



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CUERPO ACADÉMICO DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

## **GESTOR DE DATOS DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN ACCESS**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA

JOSUÉ ROMERO ALONSO

DIRIGIDA POR

DR. CONSTANTINO DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ

Morelia Michoacán, Julio de 2011

## DEDICATORIAS

A mis padres por todo el apoyo moral y económico que me han brindado durante toda mi formación profesional, por todos los valores y enseñanzas que hicieron de mí lo que soy.

A mi esposa que ha estado a mi lado en las buenas y en las malas, por ese apoyo incondicional que recibí durante toda mi carrera, por su amor y comprensión.

A mi bebe que acaba de nacer, que sin duda es lo mejor que me ha pasado en la vida, fruto del amor que le tengo a mi esposa y un motivo indispensable para seguir adelante y superarse.

A mis hermanos que sin duda son parte esencial para mí y que aunque son más pequeños siempre he sentido su apoyo y me han demostrado su disposición en todo momento.

A mis abuelitos, pero sobre todo a mi abuelita “wee” que siempre me apoyo y fue como una mama, amiga y compañera para mí y, que donde quiera que ella esté siempre la recordaré “así”.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo por brindarme un espacio digno, donde adquirí todos los conocimientos necesarios para comenzar mi vida profesional.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT Michoacán) por el apoyo recibido mediante la beca - tesis.

Al Dr. Constantino Domínguez Sánchez por haber aceptado ser mi asesor.

A la Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe por todo el apoyo incondicional que me ha brindado y, que como persona es excelente.

A todos los docentes que imparten clases en la Facultad y que con mucho entusiasmo han venido transmitiendo sus conocimientos de generación en generación y, que día a día se esfuerzan por ser mejores para beneficio de los alumnos.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 BASE DE DATOS .....</b>	<b>11</b>
2.1.1 Importancia de las bases de datos en la toma de decisiones .....	11
2.1.2 Microsoft Access .....	11
2.1.2.1 Objetos en Access .....	12
<b>2.2 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Base de datos meteorológicos .....	14
2.2.2 Estaciones meteorológicas diarias .....	14
2.2.3 Estaciones meteorológicas horarias .....	20
2.2.3.1 Estación meteorológica automática – EMA .....	21
2.2.3.2 Estación sinóptica meteorológica automática – ESIME .....	23
<b>2.3 PRECIPITACIÓN .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Tipos de precipitación .....	26
2.3.2 Medición de la precipitación .....	26
2.3.3 Pluviógrafo .....	26
2.3.3.1 Tipos de pluviógrafos .....	27
2.3.3.2 Importancia del pluviógrafo .....	28
2.3.4 Distribución y utilización de la lluvia .....	29
2.3.5 Intensidad de las lluvias .....	29
2.3.6 Precipitaciones en México .....	30
2.3.6.1 Protección contra inundaciones .....	31
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 ZONA PILOTO .....</b>	<b>33</b>
3.1.1 Descripción del área de estudio .....	33
3.1.2 Mapas de ubicación .....	33
3.1.2.1 Modelos digitales de elevaciones (mde) .....	34
3.1.2.2 Mapa de cuencas .....	36

3.1.2.3 Mapa de ríos .....	37
3.1.2.4 Mapa de la subcuenca de Cointzio .....	38
3.1.2.4.1 Área .....	39
3.1.2.4.2 Perímetro .....	39
3.1.2.5 Mapa de curvas de nivel .....	39
3.1.2.6 Municipios que se encuentran dentro de la subcuenca.....	40
3.1.2.6.1 Morelia .....	41
3.1.2.6.2 Acuitzio del canje .....	42
3.1.2.6.3 Pátzcuaro .....	43
3.1.2.6.4 Huiramba .....	44
3.1.2.6.5 Lagunillas .....	45
3.1.2.6.6 Villa madero .....	45
3.1.2.6.7 Tacámbaro .....	46
3.1.2.6.8 Tzintzuntzan .....	47
3.1.2.7 Mapa de ríos que se encuentran dentro de la subcuenca .....	48
3.1.2.8 Cuerpos de agua .....	50
3.1.3 Uso de suelo y vegetación .....	51
3.1.3.1 Zona de riego .....	52
3.1.4 Edafología .....	53
3.1.5 Determinación del número de escurrimiento (N) .....	56
3.1.5.1 Tipo de suelo .....	57
3.1.5.2 Cobertura vegetal .....	59
3.1.5.3 Pendiente del terreno .....	62
3.1.5.4 Cálculo del número de escurrimiento .....	63
3.1.6 Determinación del volumen de escurrimiento .....	64
3.1.6.1 Determinación de k .....	67
3.1.6.1.1 Tipo de suelo .....	67
3.1.6.1.2 Uso del suelo .....	67
3.1.6.2 Precipitación anual .....	69
3.1.6.3 Determinación del coeficiente de escurrimiento (Ce) .....	70
3.1.6.4 Volumen de escurrimiento .....	71
<b>3.2 INSTRUMENTACIÓN Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>72</b>
3.2.1 El Correo .....	73
3.2.2 Huertitas .....	73
3.2.3 La Cortina .....	74
3.2.4 Umécuaro .....	74
3.2.5 San Antonio Coapa.....	75
3.2.6 Acuitzio del Canje .....	75
3.2.7 Potrerillos .....	76
3.2.8 Lagunillas .....	76
3.2.9 Cuanajo .....	77
3.2.10 Santiago Undameo .....	78
3.2.11 Información recabada de los pluviógrafos .....	78

<b>4. APLICACIÓN DEL GESTOR EN LA ZONA PILOTO .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS .....</b>	<b>81</b>
<b>4.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN .....</b>	<b>81</b>
4.2.1 Microsoft Visual Studio 2008 .....	81
4.2.2 Aplicación (Lluvias 2.15) .....	81
4.2.2.1 Requerimientos mínimos de instalación .....	81
4.2.2.2 Instalación de Lluvias 2.15 .....	82
4.2.2.3 Interfaz de Lluvias 2.15 .....	82
4.2.3 Ejemplo .....	87
4.2.3.1 Consulta fecha corta .....	87
4.2.3.2 Consulta fecha y hora .....	90
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>95</b>

# CAPITULO I

# INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

En la vida cotidiana se interacciona continuamente con entidades tales como personas, documentos u otros. En una empresa, las entidades están representadas por los operarios, los empleados, los clientes, los proveedores, las facturas. En un hospital nos encontraríamos con los médicos, pacientes, enfermeras, cuadros clínicos, etc. Puesto que en cada caso se debe trabajar con una gran cantidad de datos, surge la necesidad de almacenarlos de manera que nos resulten de fácil acceso en cada momento y, por consiguiente, útiles a nuestras actividades.

Si por ejemplo cada día debemos gestionar varias decenas de clientes y facturas, utilizaremos un sistema para memorizar los datos como, por ejemplo, un fichero, más bien antes que recurrir únicamente a la memoria.

Las fichas aparecen reagrupadas en archivos, cada uno de los cuales contiene en general las fichas de un sólo tipo, las de los proveedores o las de los productos. Este sistema recibe el nombre de base de datos, que no es ninguna otra cosa más que una colección de informaciones tales como el catálogo de los ficheros de una biblioteca, un listín telefónico o una enciclopedia. Los programas de gestión de base de datos (Database) están programados para realizar operaciones que nos permiten acceder y, eventualmente, modificar los datos almacenados. Estas operaciones consisten en:

- Cancelación, modificación y búsqueda de datos a partir de los criterios seleccionados por el usuario de orden.
- Clasificación e impresión de los listados, por ejemplo, bajo el formato de etiquetas adhesivas para sobres.

Uno de los objetivos fundamentales de un sistema de información es contar no sólo con recursos de información, sino también con los mecanismos necesarios para poder encontrar y recuperar estos recursos.

En una base de datos, las entidades y atributos del mundo real, se convierten en registros y campos. Estas entidades pueden ser tanto objetos materiales como libros o fotografías, pero también personas e, incluso, conceptos e ideas abstractas. Las entidades poseen atributos y mantienen relaciones entre ellas.

Las bases de datos Facilitan:

- El almacenamiento de grandes cantidades de información.
- La recuperación rápida y flexible de información.
- La organización y reorganización de la información.
- La impresión y distribución de información en varias formas.

El hecho de poder contar con la información en cualquier momento, facilita mucho la toma de decisiones importantes.

Es por ello que la gran necesidad de obtener información, almacenarla y recuperarla. Para cubrir estos requerimientos es necesaria la creación de una base de datos, la cual ofrece todas las herramientas anteriormente citadas, de una forma compresible, razonable y sencilla.

El presente trabajo es muy importante ya que incorpora la informática a la Ingeniería, en particular las bases de datos, y que en mi opinión siempre tienen que ir de la mano, pues así se puede resolver de manera práctica cualquier problemática que se pueda presentar en la ingeniería, tal es el presente caso, pues manejar en Excel información que fue registrada a intervalos de cinco minutos, de 9 estaciones pluviográficas, durante 2 años, sería bastante tedioso; debido a esta problemática se planteó el diseñar una base de datos que nos permita almacenar, mantener, llevar registro, recuperar e interpretar la información obtenida por los pluviógrafos, además de mantenerla actualizada.

# CAPITULO II

# ANTECEDENTES

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 BASE DE DATOS

La expresión base de datos comenzó a popularizarse a principios de los años sesenta. Anteriormente, en el mundo de la informática se hablaba de archivos y conjuntos de datos. Las colecciones de bases de datos son denominadas, a veces, bancos de datos. Algunos autores que intercambian el significado de estas dos designaciones, afirman que la base de datos es una recopilación de bancos de datos. La expresión banco de datos aparece a menudo en la literatura ambiguamente. Para evitar confusiones utilizaremos el término base de datos.

El antecedente de los manejadores de base de datos es lo que se conoce como administrador de base de datos, el cual era elaborado por un programador, lo que representaba una gran dependencia de los especialistas en computación. Actualmente, no se requiere para manejar base de datos conocimientos de programación, únicamente de los elementales para el uso de las computadoras.

#### 2.1.1 Importancia de las bases de datos en la toma de decisiones

Las bases de datos, hoy en día, ocupan un lugar determinante en cualquier área del quehacer humano, comercial, y tecnológico. No sólo las personas involucradas en el área de Informática, sino todas las personas administrativas, técnicas y con mayor razón los profesionales de cualquier carrera, deben de tener los conocimientos necesarios para poder utilizar las bases de datos.

Contar con un excelente profesional analista de sistemas y experto en base de datos; podría tomar en forma oportuna las mejores decisiones para el normal funcionamiento de una empresa o negocio.

Las estrategias de negocios podrían ser tan flexibles como el tipo de cambio del día a día por que las bases de datos darían la información que se necesita en el momento que se requiere.

#### 2.1.2 Microsoft Access

Es un sistema de administración de bases de datos que satisface todas las necesidades de administración de la información. Ofrece todas las herramientas necesarias para almacenar, mantener, llevar registro, recuperar e interpretar sus datos además de mantenerlos actualizados.

La información almacenada en Access se guarda en tablas, de la misma forma que la información del tiempo de un periódico (tabla 2.1).

CLIMA		
Ciudad	Temperatura	Estado
Atenas	23	Soleado
Chicago	25	Soleado
Lima	19	Lluvia
Manchester	16	Lluvia
Paris	21	Nublado

Tabla 2.1

La tabla anterior tiene tres columnas verticales: Ciudad, Temperatura y Estado. También posee una fila por cada una de las Ciudades de Atenas a Paris. Por último la tabla tiene un nombre: CLIMA.

Estas son las tres características principales de las tablas: filas, columnas y nombre. Esto también es válido en Access, ya que así es más fácil comprender su funcionamiento.

### 2.1.2.1 Objetos en Access

Una base de datos se utiliza para almacenar información, la cual, se encuentra organizada en tablas. La principal característica de Access son los objetos que podemos crear y combinar para producir un sistema de administración completo:

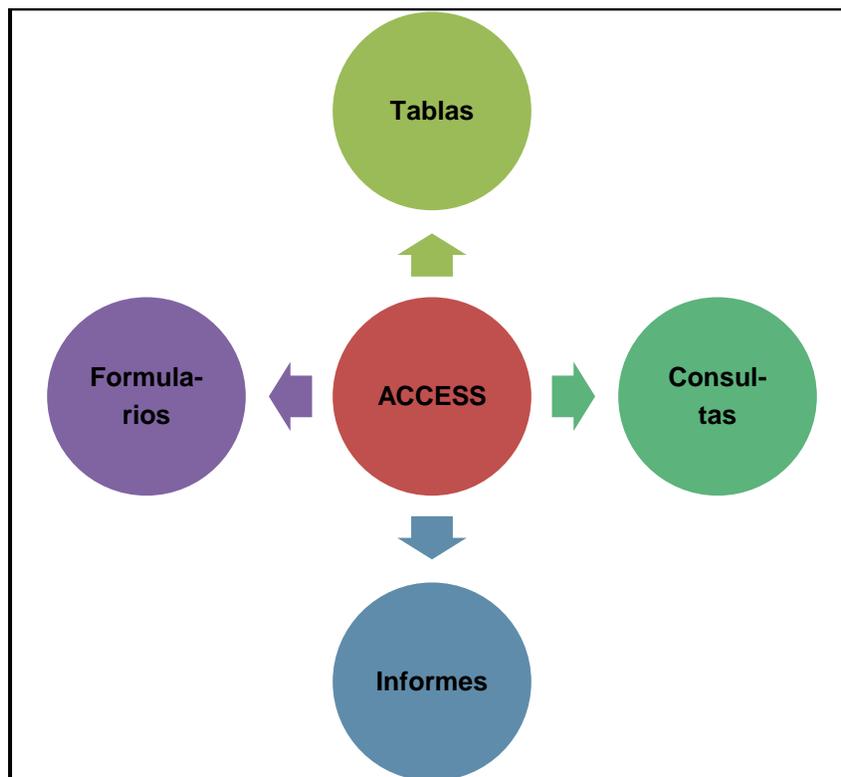
**Tablas:** Las tablas son el componente básico o elemental de las bases de datos. O lo que es lo mismo, una base de datos está principalmente compuesta por varias tablas que contienen datos los cuales se encuentran organizados en filas y columnas.

**Consultas:** Son las preguntas que se plantean a Access para extraer información específica de una o varias tablas. Además es posible realizar acciones de inserción, actualización y eliminación de ciertos datos.

**Formularios:** Son los objetos que despliegan datos de una o más tablas en un diseño informativo. Los formularios facilitan la entrada y despliegue de datos.

**Informes:** Se usan para distribuir información impresa de una o más tablas.

Diagrama 2.1 Microsoft Access.



## 2.2 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

El régimen hidrológico de una región es función de características físicas, geológicas topográficas y climatológicas.

Los factores climatológicos más importantes son la precipitación, la evaporación, la temperatura y la humedad del aire, y los vientos; estos últimos tres en la medida en que ejercen influencia sobre la precipitación y la evaporación.

En relación con la precipitación se estudiará su distribución y las medidas y análisis de los datos necesarios para su cuantificación.

### 2.2.1 Base de datos meteorológicas

ERIC III - Extractor rápido de información climatológica

Este programa contiene información del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Algunas estaciones tienen información desde 1900, aunque la mayoría de los datos (88.4%) corresponden al periodo de 1960 a 2007. Para algunas pocas estaciones se cuenta con información hasta 2008.

