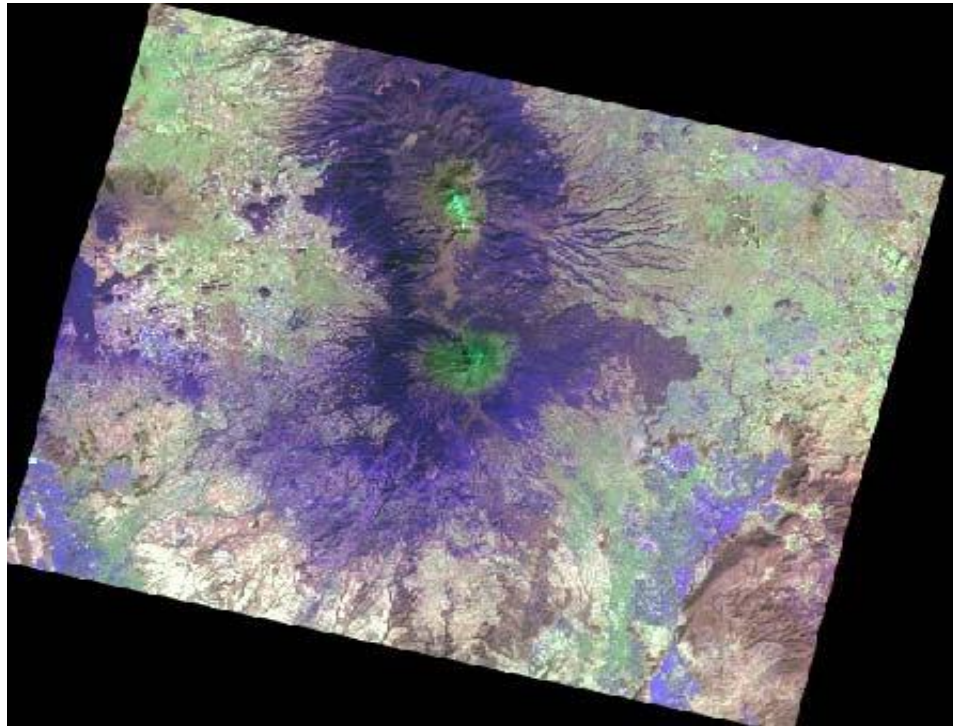
ANEXO 2: IMÁGENES PANCROMÁTICAS SPOT 5



IMAGES PANCROMÁTICAS DEL SPOT 5 08 – ENERO - 2006



ANEXO 3



**IMAGES SPOT
MULTIESPECTRALES
4 BANDAS
09 – ENERO - 2006**



BIBLIOGRAFÍA

JIMENEZ, D. R. M. 1998, Agricultura Sostenible, Ediciones Mundi_Prensa, España 1998.

CAMPOS, A. D. 1980, Procesos del Ciclo Hidrológico, Editorial Trillas, España 1980.

ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE INC. 1985 ARCINFO. Redlands, California, USA.

ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE INC. 1999 ARCVIEW. Versión 3.2. Redlands, California, USA.

ERDAS. 1997 ERDAS Field Guide. Fourth edition revised and expanded. ERDAS Inc. Atlanta Georgia. USA. 660 p.

CAMPBELL B., J 1996. Introduction to remote sensing. Second edition. Ed. Guildford Press.

LOPEZ V., M. L. 1978. Manual de Foto geología. Publicaciones científicas de la Junta de Energía Nuclear. Madrid, España.

Estudio Geofísico-Geohidrológico de la zona del Lago Nabor Carrillo, Texcoco Estado de México, Comisión Federal de Electricidad, Subdirección Técnica, México, Agosto 1996.

FIGUEROA S. B., Manual de predicción de Pérdida de Suelo por Erosión, Colegio de Postgraduados, Chapingo México, 1991.

Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidrológico, Gerencia Regional del Valle de México y Sistema Cutzamala, Comisión Nacional del Agua, México, Conagua, 2005.

Becerra, M. A., 1999. Escorrentía Erosión y Conservación de Suelo. UACH

Cortés T. H. G., 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando Métodos Multivariados, Tesis M. c. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia.

Hickey, R., A. Smith and p. Jankowski, 1994. Slope Length Calculations from a DEM within Arc/Info GRID, Computing, Environment and Urban Systems, Vol. 18, No. 5, pp. 365-380.

Kent Michel, J.; et. al. 1984. Estimación de la perdida de suelo. En Kirby M., j; R. P. C. Morgan (eds.). Soil erosion. Ed LIMUSA, México.

SEMARNAT, 2003. Evaluación de la Pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la Republica Mexicana. Escala 1:1'000,000. México.