SICLIM 1.0 - Sistema de información climatológica

El sistema de información climatológica para computadores personales (SICLIM) contiene la información registrada de 1921 a 1990 en 5,319 estaciones climatológicas de la República Mexicana, misma que está en custodia por la Gerencia del SMN. De cada estación climatológica se informan las mediciones diarias de precipitación, evaporación y temperatura ambiente, máxima y mínima, así como la ocurrencia de niebla, granizo y tormenta eléctrica, y la observación del estado del cielo. El sistema incluye módulos que permiten la obtención de valores máximos y mínimos, el cálculo de promedios y normales climatológicas, el cálculo de utilerías para la extracción de datos, y la edición e impresión de mapas de isoyetas e isotermas. Contiene además los mapas de la división política mexicana, los de la ubicación de las estaciones climatológicas y los de las cuencas y regiones hidrológicas.

CLICOM - producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

### 2.2.2 Estaciones meteorológicas diarias

De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Banco Nacional de Datos Climatológicos incluye registros históricos de la red climatológica nacional (5 000 estaciones) con un periodo de registro de 1941 a 1998, de las cuales en Michoacán existe un total de 175 estaciones que se encuentran distribuidas en todo el Estado.

Estas estaciones muestran la siguiente información diaria:

- ❖ Temperatura máxima y mínima
- ❖ Precipitación
- ❖ Evaporación
- ❖ Tormenta eléctrica
- ❖ Niebla
- ❖ Granizo
- ❖ Cobertura del cielo

El Estado de Michoacán de Ocampo cuenta con 175 estaciones meteorológicas diarias.

Tabla 2.2 Estaciones meteorológicas diarias en Michoacán.

#	NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (m)
1	ACAHUATO	APATZINGÁN	16228	19.148	102.333	1000
2	ACUITZIO DEL CANJE (SMN)	ACUITZIO	16001	19.483	101.333	2070
3	AGOSTITLAN (CFE)	CIUDAD HIDALGO	16002	19.567	100.683	
4	A. LOS CORRALES	PENJAMILLO	16024	20.207	101.862	1693
5	ÁLVARO OBREGÓN (SMN)	ÁLVARO OBREGÓN	16004	19.833	101.033	
6	ANTUNEZ	PARACUARO	16006	19.013	102.2	360
7	APATZINGÁN (DGE)	APATZINGÁN	16149	19.083	102.35	320
8	APATZINGÁN (SMN)	APATZINGÁN	16007	19.083	102.267	682
9	AQUILA	AQUILA	16008	18.417	103.383	100
10	ARCEO	TUMBISCATIO	16190	18.72	102.269	320
11	ARIO DE ROSALES	ARIO DE ROSALES	16168	19.2	101.733	1840
12	ARTEAGA	ARTEAGA	16009	18.35	102.283	860
13	ARTEAGA (CFE)	ARTEAGA	16151	18.355	102.291	940
14	BARRANCA DE CUPATITZIO	URUAPAN	16212	19.467	102.083	1700
15	BUENAVISTA	BUENAVISTA	16216	19.2	102.6	450
16	CACHAN	AQUILA	16208	18.283	103.45	45
17	CAJONES	GABRIEL ZAMORA	16012	19.3	101.917	480
18	CALETA DE CAMPOS	LÁZARO CÁRDENAS	16013	18.083	102.75	12
19	CAMECUARO	TANGANCICUARO	16014	19.917	102.213	1708
20	CAPULA	MORELIA	16247	19.675	101.392	1708
21	CARAPAN	CHILCHOTA	16015	19.85	102.033	1980
22	CARRILLO PUERTO	ÁLVARO OBREGÓN	16016	19.917	101.338	1840
23	CASA BLANCA	PURUANDIRO	16017	20.319	101.459	1694
24	CASA FUERTE	SAHUAYO	16018	20.067	102.683	1523
25	CAURIO DE GUADALUPE	JIMÉNEZ	16248	19.92	101.858	
26	CHAPARACO	ZAMORA	16031	19.974	102.265	1632
27	CHARAPENDO	GABRIEL ZAMORA	16156	19.267	102.067	1000

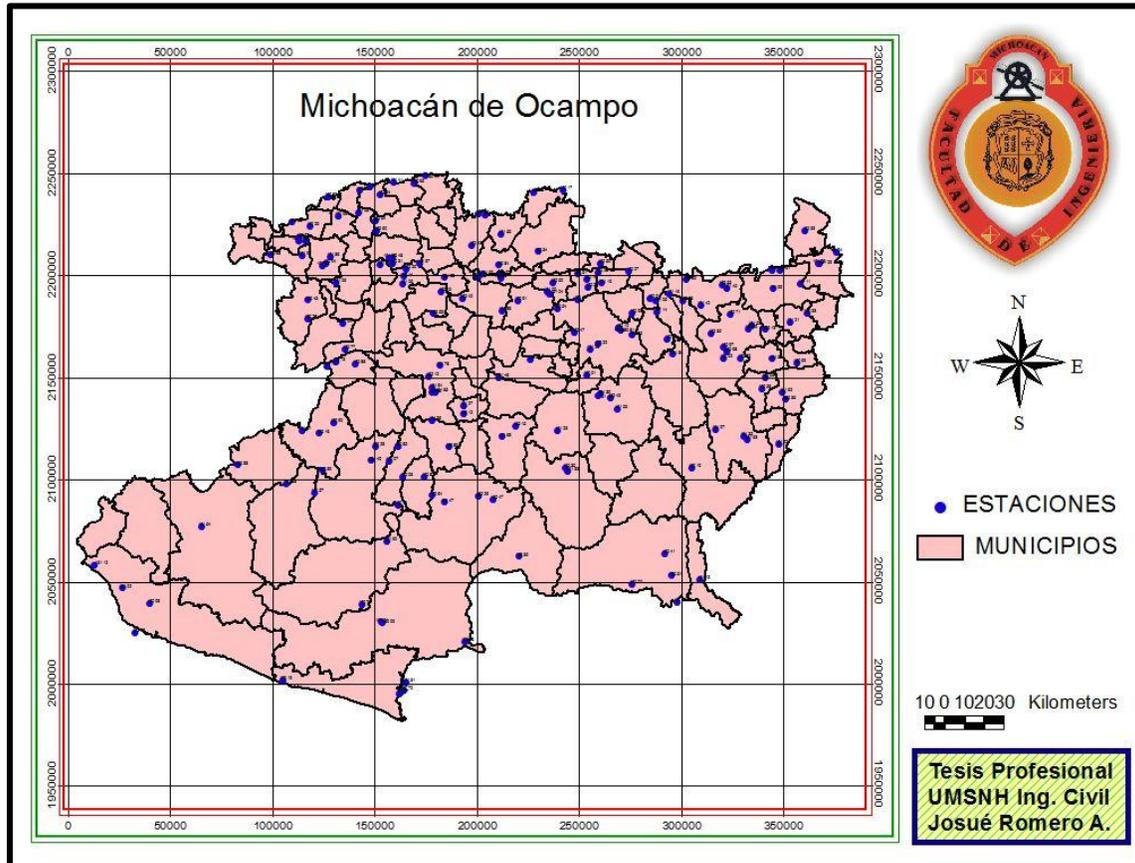
#	NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (m)
28	CHILA	AGUILILLA	16157	18.933	102.617	300
29	CHINCUA	SENGUIO	16033	19.773	100.288	2415
30	CHURUMUCO (CFE)	CHURUMUCO	16035	18.66	101.643	251
31	CIUDAD HIDALGO (DGE)	CIUDAD HIDALGO	16020	19.7	100.567	2020
32	CIUDAD HIDALGO (SMN)	CIUDAD HIDALGO	16152	19.717	100.55	2060
33	COALCOLMAN (SMN)	COALCOMAN DE VÁZQUEZ P.	16154	18.767	103.15	1100
34	COINTZIO	MORELIA	16022	19.625	101.281	2096
35	COPANDARO (CFE)	JIMÉNEZ	16155	19.933	101.833	
36	COPANDARO DE GALEANA	COPANDARO	16023	19.95	101.283	1500
37	COTIJA	COTIJA	16025	19.717	102.667	1640
38	CUATRO CAMINOS	NUEVA ITALIA	16026	18.93	101.838	350
39	CUATRO ESQUINAS	BRISEÑAS	16191	20.317	102.383	1522
40	CUITZEO	CUITZEO	16027	19.956	101.138	1831
41	CUITZILLO GRANDE	TARIMBARO	16028	19.767	101.119	1840
42	CUMUATILLO	VENUSTIANO CARRANZA	16029	20.133	102.667	1522
43	CUMUATO	BRISEÑAS	16030	20.267	102.583	1524
44	E.T.A. 39	TOCUMBO	16194	19.7	102.5	
45	EL BOSQUE (CFE)	ZITACUARO	16036	19.383	100.383	1750
46	EL CAJÓN	TEPALCATEPEC	16158	18.971	102.75	296
47	EL CARRIZO	TEPALCATEPEC	16038	19.05	102.983	
48	EL COLEGIO	MORELIA	16512	19.7	101.183	1900
49	EL GIGANTE	MARAVATIO	16040	19.969	100.453	1961
50	EL JACAL	CHUCANDIRO	16034	19.883	101.333	
51	EL PEJO	HUETAMO	16041	18.683	100.95	380
52	EL PUEBLITO	ZACAPU	16240	19.822	101.929	1100
53	EL PUERTO	COTIJA	16043	19.8	102.667	1581
54	EL ROSARIO	ANGAMACUTIRO	16159	20.117	101.75	1720
55	EL SALTO	LA PIEDAD	16044	20.376	102.119	1650
56	EL TEMAZCAL	CHARO	16045	19.65	100.95	2240
57	EL VASO INFIERNILLO (CFE)	ARTEAGA	16046	18.271	101.894	180
58	EL ZAPOTE	LA HUACANA	16047	18.917	101.767	920
59	EMILIANO ZAPATA	VILLAMAR	16186	20	102.567	1550
60	EPITACIO HUERTA	EPITACIO HUERTA	16233	20.149	100.297	2035
61	ESC. NAL. DE GUARDIAS FORESTALES	URUAPAN	16178	19.517	102.033	
62	ETUCUARO	MADERO	16049	19.383	101.217	1612
63	GALEANA	PURUANDIRO	16234	20.039	101.575	1550
64	HUAJUMBARO	CIUDAD HIDALGO	16235	19.679	100.742	2285
65	HUANDACAREO	CUITZEO	16250	19.989	101.275	2285
66	HUANIQUEO	HUANIQUEO	16050	19.9	101.5	1950
67	HUETAMO	HUETAMO	16051	18.583	100.917	300

#	NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (m)
68	HUINGO	ZINAPECUARO	16052	19.921	100.862	1830
69	IRIMBO	IRIMBO	16213	19.7	100.483	2235
70	IXTLAN DE LOS HERVORES (CFE)	IXTLAN DE LOS HERVORES	16054	20.167	102.35	
71	JESÚS DEL MONTE	MORELIA	16055	19.667	101.117	2100
72	JICALAN (CFE)	URUAPAN	16056	19.394	102.07	1610
73	JIMÉNEZ	VILLA JIMÉNEZ	16057	19.933	101.75	
74	JIQUILPAN	JIQUILPAN	16197	20	102.7	1536
75	JUNGAPEO	JUNGAPEO	16058	19.433	100.5	1300
76	LA CAIMANERA (CFE)	HUETAMO	16059	18.464	100.891	305
77	LA ENCARNACIÓN	ZITACUARO	16192	19.417	100.4	1720
78	LA ESTANZUELA	IXTLAN DE LOS HERVORES	16060	20.121	102.346	1566
79	LA PALMA	VENUSTIANO CARRANZA	16063	20.15	102.75	1522
80	LA PASTORIA (CFE)	NUEVA ITALIA	16064	18.93	102.057	269
81	LA PIEDAD DE CABADAS	LA PIEDAD	16065	20.337	102.171	1684
82	LA RAYA	SAHUAYO	16067	20.083	102.717	1577
83	LA SANDIA	ARIO DE ROSALES	16515	19.25	101.667	
84	LA VILLITA	LÁZARO CÁRDENAS	16161	18.083	102.167	
85	LAGUNA DEL FRESNO	MARAVATIO	16061	19.967	100.417	2070
86	LAS ADJUNTAS	TANGANCICUARO	16229	19.95	102.2	1630
87	LAS CRUCES	TURICATO	16230	19.065	101.428	800
88	LAS CRUCES	PURUANDIRO	16231	19.939	101.383	2070
89	LAS FUENTES	SAHUAYO	16068	20	102.85	2101
90	LÁZARO CÁRDENAS	LÁZARO CÁRDENAS	16227	18.034	102.196	50
91	LOS AZUFRES	CIUDAD HIDALGO	16071	19.767	100.65	2860
92	LOS CHORROS DEL VARAL (CFE)	LOS REYES	16072	19.506	102.57	882
93	LOS LIMONES (CFE)	LOS REYES	16073	19.526	102.528	1225
94	LOS PANCHES (CFE)	LA HUACANA	16074	18.883	102.22	207
95	LOS PINZANES (CFE)	HUETAMO	16075	18.543	101.104	372
96	LOS POZOS	ARTEAGA	16076	18.433	102.383	1000
97	LOS REYES	LOS REYES	16077	19.583	102.483	1280
98	MORELIA (DGE)	MORELIA	16081	19.689	101.176	1903
99	MORELIA (SMN)	MORELIA	16080	19.7	101.183	1915
100	NUEVA ITALIA DE RUIZ	MUGICA	16082	19.012	102.097	460
101	ORANDINO	JACONA	16162	19.967	102.325	
102	PANINDICUARO	PANINDICUARO	16084	19.975	101.759	1638
103	PARACUARO	PARACUARO	16085	19.15	102.225	498
104	PASTOR ORTIZ	PURUANDIRO	16086	20.306	101.597	1692
105	PATZCUARO	PATZCUARO	16087	19.55	101.6	2035
106	PERIBAN	PERIBAN	16088	19.517	102.433	1630
107	PIEDRAS BLANCAS	BUENAVISTA	16039	19.033	102.583	344

#	NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (m)
108	PIEDRAS BLANCAS (CFE)	BUENAVISTA	16090	19.25	102.533	
109	PLANTA DE BOMBEO	ZINZIMEO	16091	19.817	101.667	1384
110	PLANTA H. EL COBANO (CFE)	GABRIEL ZAMORA	16089	19.15	101.983	
111	PRESA AGOSTITLAN	CIUDAD HIDALGO	16092	19.567	100.6	2380
112	PRESA GONZALO	VISTAHERMOSA	16093	20.3	102.433	1533
113	PRESA GUARACHA	VILLAMAR	16094	19.967	102.583	1570
114	PRESA JARIPO	VILLAMAR	16095	19.958	102.6	1624
115	PRESA MALPAÍS	QUERÉNDARO	16096	19.826	100.879	1859
116	PRESA PUCUATO	CIUDAD HIDALGO	16097	19.617	100.683	2480
117	PRESA SABANETA	CIUDAD HIDALGO	16098	19.6	100.667	2500
118	PRESA TUXPAN (CFE)	TUXPAN	16099	19.55	100.333	
119	PUENTE SAN ISIDRO	HUANIQUEO	16100	19.858	101.529	2001
120	PUNTA DE AGUA	BUENAVISTA	16101	19.211	102.683	279
121	PUNTA SAN TELMO	AQUILA	16102	18.483	103.517	70
122	PUREPERO	PUREPERO	16103	19.915	102.018	1950
123	PURUANDIRO	PURUANDIRO	16104	19.85	101.513	1848
124	QUIRIO	INDAPARAPEO	16105	19.822	101.008	1858
125	SAHUAYO	SAHUAYO	16174	20.067	102.717	
126	SAN ÁNGEL	TINGÜINDIN	16106	19.883	102.533	1870
127	SAN CARLOS	TIQUICHEO	16107	19.246	100.717	685
128	SAN CRISTÓBAL	IXTLAN DE LOS HERVORES	16108	20.2	102.433	1523
129	SAN DIEGO CURUCUPATZEO	MADERO	16109	19.333	101.183	1020
130	SAN GREGORIO	PAJACUARAN	16196	20.183	102.533	1523
131	SAN JOSÉ	MARAVATIO	16111	19.908	100.319	2043
132	SAN JOSÉ PURUA	JUNGAPEO	16206	19.483	100.483	1470
133	SAN JUAN DE LIMA	COAHUAYANA	16112	18.583	103.65	150
134	SAN LUCAS	SAN LUCAS	16113	18.567	100.783	265
135	SAN MIGUEL CURAHUANGO	MARAVATIO	16199	19.883	100.45	2020
136	SAN MIGUEL DEL MONTE	MORELIA	16114	19.775	101	2127
137	SAN PEDRO	TIQUICHEO	16219	19.072	100.828	530
138	SAN SEBASTIÁN	QUERÉNDARO	16116	19.856	100.943	2070
139	SANTA FE	QUIROGA	16118	19.823	101.383	2056
140	SANTA FE DEL RÍO	PENJAMILLO	16117	20.202	101.827	1681
141	SANTA RITA	COPANDARO	16119	19.9	101.267	1880
142	SANTIAGO UNDAMEO	MORELIA	16120	19.603	101.32	2048
143	SENGUIO	SENGUIO	16121	19.733	100.367	2222
144	SUSUPUATO DE GUERRERO	SUSUPUATO DE GUERRERO	16122	19.183	100.417	1560
145	TACAMBARO	TACAMBARO	16123	19.233	101.467	1755
146	TANACO	CHERÁN	16253	19.75	102.067	1850
147	TANGANCICUARO A. ETUCUARO	TANGANCICUARO	16125	19.883	102.217	1690

#	NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (m)
148	TANHUATO (DGE)	TANHUATO	16224	20.283	102.333	1540
149	TARETAN (CFE)	TARETAN	16127	19.336	101.918	1170
150	TEMASCALES	CONTEPEC	16124	20.051	100.149	2409
151	TEPUXTEPEC	CONTEPEC	16129	19.997	100.23	2380
152	TEPUXTEPEC (COMPAÑÍA LUZ Y FUERZA)	CONTEPEC	16175	20	100.233	
153	TEREMENDO	MORELIA	16254	19.783	101.478	2350
154	TIRINDARO	ZACAPU	16188	19.767	101.742	2500
155	TURICATO	TURICATO	16133	19.05	101.417	900
156	TUXPAN	TUXPAN	16134	19.567	100.45	1800
157	TUZANTLA	TUZANTLA	16135	19.217	100.583	666
158	TUZANTLA (DGE)	TUZANTLA	16163	19.2	100.567	
159	TZITZIO	TZITZIO	16136	19.583	100.924	1540
160	UCAREO	ZINAPECUARO	16255	19.9	100.692	1800
161	UREPETIRO	TANGANCICUARO	16137	19.975	102.138	
162	URUAPAN (CFE)	URUAPAN	16165	19.395	102.052	1611
163	URUAPAN (SMN)	URUAPAN	16164	19.417	102.067	1634
164	VASO LA VILLITA (CFE)	LÁZARO CÁRDENAS	16070	18.047	102.179	61
165	VILLA JIMÉNEZ	VILLA JIMÉNEZ	16225	19.917	101.75	1980
166	VILLA MADERO	MADERO	16139	19.4	101.267	2227
167	VILLA MADERO (CFE)	MADERO	16140	19.39	101.278	2134
168	YURECUARO	YURECUARO	16141	20.342	102.271	1524
169	ZACAPU (DGE)	ZACAPU	16142	19.805	100.795	1986
170	ZAMORA (DGE)	ZAMORA	16048	20	102.267	1567
171	ZAMORA (SMN)	ZAMORA	16144	20	102.283	1567
172	ZINAPECUARO	ZINAPECUARO	16145	19.883	100.667	1920
173	ZIQUITARO	PENJAMILLO	16243	20.061	101.889	1920
174	ZIRAHUEN	SALVADOR ESCALANTE	16146	19.467	101.75	2228
175	ZIRITZICUARO	LA HUACANA	16147	18.9	102	525

Mapa 2.1 Estaciones meteorológicas diarias en Michoacán.



### 2.2.3 Estaciones meteorológicas horarias

En la República Mexicana existen 392 Estaciones Meteorológicas Automáticas – EMA con transmisión vía satélite y 44 Estaciones Sinópticas Meteorológicas Automáticas – ESIME con transmisión vía internet.

Tabla 2.3 Estaciones EMA y ESIME en México.

ESTACIONES	TIPO	ADMINISTRADAS POR:
136	EMA	Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
44	ESIME	Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
25	EMA	Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCVAM).
13	EMA	Secretaría de Seguridad Pública del Estado de Chiapas.
30	EMA	Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG).
34	EMA	Protección Civil del Estado de Guerrero (P. C. Guerrero).

ESTACIONES	TIPO	ADMINISTRADAS POR:
34	EMA	Organismo de Cuenca Golfo Norte (OCGN).
69	EMA	Organismo de Cuenca Lerma - Santiago - Pacífico (OCLSP).
51	EMA	Organismo de Cuenca Río Bravo (OCRB).

### 2.2.3.1 Estación meteorológica automática – EMA

Es un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática (sobre todo en forma numérica).

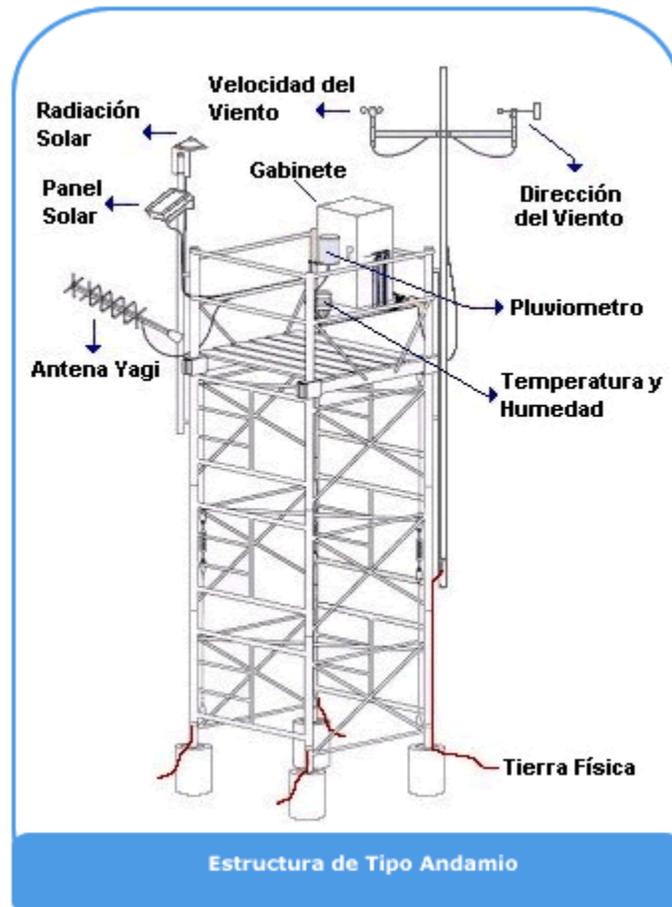
Una Estación Meteorológica Automática, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas variables meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 ó 3 horas por estación.

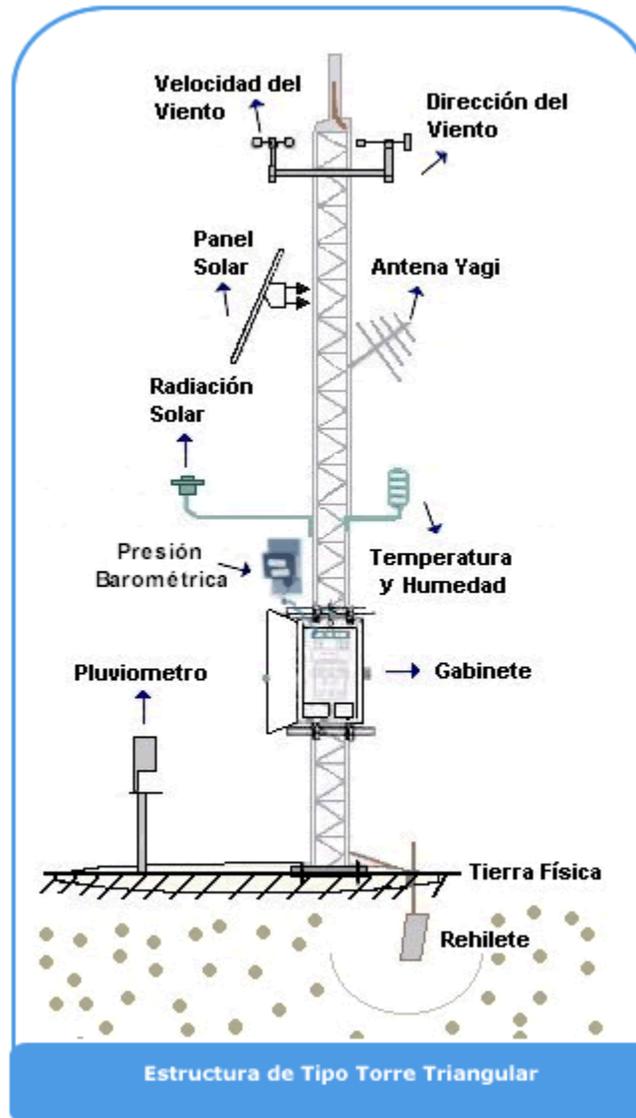
Las variables meteorológicas que registran las EMA son:

- ⊙ Velocidad del viento: La velocidad del viento es el promedio aritmético de las velocidades medidas en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es en km/h.
- ⊙ Dirección del viento: El valor obtenido es el promedio de 10 minutos de la dirección del viento. La dirección indica de donde proviene el viento, su unidad de medición es en grados Dextrorsum (giro en sentido de las manecillas del reloj) donde 0° es norte verdadero.
- ⊙ Presión atmosférica: La Presión atmosférica es el promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es el hpa (Hectopascal).
- ⊙ Temperatura: Es la temperatura ambiente promedio de las mediciones realizadas en un lapso de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en °C.
- ⊙ Humedad relativa: La humedad relativa es el promedio de las mediciones realizadas en un intervalo de 10 minutos (se toman muestras cada minuto), su unidad de medición es en %.
- ⊙ Radiación solar: La radiación solar son los valores promedio medidos en un lapso de 10 minutos (se toman mediciones cada minuto), su unidad de medición es en W/m<sup>2</sup> (watt/m<sup>2</sup>).

- © Precipitación: Es la lámina de precipitación acumulada en un lapso de 10 minutos, su unidad de medición es el mm (milímetro).

Existen dos tipos de estructura donde van montadas las estaciones:





### 2.2.3.2 Estación sinóptica meteorológica automática – ESIME

Una Estación Sinóptica Meteorológica es un conjunto de dispositivos eléctricos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de manera automática. Generan una base de datos y generan un mensaje sinóptico cada tres horas.

Las Estaciones Sinópticas Meteorológicas se encuentran ubicadas exclusivamente en los observatorios meteorológicos.

Los mensajes sinópticos son reportes que se generan simultáneamente en cada todos los observatorios cada tres horas y presentan información meteorológica de tiempo presente y pasado de manera codificada.

Los mensajes sinópticos se rigen por el Tiempo Universal Coordinado (UTC).

Las ESIME's contienen un software que permite hacer los cálculos correspondientes de las variables que se reportan en un mensaje sinóptico.

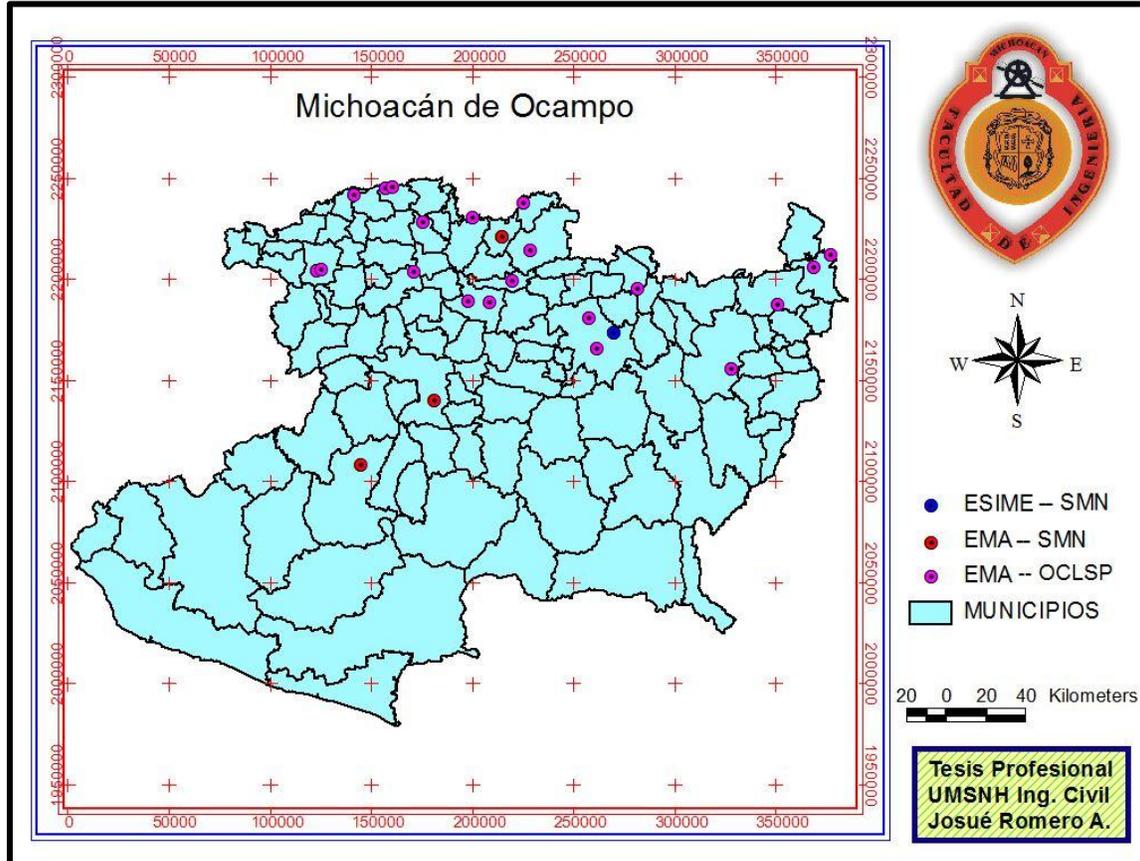
Además de las variables meteorológicas que registran las EMA's, las ESIME's registran la visibilidad.

En Michoacán existe un total de 26 Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) y 1 Estación Sinóptica Meteorológica Automática (ESIME). Las Estaciones Sinópticas Meteorológicas se encuentran ubicadas exclusivamente en los observatorios meteorológicos.

Tabla 2.4 Estaciones meteorológicas horarias en Michoacán.

#	NOMBRE	OPERADOR	TIPO DE ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
1	ANGAMACUTIRO	SMN	EMA	20.125	101.723	1730
2	APATZINGAN	SMN	EMA	19.083	102.372	282
3	URUAPAN	SMN	EMA	19.381	102.029	1606
4	MORELIA	SMN	ESIME	19.7	101.183	1912
5	COINTZIO	OCLSP	EMA	19.628	101.26	2024
6	MAL PAIS	OCLSP	EMA	19.834	101.878	1835
7	LAGO DE PATZCUARO	OCLSP	EMA	19.544	100.616	2042
8	ARISTEO MERCADO	OCLSP	EMA	19.926	101.67	2004
9	LAGO DE CUITZEO	OCLSP	EMA	19.9	101.068	1831
10	SAN CRISTOBAL	OCLSP	EMA	20.333	102.283	1551
11	CORRALES	OCLSP	EMA	20.212	101.863	1578
12	TEPUXTEPEC	OCLSP	EMA	20.002	100.229	2338
13	YURECUARO	OCLSP	EMA	20.339	102.249	1538
14	ZACAPU	OCLSP	EMA	19.828	101.774	1977
15	TEMASCALES	OCLSP	EMA	20.06	100.149	2344
16	P. LA NORIA	OCLSP	EMA	20.188	102.102	1771
17	P. LA COFRADIA	OCLSP	EMA	20.066	101.585	1912
18	P.3 MEZQUITES	OCLSP	EMA	20.278	101.619	1688
19	P. UREPETIRO	OCLSP	EMA	19.961	102.137	1743
20	P. JARIPO	OCLSP	EMA	20.303	102.431	1539
21	P. DE GONZALO	OCLSP	EMA	19.959	102.601	
22	LA PALMA	OCLSP	EMA	21.147	102.753	1526
23	MELCHOR OCAMPO	OCLSP	EMA	20.128	101.721	1716
24	TERCER MUNDO	OCLSP	EMA	19.765	101.298	2466
25	LAGUNA FRESNO	OCLSP	EMA	19.836	100.401	2052
26	SN. A. GUARACHA	OCLSP	EMA	19.963	102.579	1591
27	LA PIEDAD	OCLSP	EMA	21.354	102.004	1665

Mapa 2.2 Estaciones meteorológicas horarias en Michoacán.



### 2.3 PRECIPITACIÓN

Se entiende por precipitación la caída de partículas líquidas o sólidas de agua. La precipitación es una fase importante del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, es decir, es la responsable de depositar agua fresca al planeta, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología.

La orografía del terreno influye fuertemente en las precipitaciones; una elevación del terreno provoca muy frecuentemente un aumento local de las precipitaciones, al provocar la ascensión de las masas de aire saturadas de vapor de agua.

La variación anual de las precipitaciones se da en el ámbito de un año, en efecto, siempre hay meses en que las precipitaciones son mayores que en otros.

La distribución espacial de la precipitación sobre cualquier territorio en general es muy variada, así existen extensas áreas como los desiertos, donde las precipitaciones son extremadamente escasas, o por el contrario zonas de muy alta pluviosidad donde a diferencia de lo anterior son muy escasos los períodos de sequía.

### 2.3.1 Tipos de precipitación

Precipitación frontal: ocurre cuando dos masas de aire de distintas presiones, tales como la fría (más pesada) y la cálida (más liviana) chocan una con la otra.

Precipitación convectiva: se produce, generalmente, en regiones cálidas y húmedas cuando masas de aire cálidas, al ascender en altura se enfrían, generándose de esta manera la precipitación.

Precipitación orográfica. Efecto Foëhn: cuando una masa de aire húmedo circula hacia una masa montañosa se eleva hasta llegar a la cima de la montaña. Al ascender se enfría y el agua que contiene se condensa, por lo que se producen las precipitaciones y la masa de aire pierde humedad. Al pasar a la otra ladera de la montaña, el aire seco desciende y se calienta; se genera un viento seco y cálido que puede producir deshielo.

### 2.3.2 Medición de la precipitación

Los instrumentos más frecuentemente utilizados en México para la medición de la lluvia y el granizo son los pluviómetros y pluviógrafos, estos últimos se utilizan para determinar las precipitaciones pluviales de corta duración y alta intensidad. Estos instrumentos deben ser instalados en locales apropiados donde no se produzcan interferencias de edificaciones, árboles, o elementos orográficos como rocas elevadas.

La precipitación pluvial se mide en mm, que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación sobre una superficie de 1 m<sup>2</sup> plana e impermeable.

### 2.3.3 Pluviógrafo

Este es un aparato registrador que sirve para registrar en forma continua la cantidad total y la duración de lluvia caída en milímetros (mm), de los registros puede definirse no sólo la altura de la precipitación caída sino también, cuanto ha caído, permitiendo analizar la distribución de la lluvia en el tiempo. Al igual que el pluviómetro posee un brocal en la parte superior por donde ingresa el agua hacia un depósito llamado cámara de sifonaje, en cuyo interior existe un flotador, el cual al recibir una cierta cantidad de precipitación (10 mm) provoca una sifonada hacia un colector que está en la parte inferior del instrumento. Este ciclo se va repitiendo hasta que el periodo de precipitación termina.

El flotador tiene incorporado un pequeño brazo con un plumón de tinta, el cual, gráfica las variaciones de la precipitación en un diagrama que está adherido a un sistema de relojería semanal.



### 2.3.3.1 Tipos de pluviógrafos

#### 1- Pluviógrafo de balanza

Consiste en un instrumento que permite recoger y registrar una cantidad representativa de lluvia, para eso el agua se colecta en un recipiente similar al pluviómetro cuyo peso accione un mecanismo acoplado al dispositivo registrador.

#### 2- Pluviógrafo de flotador

En este tipo la lluvia es captada por una boca de sección normalizada igual a la del pluviómetro, cae dentro de un recipiente que contiene un flotador. A medida que el nivel de agua en el depósito sube, lo hace también el flotador, el que se halla vinculado al sistema registrador.

La capacidad del recipiente es igual al volumen de agua correspondiente a 10mm de lluvia, de modo que al llenarse se accione un sifón que desahogue el recipiente a un depósito y el flotante retorna a su posición inicial, para luego volver a subir si la lluvia continúa.

#### 3- Pluviógrafo a cubeta basculante

Este tipo de pluviógrafo cuenta, bajo la boca del embudo, con un compartimiento en el que hay dos cubetas, una de las cuales recibe el agua precipitada y al llenarse, se produce un desequilibrio que hace que la cubeta vuelque la cantidad de agua que contiene, moviendo a la segunda cubeta al lugar de recolección del

agua. En ese momento se acciona un circuito eléctrico que marca o produce el registro correspondiente.



Fotos 2.1

Foto 2.2

Este tipo de pluviógrafos son los que se encuentran instalados en la zona en estudio (fotos 2.1 y 2.2).

### 2.3.3.2 Importancia del pluviógrafo

Para predecir caudales críticos y para ingeniería de diseño de obras hidráulicas, es necesario asociar una probabilidad a lluvias máximas de diferentes duraciones. Deducir la probabilidad de ocurrencia de un evento requiere contar con registros continuos de precipitación, a partir del procesamiento de la información pluviográfica.

Muchas obras de ingeniería civil son profundamente influenciadas por factores climáticos, entre los que se destaca por su importancia las precipitaciones pluviales. En efecto, un correcto dimensionamiento del drenaje granizaría la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto.

El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas y el consecuente dimensionamiento adecuado de los órganos extravasores de las represas garantizarán su seguridad y la seguridad de las poblaciones y demás estructuras que se sitúan aguas abajo de la misma. El conocimiento de las lluvias intensas, de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano, y así evitar inundaciones en los centros poblados.

Las características de las precipitaciones pluviales que deben conocerse para estos casos son:

La intensidad de la lluvia y duración de la lluvia: estas dos características están asociadas. Para un mismo tiempo de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia disminuye su intensidad media, la formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, con base en datos observados

directamente en el sitio estudiado o en otros sitios vecinos con las mismas características orográficas.

### 2.3.4 Distribución y utilización de la lluvia

La lluvia, en su caída, se distribuye de forma irregular: una parte será aprovechada por las plantas, otra parte hará que los caudales de los ríos se incrementen por medio de los barrancos y escorrentías que, a su vez aumentarán las reservas de pantanos y de embalses y otra parte se infiltrará a través del suelo, y discurriendo por zonas de texturas más o menos porosas formará corrientes subterráneas que irán a parar o bien a depósitos naturales con paredes y fondos arcillosos y que constituirán los llamados yacimientos o pozos naturales (algunas veces formando depósitos o acuíferos fósiles, cuando se trata de agua acumulada durante períodos geológicos con un clima más lluvioso), o acabarán desembocando en el mar. La última parte se evaporará antes de llegar a la superficie por acción del calor.

### 2.3.5 Intensidad de las lluvias

Las precipitaciones acuosas se clasifican como sigue:

**Llovizna:** es cuando apenas se alcanzan a ver las gotas. En una llovizna la pluviosidad es casi insignificante y se ve como si las gotas flotaran en forma pulverizada.

**“Chispear”:** se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de éstas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan de tamaño.

**Lluvia:** propiamente dicha, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una tormenta.

**Chubasco:** el viento, las gotas y la intensidad aumentan.

**Tormenta:** puede ser débil o intensa; su pluviosidad es alta y las gotas son grandes y el viento, intenso; incluye la posibilidad de que se precipite granizo.

**Tromba:** es más fuerte que la tormenta. Tiene viento intenso, gotas grandes, pluviosidad suficientemente alta para inundar y causar estragos. Esta lluvia tiene la capacidad de crear granizo sumamente grande y con posibilidad de aparición de tornados. Las trombas tienen vórtices de viento, como una especie de "ojo".

La lluvia se califica con respecto a la cantidad de precipitación por hora (mm/h):

- Débiles: cuando su intensidad es  $\leq 2$  mm/h.
- Moderadas:  $> 2$  mm/h y  $\leq 15$  mm/h.

- Fuertes: > 15 mm/h y <= 30 mm/h.
- Muy fuertes: >30 mm/h y <= 60 mm/h.
- Torrenciales: >60 mm/h.

Por definición, las lluvias torrenciales son lluvias que pueden causar estragos como lo son inundaciones repentinas, deslaves y otros daños materiales.

Las precipitaciones son importantes porque ayudan a mantener el balance atmosférico. Sin precipitaciones, todas las tierras del planeta serían desiertos. Las precipitaciones ayudan a las siembras y nos proporcionan agua para beber. Sin embargo, las precipitaciones también pueden ser dañinas. Demasiada lluvia puede ocasionar inundaciones severas y daños en el campo y en zonas urbanas.

Los daños causados en los últimos años debido a fenómenos meteorológicos, tanto en términos materiales como de afectaciones humanas, han generado un mayor interés por determinar si con la información recopilada a la fecha es posible identificar tendencia en cuanto a cambios en su intensidad y/o frecuencia.

Ya se han identificado cambios en el clima a diversa escala, incluidos entre ellos aspectos de condiciones extremas, tal como la precipitación.

Ante el cambio climático global, el Instituto Nacional de Ecología (INE) advierte que la alteración en el ciclo hidrológico llevará a que en México haya menos lluvia y temperaturas más elevadas que agravarán las de, por sí, ya difíciles condiciones del sector hídrico en el territorio nacional.

En un análisis por sectores de los impactos del cambio climático, el INE precisa que los periodos de sequía tienen como efecto una reducción en la disponibilidad de agua, mientras que eventos de precipitación extrema pueden causar inundaciones y afectaciones en los sistemas de distribución de agua potable.

“El cambio climático proyecta un ciclo hidrológico más intenso en todo el planeta por lo que se espera que las sequías sean más intensas y prolongadas, y se presente un mayor número de eventos de precipitación fuerte.”

Los escenarios de verano para 2020 y 2050 indican aumentos de entre 1 y 3 °C y disminuciones en la precipitación media anual de entre 5 y 10 por ciento.

### **2.3.6 Precipitaciones en México**

Anualmente, México recibe del orden de 1.51 billones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 25.6% escurre por los ríos o arroyos y el 1.9% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos.

En nuestro país existen grandes variaciones de la disponibilidad a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco. Por otro lado, algunas regiones del país tienen precipitación abundante y baja densidad de población, mientras que en otras ocurre

exactamente lo contrario. El 67.3% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre.

Tabasco es la entidad más lluviosa, mientras que Baja California Sur es la más seca. En la mayor parte de las entidades federativas, la precipitación ocurre principalmente entre junio y septiembre, con excepción de Baja California y Baja California Sur, donde se presenta principalmente en el invierno.

En 2006, la precipitación acumulada ocurrida en la República Mexicana alcanzó una lámina de 808.2 mm, que fue 4.7% superior a la media histórica normal del periodo 1941 a 2000 (771.8 mm).

(CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, Edición 2007)

### **2.3.6.1 Protección contra inundaciones**

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) realiza acciones dirigidas a:

- Consolidar los sistemas de información y alerta de fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos.
- Apoyar la implementación de planes de prevención y atención de inundaciones a nivel de cuenca hidrológica.
- Mantener, conservar y ampliar la infraestructura hidráulica federal de control de avenidas.
- Coadyuvar con otras instancias del gobierno en la protección de los habitantes en zonas de alto riesgo de inundación.

# CAPITULO III

# MARCO TEÓRICO

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ZONA PILOTO

##### 3.1.1 Descripción del área en estudio

El ciclo hidrológico, visto a nivel de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, construido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra, y que están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su urbanización. Dichas características se clasifican en dos tipos, según la manera en que controlan los fenómenos mencionados: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corrientes, pendiente de la cuenca y los cauces, etc.

La zona en estudio es la subcuenca de Cointzio que forma parte de la cuenca del lago de Cuitzeo, en esta se encuentra la presa de Cointzio y la presa de Umécuaro, también presenta diversos manantiales para uso doméstico, riego y abrevadero. Esta es la región más arbolada, de manera que la conservación del bosque en ésta subcuenca es importante para no alterar el ciclo hidrológico, conservar el caudal de los manantiales y evitar el azolve del vaso de Cointzio. Las aportaciones de aguas residuales en ésta área provienen de poblaciones pequeñas, tales como Acuíztio del Canje, Santiago Undameo, entre otras.

Está conformada por colinas, lomeríos altos y planicies, desarrolladas sobre materiales volcánicos de composición intermedia a básica que van del Mioceno al Reciente, sobre los cuales se desarrollan principalmente suelos arcillosos (vertisoles, acrisoles) y francos (andosoles). Las coberturas vegetales en la cuenca son: bosque templado (pino-encino), matorral-pastizal, cultivos temporales y de riego.

##### 3.1.2 Mapas de ubicación

El procedimiento por el cual se obtuvieron los mapas fue el siguiente:

Se utilizó el programa "ArcView gis 3.2". Es un software para trabajar en sistemas de información geográfica (SIG), desarrollado por la empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute), provee herramientas para trabajar información espacial y atributiva, crear mapas, desarrollar análisis espaciales, realizar consultas y cálculos sobre datos descriptivos, acceder a base de datos externas e implementar aplicaciones mediante la programación en lenguaje Avenue.

### 3.1.2.1 modelos digitales de elevaciones (mde)

Se descargaron los MDE (modelos digitales de elevaciones) de la página del INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, <http://www.inegi.org.mx/>). Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos).

Es decir, Un MDE es un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "X" y "Y" a las que se les agrega un valor de "Z" que corresponde a la elevación. Se ha convenido que los puntos deben estar espaciados y distribuidos de modo regular, de acuerdo con un patrón que corresponde a una cuadrícula.

Otra manera de obtener los MDE es adquiriéndolos en INEGI, la principal diferencia encontrada entre un MDE descargado de la página de INEGI y uno comprado es la resolución que se tiene y las coordenadas en que vienen, el comprado viene en UTM, mientras que el descargado en geográficas, en este caso se trabajara con los MDE descargados.

Los MDE descargados fueron 4 ya que la subcuenca de Cointzio se encuentra ubicada en el centro donde concurren las 4 cartas escala 1:50,000, las cuales son las siguientes:

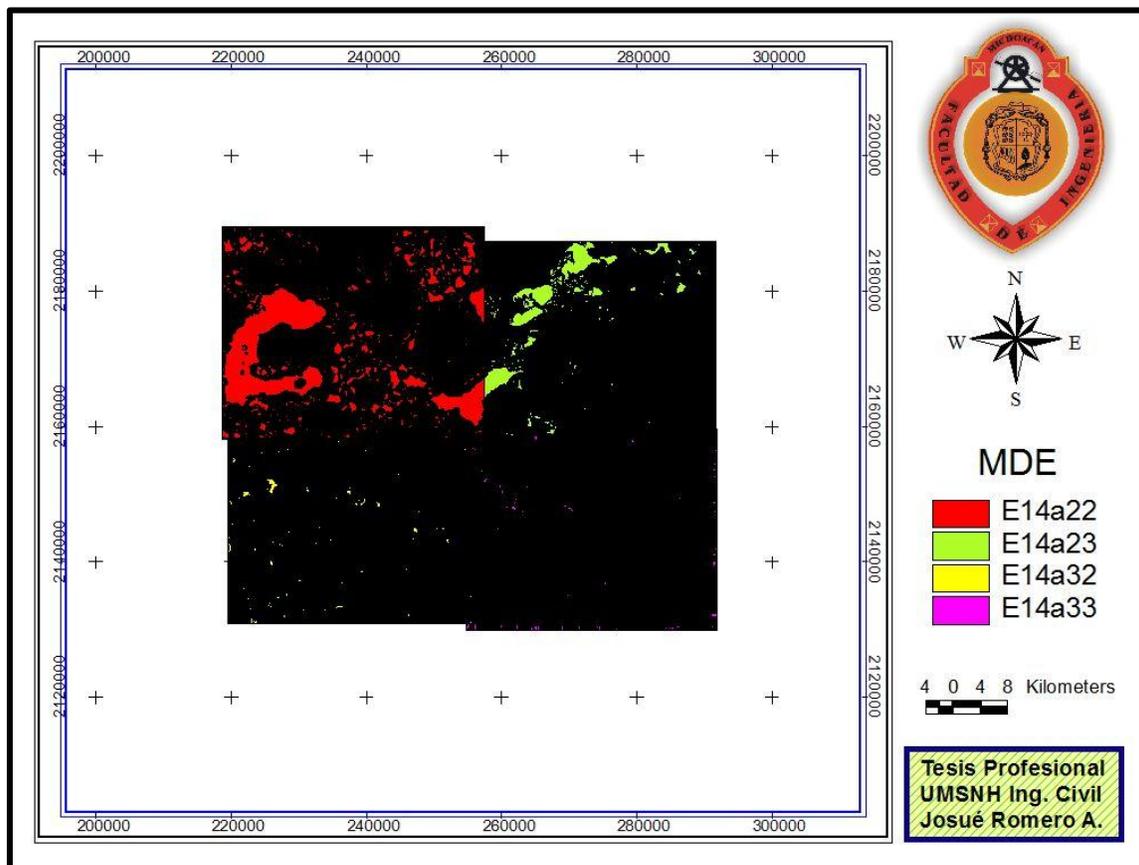
Tabla 3.1 Modelos digitales de elevaciones.

NÚMERO	CLAVE	NOMBRE
104	E14A22	Pátzcuaro
105	E14A23	Morelia
113	E14A32	Villa Escalante
114	E14A33	Villa Madero

Los MDE son los que se observan en el mapa 3.1, los cuales vienen en coordenadas geográficas y fue necesario hacer la conversión a coordenadas UTM (Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator), es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia.

También se cambió a la zona 14N, ya que la cuenca en estudio se ubica en ésta zona, posteriormente se unieron los 4 MDE para poder realizar el trazo correspondiente de la cuenca.

Mapa 3.1 Modelos digitales de elevaciones.

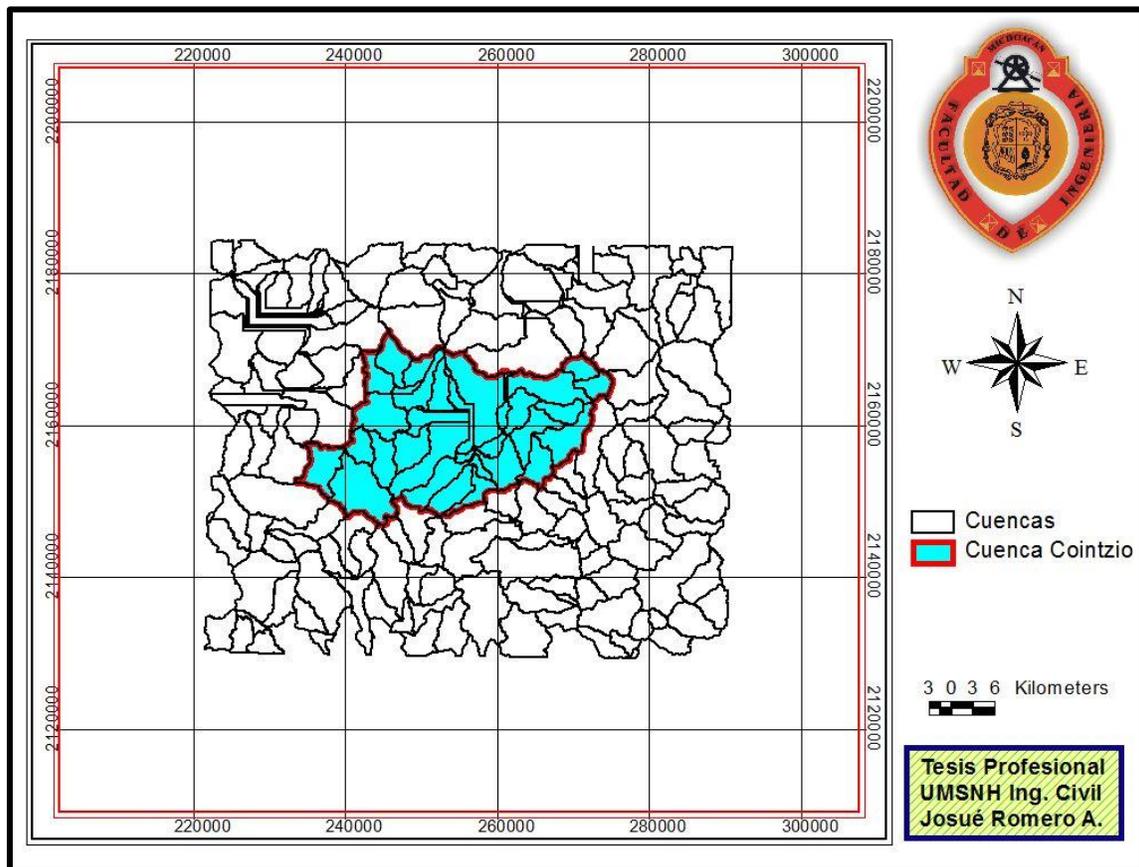


### 3.1.2.2 Mapa de cuencas

Se trazó el mapa de cuencas existentes dentro del MDE (mapa 3.2) y se realizó la selección de las cuencas a estudiar, las cuales están en color azul, dichas cuencas forman la subcuenca de Cointzio.

Para hacer la selección de las cuencas a estudiar fue necesario apoyarse del mapa de las estaciones pluviométricas que previamente se había hecho el levantamiento topográfico con GPS, además la selección se hizo en base a los ríos situados dentro de la subcuenca de Cointzio.

Mapa 3.2 Cuencas.

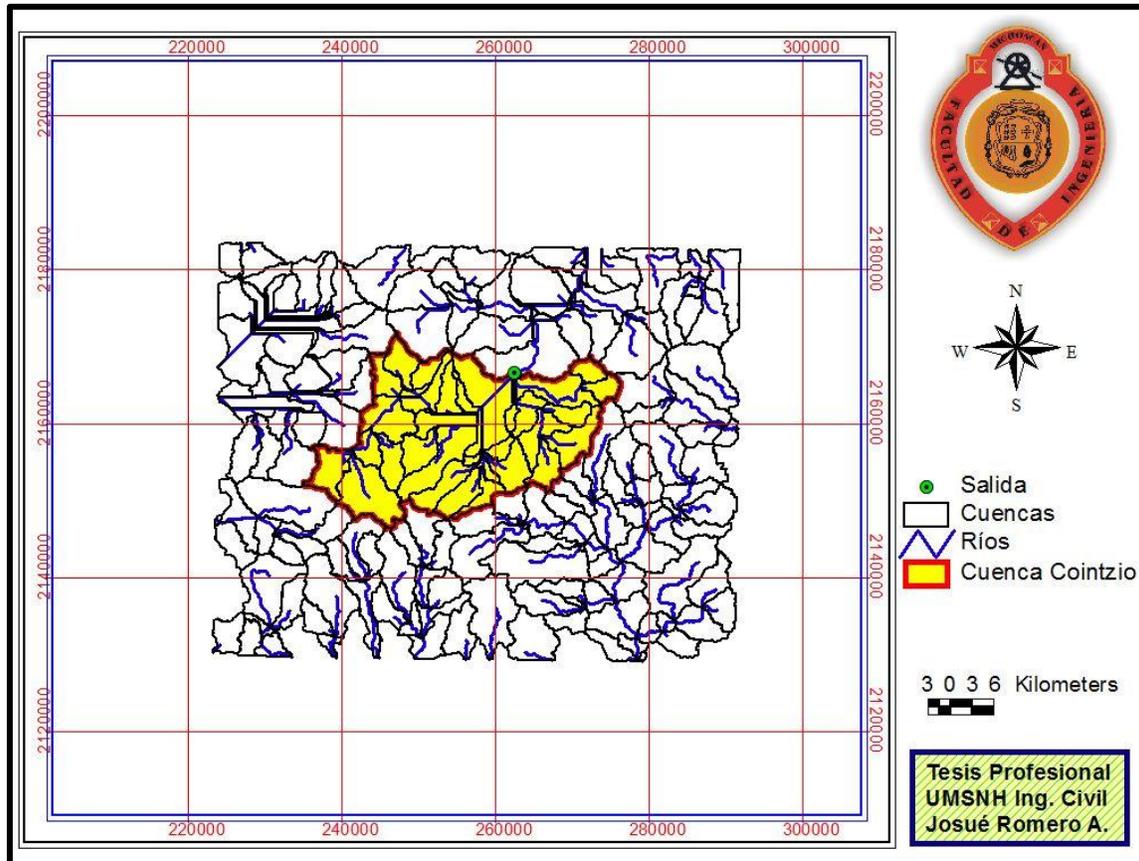


### 3.1.2.3 Mapa de ríos

El trazo de la cuenca se realizó en base a los ríos y conociendo el punto de salida se trazó la cuenca en estudio.

El punto de salida se ubica en Santiago Undameo que aguas abajo está la presa de Cointzio.

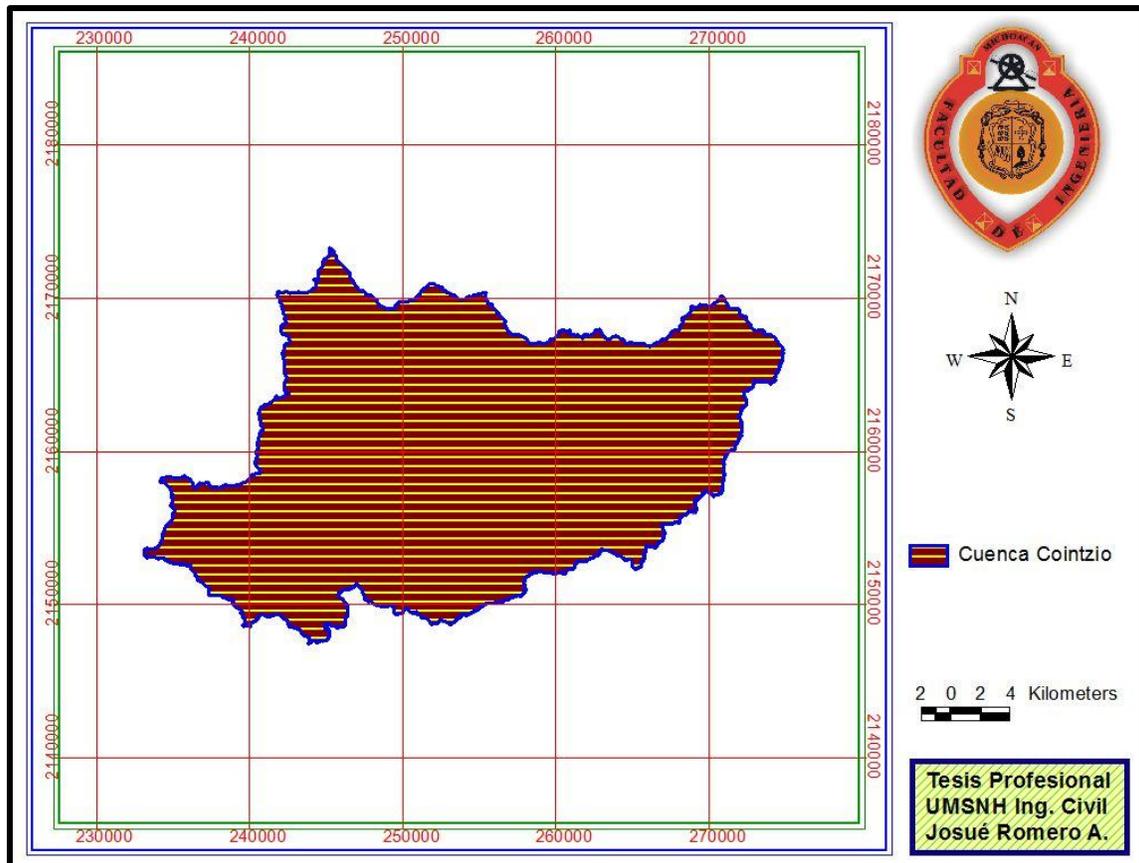
Mapa 3.3 Ríos.



### 3.1.2.4 Mapa de la subcuenca de Cointzio

Seleccionada el área a estudiar, se hizo un recorte de dicha área al mapa de cuencas y obtenemos solamente un mapa de la cuenca en general, el cual es el mapa de la subcuenca de Cointzio (mapa 3.4) y que se utilizará como base de aquí en adelante.

Mapa 3.4 Subcuenca de Cointzio.



### 3.1.2.4.1 Área

El área de la cuenca es quizá el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc.

El área de la cuenca se define como la proyección horizontal de la superficie de la misma y se puede medir directamente del mapa topográfico. Desde el punto de vista hidrológico es más importante esta proyección horizontal que la superficie real de la cuenca. Las gotas de lluvia caen verticalmente y no ortogonales a la ladera, igualmente el crecimiento de los arboles es vertical, etc.

El área obtenida de ArcView a partir del MDE 1:50,000 fue de:

$$\text{Área} = 618.935 \text{ km}^2$$

### 3.1.2.4.2 Perímetro

El perímetro (P): Es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca.

El perímetro encontrado fue de:

$$P = 193.5 \text{ km.}$$

### 3.1.2.5 Mapa de curvas de nivel

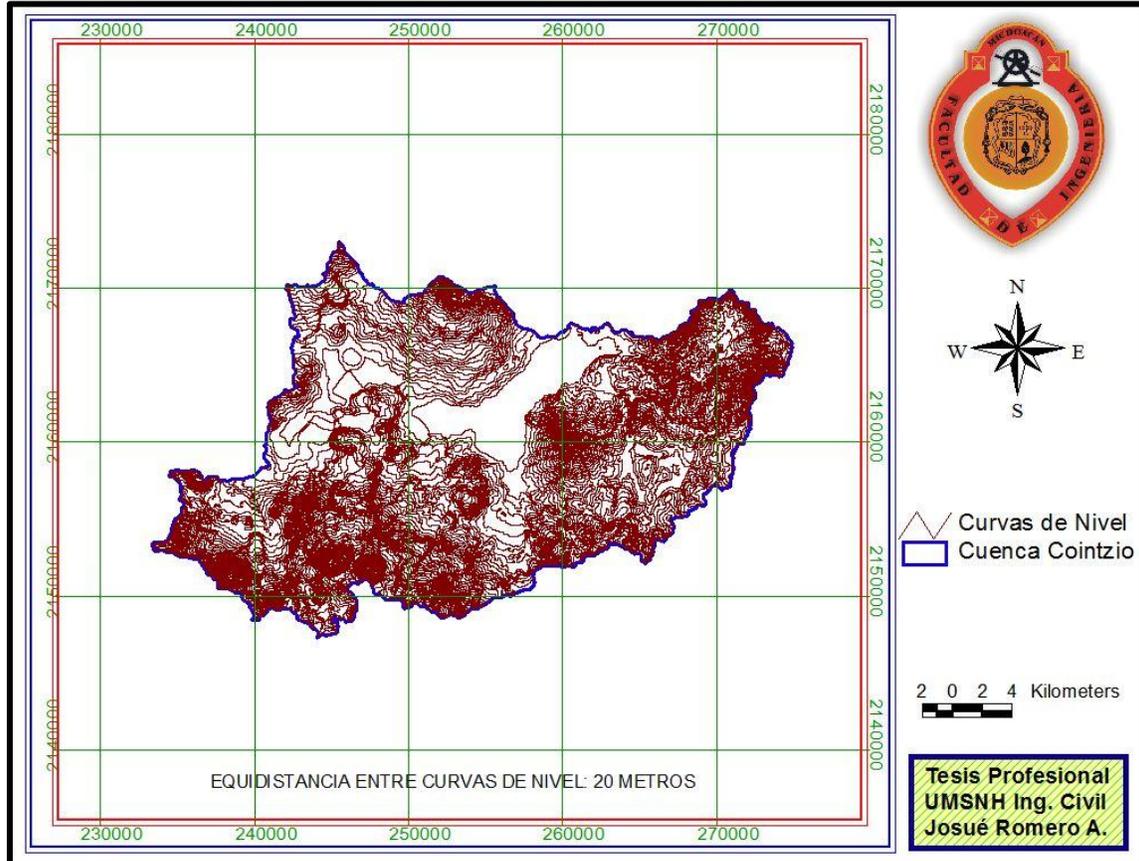
Se denominan curvas de nivel a las líneas que marcadas sobre el terreno desarrollan una trayectoria que es horizontal. Por lo tanto podemos definir que una línea de nivel representa la intersección de una superficie de nivel con el terreno. En un plano las curvas de nivel se dibujan para representar intervalos de altura que son equidistantes sobre un plano de referencia.

Esta diferencia de altura entre curvas recibe la denominación de "equidistancia".

De la definición de las curvas podemos citar las siguientes características:

1. Las curvas de nivel no se cruzan entre sí.
2. Deben ser líneas cerradas, aunque esto no suceda dentro de las líneas del dibujo.
3. Cuando se acercan entre si indican un declive más pronunciado y viceversa.
4. La dirección de máxima pendiente del terreno queda en el ángulo recto con la curva de nivel.

Mapa 3.5 Curvas de nivel.

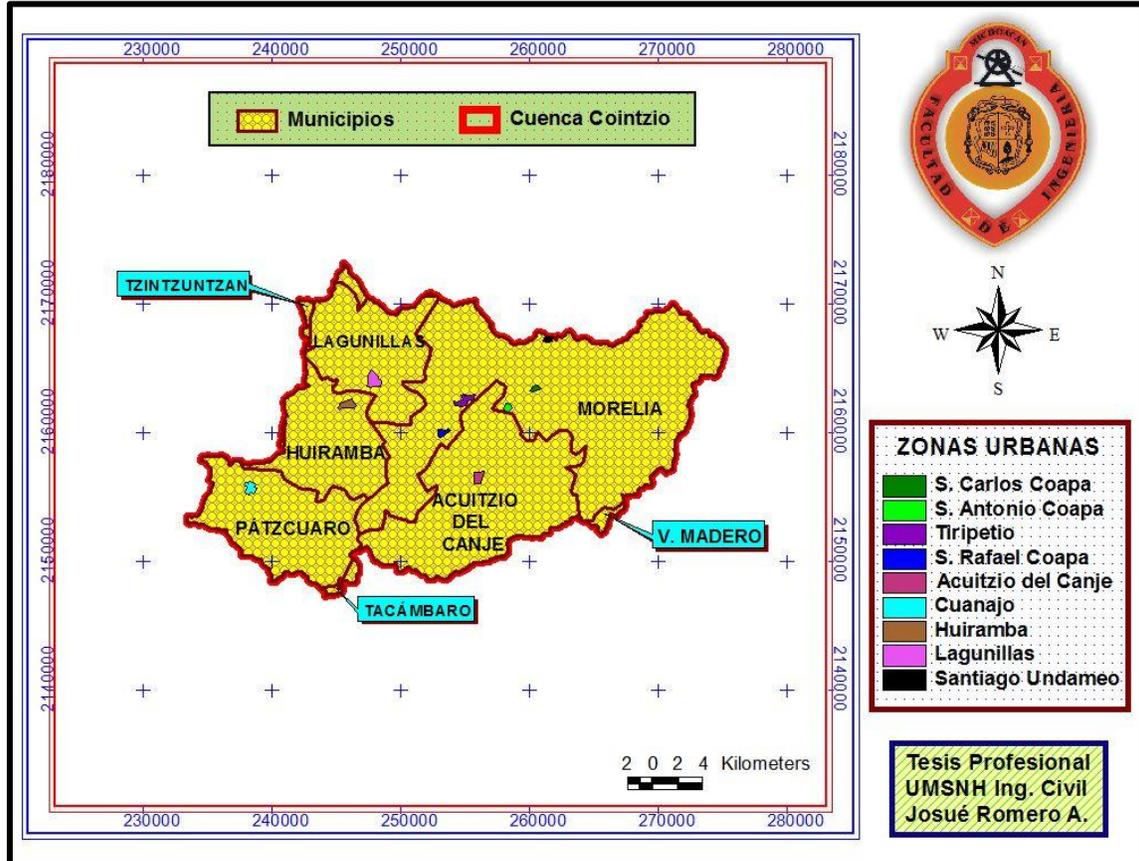


De los modelos digitales de elevaciones se generaron las curvas de nivel a una equidistancia entre ellas de 20 metros (mapa 3.5).

### 3.1.2.6 Municipios que se encuentran dentro de la subcuenca

Para tener un mapa más específico de la ubicación de la subcuenca de Cointzio fue necesario adquirir del INEGI el mapa de la división política del Estado de Michoacán. Al hacer un corte únicamente de la zona en estudio se obtuvo el mapa siguiente:

Mapa 3.6 Municipios que se encuentran dentro de la subcuenca de cointzio.



La subcuenca está formada por 8 municipios pertenecientes al Estado de Michoacán de Ocampo:

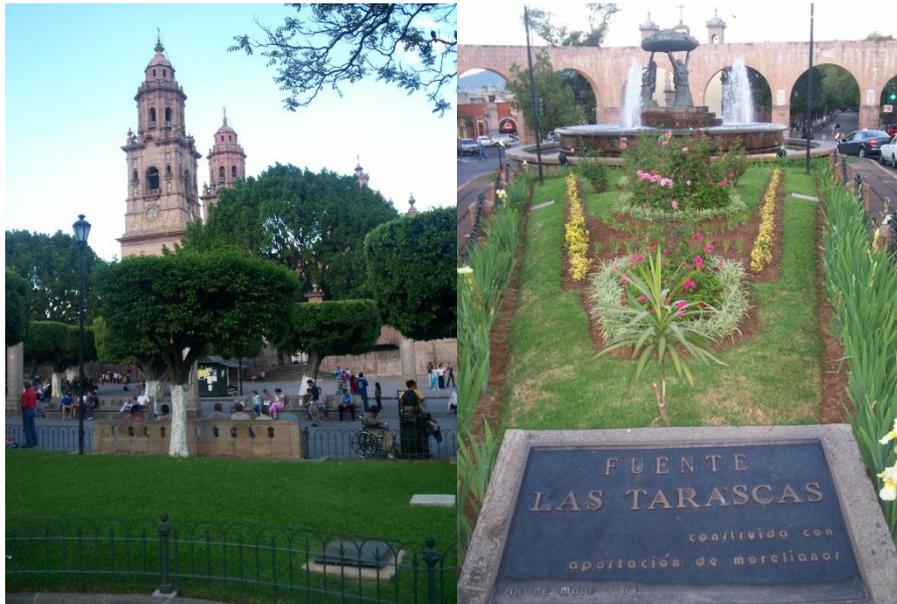
1. Morelia
2. Acuitzio del Canje
3. Pátzcuaro
4. Huiramba
5. Lagunillas
6. Villa Madero
7. Tacámbaro
8. Tzintzuntzan

A continuación se da una breve descripción:

### 3.1.2.6.1 Morelia

Morelia se ubica en las coordenadas  $19^{\circ} 42' 10''$  de latitud Norte y  $101^{\circ} 11' 32''$  de longitud Oeste, a una altura de 1921 metros sobre el nivel del mar. Es la ciudad mexicana capital del Estado de Michoacán de Ocampo, así como cabecera del municipio homónimo. La ciudad está situada en el valle de Guayangareo, formado

por un repliegue del Eje Neovolcánico Transversal, en la región norte del estado, en el centro-occidente del país.



El municipio se ubica en la región hidrográfica número 12, conocida como Lerma-Santiago, particularmente en el Distrito de Riego Morelia-Querétaro. Forma parte de la cuenca del lago de Cuitzeo. Sus principales ríos son el Grande y el Chiquito. Estos dos ríos llegaron a rodear la ciudad hasta mediados del siglo XX. El Río Grande fue canalizado a finales del siglo XIX debido a los frecuentes desbordamientos. El Río Chiquito, con 25 km de longitud, es el principal afluente del Grande y se origina en los montes de la Lobera y la Lechuguilla.

Con relación a los cuerpos de agua en el municipio se tienen la presa de Umécuaro y de la Loma Caliente , así como las presa de Cointzio, la más importante del municipio.

Otro recurso importante de abastecimiento de agua en el municipio de Morelia son los manantiales, destacando por su aprovechamiento el manantial de la Mintzita, utilizado para el abastecimiento de agua potable para importante parte de la población de la ciudad, así como para usos industriales.

#### 3.1.2.6.2 Acuitzio del Canje

Acuitzio se localiza al centro del Estado entre las coordenadas 101°20' de latitud Norte y 19°30" de longitud Oeste, a una altura de 2,080 metros sobre el nivel del mar.



El municipio colinda al Norte, al Este y al Oeste con Morelia; al Sur con los municipios de Madero y Tacámbaro; y al Suroeste con el municipio de Huiramba.

Su superficie presenta zonas accidentadas en su mayoría; sus elevaciones principales son la Sierra de Acuitzio, el Cerro Viejo, El Melón y La Huizata, los cuales forman parte del Sistema volcánico transversal.

El municipio pertenece a la región hidrológica Balsas. Sus recursos hidrológicos son proporcionados por el río La Palmita; además de sus manantiales La Alameda, Ojo de Agua Chiquito y Ojo de Agua Grande.

El clima es templado con lluvias en verano, sin cambio térmico invernal bien definido. La temperatura media anual es de 24°C, con máxima de 34.2°C y mínima de 4°C. El régimen de lluvias se registra entre los meses de Abril y Octubre, contando con una precipitación media de los 1,137.4 milímetros.

### **3.1.2.6.3 Pátzcuaro**

Se localiza al centro del Estado, en las coordenadas 19°31' de latitud Norte y 101°36' de longitud Oeste, a una altura de 2,140 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con Tzintzuntzan, al Este con Huiramba, al Sur con Salvador Escalante, y al Oeste con Tingambato y Erongarícuaro.



Su relieve lo constituyen la depresión de Pátzcuaro, el sistema volcánico transversal y los cerros el Blanco, el del Estribo, del Frijol y el Cerro del Burro.

Su clima es templado, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 983.3 milímetros y temperaturas que oscilan de 9.2 a 23.2<sup>o</sup> centígrados.

En el municipio predominan los bosques: Mixto, con especies de pino, encino y cedro, en el de coníferas, con oyamel y junípero.

#### **3.1.2.6.4 Huiramba**

Se localiza al centro del Estado, en las coordenadas 19°33' de latitud Norte y 101°26' de longitud Oeste, a una altura de 2,100 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con Tzintzuntzan y Lagunillas, al Este con Morelia y Acuitzio del Canje, al Sur con Salvador Escalante y Tacámbaro, y al Oeste con Pátzcuaro.



Su relieve lo constituye el sistema volcánico transversal y los cerros de San Isidro y la Yerba.

Su clima es templado, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 995.4 milímetros y temperaturas que oscilan de 6.3 a 22.9<sup>o</sup> centígrados.

En el municipio predominan los bosques mixto, con pino, encino, cedro y aile; bosque de coníferas, con oyamel, pino y junípero.

Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario y paleoceno; corresponden principalmente a los del tipo chernozem y podzólico. Su uso es primordialmente agrícola y ganadero y en menor proporción forestal.

### 3.1.2.6.5 Lagunillas

Se localiza al Norte del Estado, en las coordenadas 19°34' de latitud Norte y 100°30' de longitud Oeste, a una altura de 2,100 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte y al Este con Morelia, al Sur con Huiramba y al Oeste con Tzintzuntzan.



Su relieve lo constituyen el sistema volcánico transversal y valles intermontañas, la sierra del Tigre y cerro del Aguila.

Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 784.6 milímetros y temperaturas que oscilan de 11.2 a 38.5°C.

En el municipio predomina el bosque mixto, con pino, encino y cedro.

Los suelos datan de los períodos cenozoico, cuaternario y terciario superior; corresponden principalmente a los del tipo podzólico. Su uso es primordialmente ganadero y agrícola; y en menor proporción forestal.

### 3.1.2.6.6 Villa Madero

Se localiza al Este del Estado, en las coordenadas 19°23' de latitud Norte y 101°17' de longitud Oeste, a una altura de 2,180 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con Morelia, al Este con Tzitzio y Tiquicheo, al Sur con Carácuaro y Nocupétaro, y al Oeste con Tacámbaro y Acuitzio del Canje.



Su relieve lo constituyen el sistema volcánico transversal; las sierras de Curucupatzeo y Nocupétaro; y los cerros Porúa, Caracol, Moreno y Verde.

Su clima es templado, con lluvias en verano y en algunas partes tropical. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,654.5 milímetros y temperaturas que oscilan de 7.5° a 23.9° centígrados.

En el municipio predominan los bosques: bosque mixto, con pino, encino y cedro; bosque tropical decídúo, con ceiba, parota, tepeguaje, zapote y mango.

#### **3.1.2.6.7 Tacámbaro**

Se localiza al centro del Estado, en las coordenadas 19°14' de latitud Norte y 101°28' de longitud Oeste, a una altura de 1,640 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con Santa Clara, Huiramba y Acuitzio, al Este con Madero y Nocupétaro, al Sur con Turicato, y al Oeste con Ario.



Su relieve lo constituyen el sistema volcánico transversal, las sierras de Santa Clara, del Coco y de Acuitzio y los cerros Hueco, Colorado, El Jabalí, el Tigre, La Cruz y otros.

Su clima es tropical y templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,451.6 milímetros y temperaturas que oscilan entre 8.8 a 26.9° centígrados.

En el municipio dominan el bosque mixto con pino, encino y cedro, el bosque tropical deciduo, con parota, cuéramo, ceiba y huisache y el bosque de coníferas, con pino y oyamel.

Los suelos datan de los períodos cenozoico, terciario inferior y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico y chernozem. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadera.

### 3.1.2.6.8 Tzintzuntzan

Se localiza al Norte del Estado, en las coordenadas 19°38' de latitud Norte y 101°35' de longitud Oeste, a una altura de 2,050 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con Quiroga, al Noroeste con Morelia, al Este con Lagunillas, al Suroeste con Huiramba, al Sur con Pátzcuaro, y al Oeste con Erongarícuaro.



Su relieve lo conforman el sistema volcánico transversal y la depresión de Pátzcuaro y los cerros Lagarto, Tariácuri y Patambicho.

Su clima es templado, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 989.8 milímetros y temperaturas que oscilan entre 7.9 a 23.4° centígrados.

En el municipio domina el bosque mixto con pino, encino y cedro. Los suelos datan de los períodos cenozoico, cuaternario, terciario y plioceno, corresponden principalmente a los del tipo pradera y de montaña. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero.

Tabla 3.2. Porcentaje de la superficie de los municipios que se encuentran dentro de la subcuenca de Cointzio.

MUNICIPIO	ÁREA DEL MUNICIPIO (KM <sup>2</sup> )	% DEL MUNICIPIO EN LA CUENCA	ÁREA DEL MUNICIPIO EN LA CUENCA (KM <sup>2</sup> )	% QUE OCUPA EL MUNICIPIO EN TODA LA CUENCA
Morelia	1198.03	21.25	254.61	41.14
Acuitzio del Canje	180.83	76.10	137.61	22.23
Pátzcuaro	435.55	19.18	83.53	13.50
Huiramba	81.65	79.96	65.29	10.55
Lagunillas	81.48	88.66	72.24	11.67
V. Madero	1022.39	0.26	2.68	0.43
Tacámbaro	789.82	0.11	0.83	0.13
Tzintzuntzan	169.25	1.26	2.14	0.35

Ninguno de los ocho municipios por los cuales está formada la subcuenca de Cointzio se encuentran en su totalidad, Acuitzio del Canje, Huiramba y Lagunillas tienen más del 50% de su superficie en la cuenca, mientras que Morelia, Pátzcuaro, Villa Madero, Tacámbaro y Tzintzuntzan tienen menos del 50% de su superficie dentro de la cuenca.

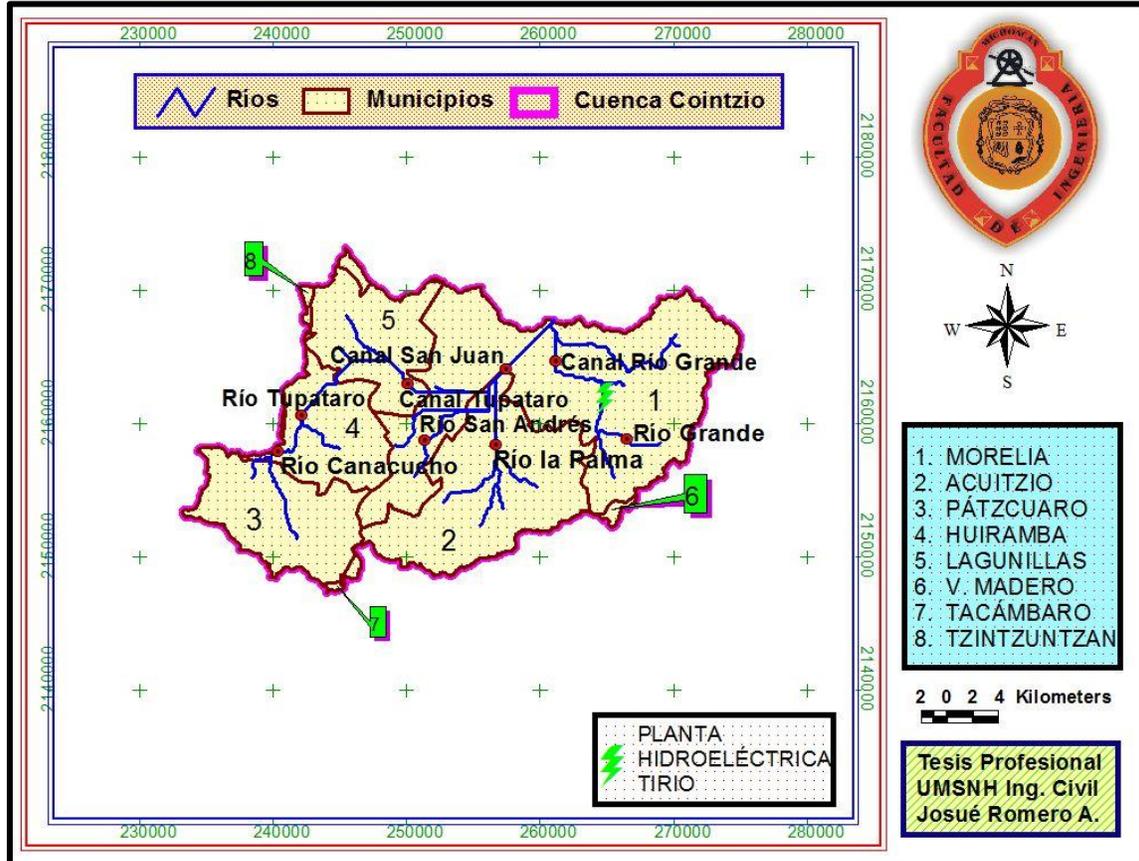
### 3.1.2.7 Mapa de ríos que se encuentran dentro de la subcuenca

Una vez que se tenía recortada únicamente la zona en estudio, se realizó otro recorte pero ahora sobre el mapa de ríos que se había generado de la unión de los cuatro modelos digitales de elevaciones.

Para poder identificar los ríos y canales que se encuentran dentro de la cuenca de Cointzio, se apoyo del SIATL (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas), el cual es un servicio geoespacial accesible vía internet por el INEGI ([http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/)), que de manera sencilla y gratuita expone la funcionalidad de las redes geométricas para simular flujos de agua, así como estimar indicadores morfométricos en función a la morfología de las cuencas; además de integrar otros datos complementarios de interés como cuerpos de agua, curvas de nivel, ortofotografía, localidades urbanas y rurales, núcleos agrarios, topónimos, marco geoestadístico, entre otras capas de información y herramientas para interactuar en forma activa con el entorno del mapa.

Se trazaron los ríos que se encuentran dentro de la subcuenca de Cointzio.

Mapa 3.7. Ríos de la Subcuenca.



El río Grande de Morelia nace aguas arriba de la presa de Umécuaro (fotos 3.1 y 3.2), es formado por la unión de los ríos Tiripetío, Tirio y el de la Barranca de San Pedro, se dirige hacia el Noreste donde alimenta a la presa de Coitzio, posteriormente recibe aportaciones del río Chiquito, la Mintzita, Itzícuaró, la Quemada, y las aguas residuales de la ciudad de Morelia, desembocando en el lago de Cuitzeo.

Las aguas del río grande se utilizan para riego, que se aprovecha en los valles de Charo, Álvaro Obregón y Tarímbaro. Finalmente el agua sobrante desemboca en el lago de Cuitzeo (el segundo más grande del país).

Foto 3.1 Río Grande.



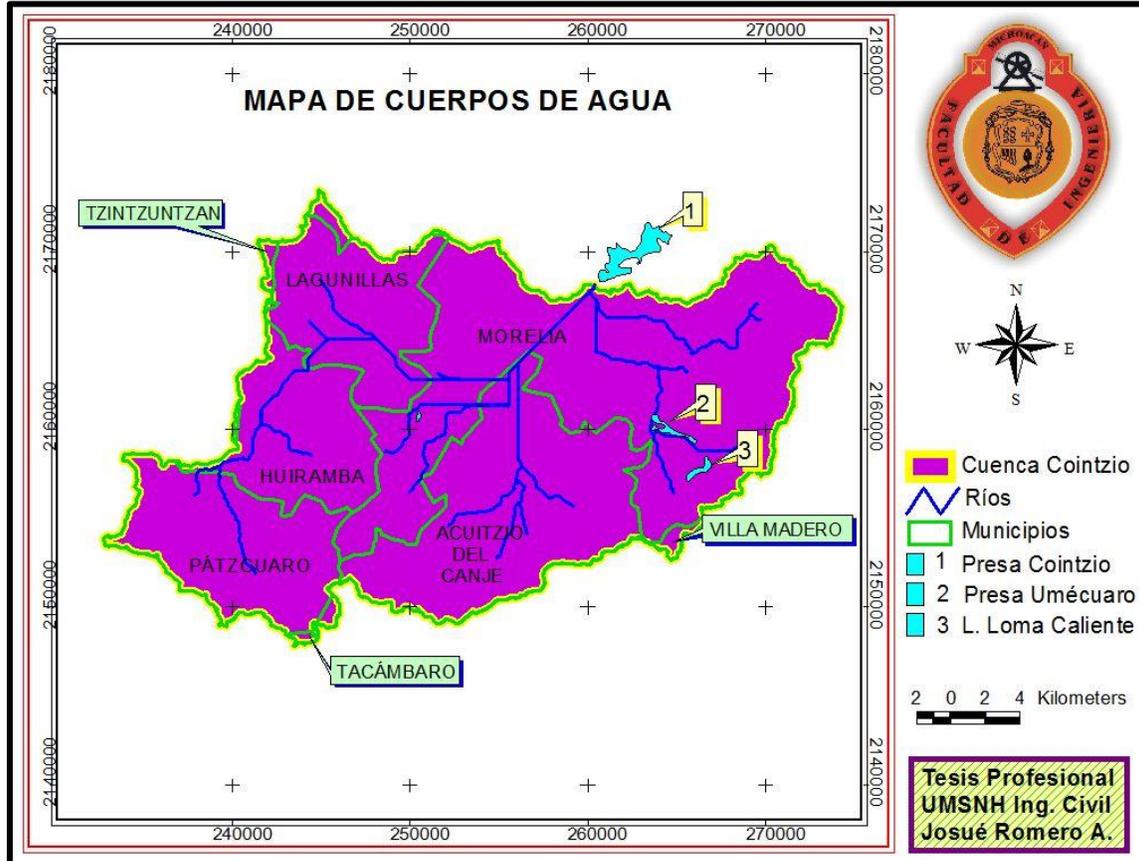
Foto 3.2 Río Grande.



### 3.1.2.8 Cuerpos de agua

Los embalses o cuerpos de agua que se encuentran en la subcuenca son la Presa de Cointzio, la cual se construyó en los años treinta y ocupa el tercer lugar en el Estado, con una capacidad de 85 Mm<sup>3</sup>, sus aguas se emplean para el uso doméstico de la ciudad de Morelia y para el riego en los municipios de Morelia, Tarímbaro, Álvaro Obregón y Queréndaro, presa de Umécuaro, propia para la pesca y el turismo alternativo y la laguna de Loma Caliente.

Mapa 3.8 Cuerpos de agua.

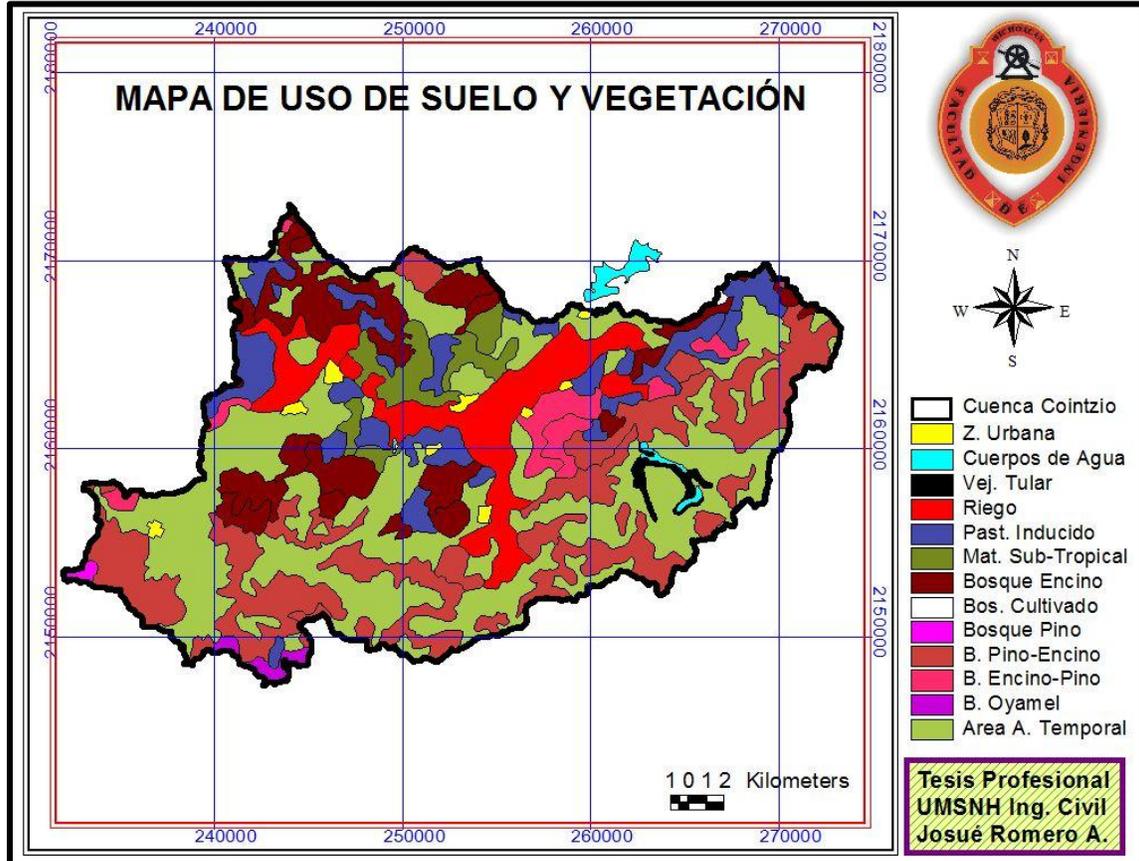


La presa de Cointzio está ubicada a 11.0 km al suroeste de la ciudad de Morelia, la presa de Umécuaro se encuentra al suroeste de la misma ciudad, saliendo por la carretera a Pátzcuaro, desviándose en el km. 13 rumbo a Santiago Undameo, hay que cruzar el poblado y continuar por 10 km en una carretera pavimentada de doble sentido que termina en este bello paisaje natural y la laguna de Loma Caliente ubicada a 22.0 km al suroeste de Morelia.

### 3.1.3 Uso de suelo y vegetación

Existen varios tipos de vegetación, determinados por las condiciones climáticas y las características fisiográficas del territorio. La zona de estudio se caracteriza principalmente por tener amplias áreas serranas como Mil Cumbres, las laderas meridionales del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur, que presentan extensos bosques de encino, pino y asociaciones de ambos.

Mapa 3.9 Uso de suelo.



En la parte Sur y Este de la cuenca que corresponden a las zonas más altas y húmedas de la cuenca, se encuentran los bosques de pino-encino y de pino, el bosque de encino se encuentra en la parte Norte y Centro. Mientras que la agricultura de riego se encuentra en la parte centro de la cuenca donde se encuentran los valles y hay disponibilidad de agua.

El área agrícola temporal se encuentra distribuida en toda la superficie de la cuenca. Lo anterior indica que en la cuenca los diferentes tipos de cobertura se distribuyen de acuerdo a dos factores principales el relieve, y la disponibilidad del agua.

### 3.1.3.1 Zona de riego

Tiripetío, Acuitzio del Canje y Lagunillas son municipios dedicados principalmente a la agricultura, donde sus principales cultivos son el maíz, trigo, garbanzo, haba, frijol y avena.

Foto 3.3 Muestra el canal de Tiripetío que lleva agua a toda la zona de riego (imagen 3.1).



Imagen 3.1. Campos de cultivo.



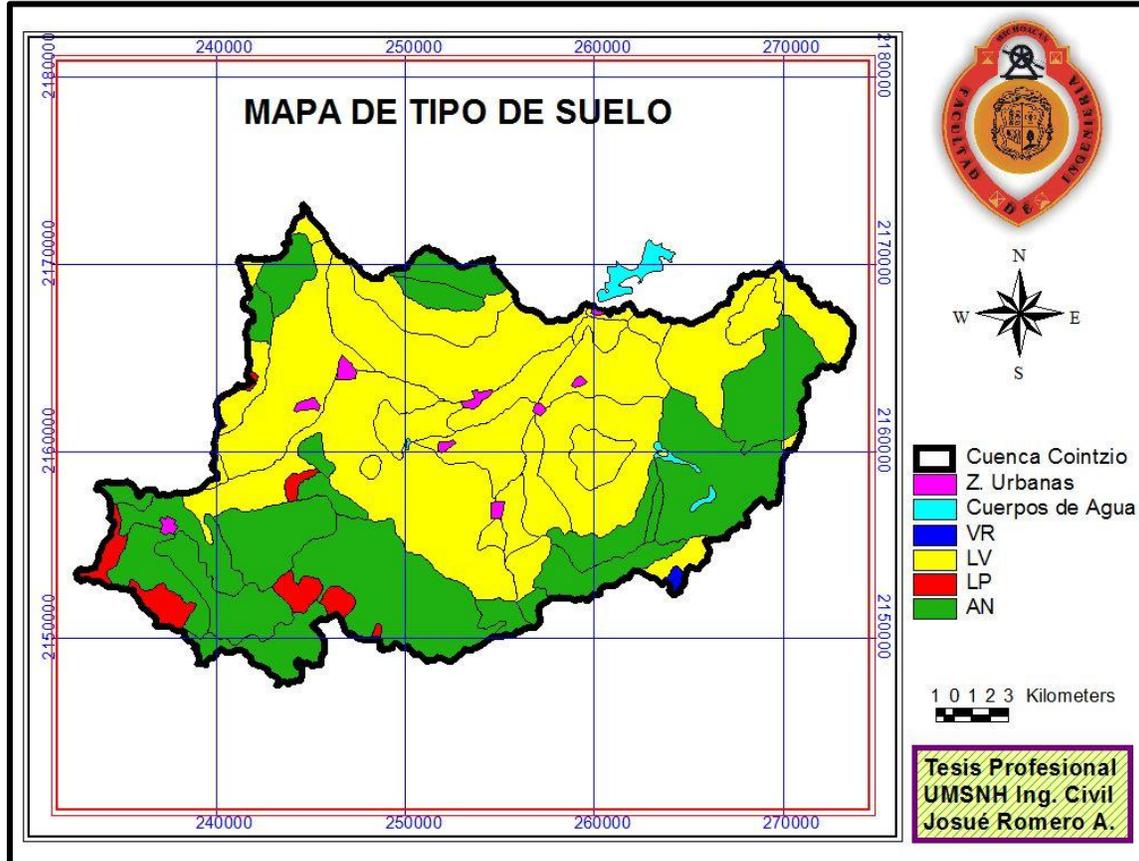
#### 3.1.4 Edafología

Tipo de suelo: Cuerpo natural sobre la superficie de la corteza terrestre que sostiene el crecimiento de las plantas.

La clasificación de los suelos es el idioma de la edafología. Por eso la clasificación tiene importancia no solo para especialistas en génesis del suelo, sino para todos los especialistas que trabajan con suelos. Además, por el medio de clasificación los edafólogos explican la situación del suelo a los especialistas de otras ciencias.

INEGI usa las unidades y subunidades de suelos de la leyenda FAO/UNESCO (1968), con modificaciones que sistemáticamente se realizaron durante 1968-1969, publicadas en 1970.

Mapa 3.10 Tipo de suelo.



A continuación se describen los tipos de suelos de acuerdo a la unidad y subunidad que presenta la subcuenca de Cointzio.

### VR

Vertisol (V): Suelos arcillosos al menos dentro de 50 cm de profundidad, con microrrelieve en forma de montículos, grietas de por lo menos 1 cm de ancho, y superficies pulidas por la fricción de los agregados.

Los Vertisoles se forman típicamente de rocas altamente básicas tales como basalto en climas estacionalmente húmedos o sujetos a sequías erráticas y a inundación. Dependiendo del material parental y del clima, pueden oscilar del gris o rojizo al más familiar negro.

### LV

Luvisol Vértico (LV): Luvisol con subsuelo agrietado (grietas de 1 cm o más de ancho) en alguna parte de la mayoría de los años.

**LP**

Luvisol plíntico (LP): Luvisol con subsuelo enriquecido por arcilla altamente intemperizada, y numerosas manchas rojas arreglados en forma laminar o reticular.

Los Luvisoles se desarrollan principalmente sobre una gran variedad de materiales no consolidados como depósitos glaciares, eólicos, aluviales y coluviales. Predominan en zonas llanas o con suaves pendientes de climas templados fríos o cálidos pero con una estación seca y otra húmeda, como el clima mediterráneo.

**AN**

Acrisol (A). Suelo ácido de climas húmedos, con un subsuelo arcilloso muy pobres en nutrientes o bases (Ca, Mg, K, Na).

Los Acrisoles se desarrollan principalmente sobre productos de alteración de rocas ácidas, con elevados niveles de arcillas muy alteradas, las cuales pueden sufrir posteriores degradaciones. Predominan en viejas superficies con una topografía ondulada o colinada, con un clima tropical húmedo, monzónico, subtropical o muy cálido. Los bosques claros son su principal forma de vegetación natural.

La mayor parte de la superficie de la cuenca está formada por luvisoles y acrisoles, mientras que los vertisoles solo ocupan una pequeña proporción, tal y como se observa en el mapa 10.

Tabla 3.3 Superficie en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) y % que ocupa cada tipo de suelo en la subcuenca.

TIPO DE SUELO	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	% DEL TIPO DE SUELO SOBRE LA CUENCA
VR	1.215	0.19
LV	339.634	54.87
LP	17.918	2.90
AN	253.765	41
Zonas Urbanas	4.882	0.79
Cuerpos de Agua	1.521	0.25

La subcuenca de Cointzio presenta zonas afectadas por la erosión (foto 3.4), es decir, hay sitios en los que hay una cantidad considerable de pérdida del suelo y que posteriormente es depositado en el vaso de la presa Cointzio, lo que da como resultado la disminución de su capacidad útil de almacenamiento y aumento en el volumen de azolves, además de disminuir la calidad del agua.

Foto 3.4 Zona erosionada (cárcavas).



La erosión que se presenta en la cuenca es sobre el tipo de suelo: (A) Acrisoles.

Foto 3.5 Erosión en la falda del cerro.



La erosión representa un gran problema para los agricultores, ya que no pueden cultivar ningún producto agrícola. “Sin suelo no se puede cultivar”.

### 3.1.5 determinación del número de escurrimiento: N

El número de escurrimiento depende de:

- Tipo de suelo
- La cobertura vegetal
- La pendiente del terreno

➤ Otros factores

### 3.1.5.1 Tipo de suelo

Al mapa de tipo de suelo que se obtuvo anteriormente se le realizó una reclasificación a la textura del suelo que el INEGI maneja de acuerdo a la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Textura del suelo (Fuente: INEGI, Diccionario de Datos Edafológicos escala 1:250 000).

<b>TEXTURA DEL SUELO (INEGI)</b>
Gruesa (1): Menos del 18 % de arcilla y más del 65 % de arena.
Media (2): Menos del 35 % de arcilla y menos del 65 % de arena.
Fina (3): Más del 35 % de arcilla.

Tabla 3.5 Textura del suelo (Fuente: Aparicio M. F., Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa).

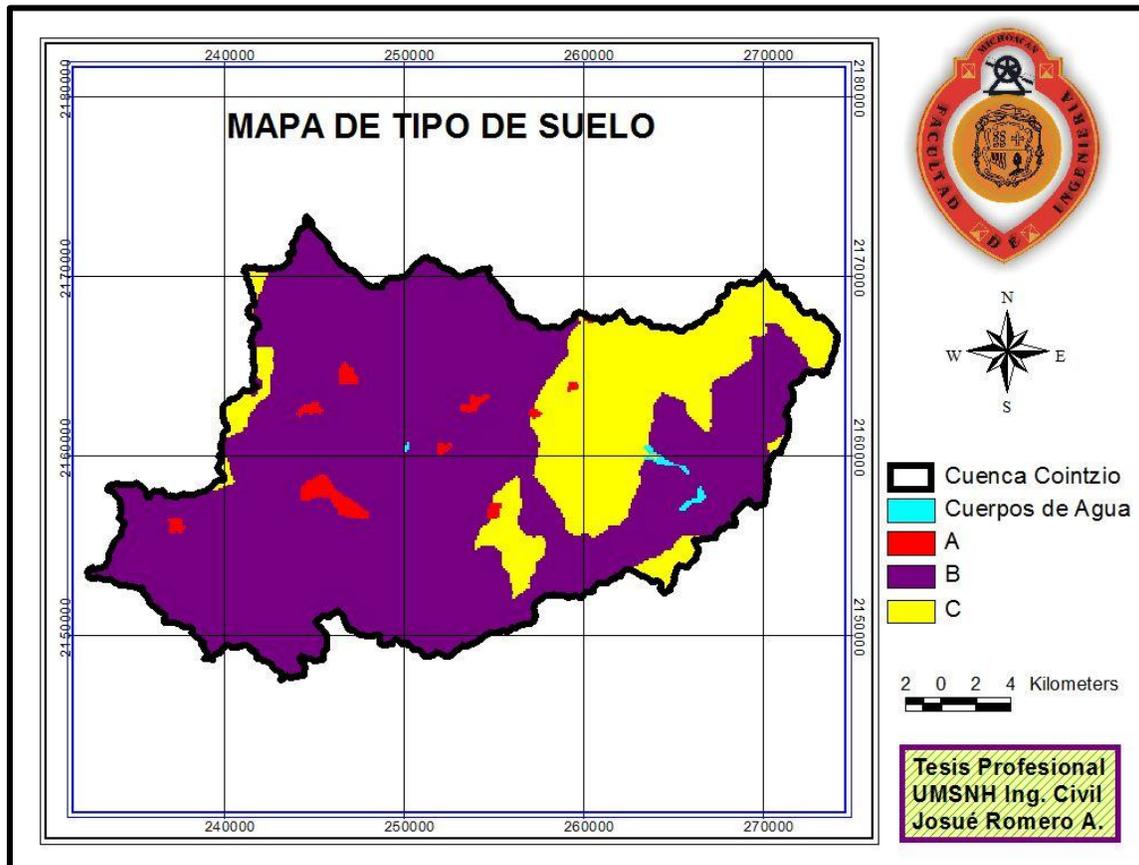
<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>TEXTURA DEL SUELO</b>
A	Arenas con poco limo y arcilla; suelos muy permeables.
B	Arenas finas y limos.
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla.
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana; suelos muy impermeables.

Tomando en cuenta la textura del suelo y la fase física para realizar cada correspondencia, la textura gruesa se reclasificó en tipo A, la media en B, la fina en C Y D, mientras que el suelo cubierto por agua queda sin reclasificar ya que no produce escurrimiento.

Tabla 3.6 Correspondencia de la textura del suelo.

<b>TEXTURA DEL SUELO (INEGI)</b>	<b>RECLASIFICACIÓN</b>
Suelo cubierto por agua (0)	Sin reclasificación
Gruesa (1)	A
Media (2)	B
Fina (3)	C y D

Mapa 3.11 Tipo de suelo reclasificado.



El mapa anterior muestra el tipo de suelo reclasificado el cual resultó en tres tipos: A, B y C.

Tabla 3.7 Superficie en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) y % que ocupa cada tipo de suelo reclasificado en la subcuenca de Cointzio.

TIPO DE SUELO	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	% DEL TIPO DE SUELO EN LA CUENCA
A	8.744	1.41
B	477.624	77.17
C	131.047	21.17
Cuerpos de agua	1.521	0.25

El tipo de suelo B es el que se encuentra en mayor cantidad en la cuenca, ocupando más del cincuenta por ciento del total de la superficie, mientras que el tipo de suelo A es el que se encuentra en menor proporción, tal y como se observa en el mapa 3.11.

### 3.1.5.2 Cobertura vegetal

Para obtener el mapa de uso de suelo y vegetación, también se reclasificó de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 3.8 Selección de N (Fuente: Aparicio M. F., Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa).

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno en %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	---	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89
	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
Cereales	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88
	Surcos rectos	< 1	63	75	83	87
	Contorneo	> 1	63	74	82	85
	Contorneo	< 1	61	73	81	84
	Terrazas	> 1	61	72	79	82
	Terrazas	> 1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	> 1	66	77	85	89
	Surcos rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85
	Contorneo	< 1	55	69	78	83
	Terrazas	> 1	63	73	80	83
	Terrazas	< 1	51	67	76	80
Pastizales	-----	> 1	68	79	86	89
	-----	< 1	39	61	74	80
	Contorneo	> 1	47	67	81	88
	Contorneo	< 1	6	35	70	79
Pradera permanente	-----	< 1	30	58	71	78
Bosques naturales:						
Muy ralo	-----	---	56	75	86	91
Ralo	-----	---	46	68	78	84
Normal	-----	---	36	60	70	77
Espeso	-----	---	26	52	62	69
Muy espeso	-----	---	15	44	54	61
Caminos:						
De terracería	-----	---	72	82	87	89
Con superficie dura	-----	---	74	84	90	92

Tabla 3.9 Correspondencias del uso de suelo y vegetación.

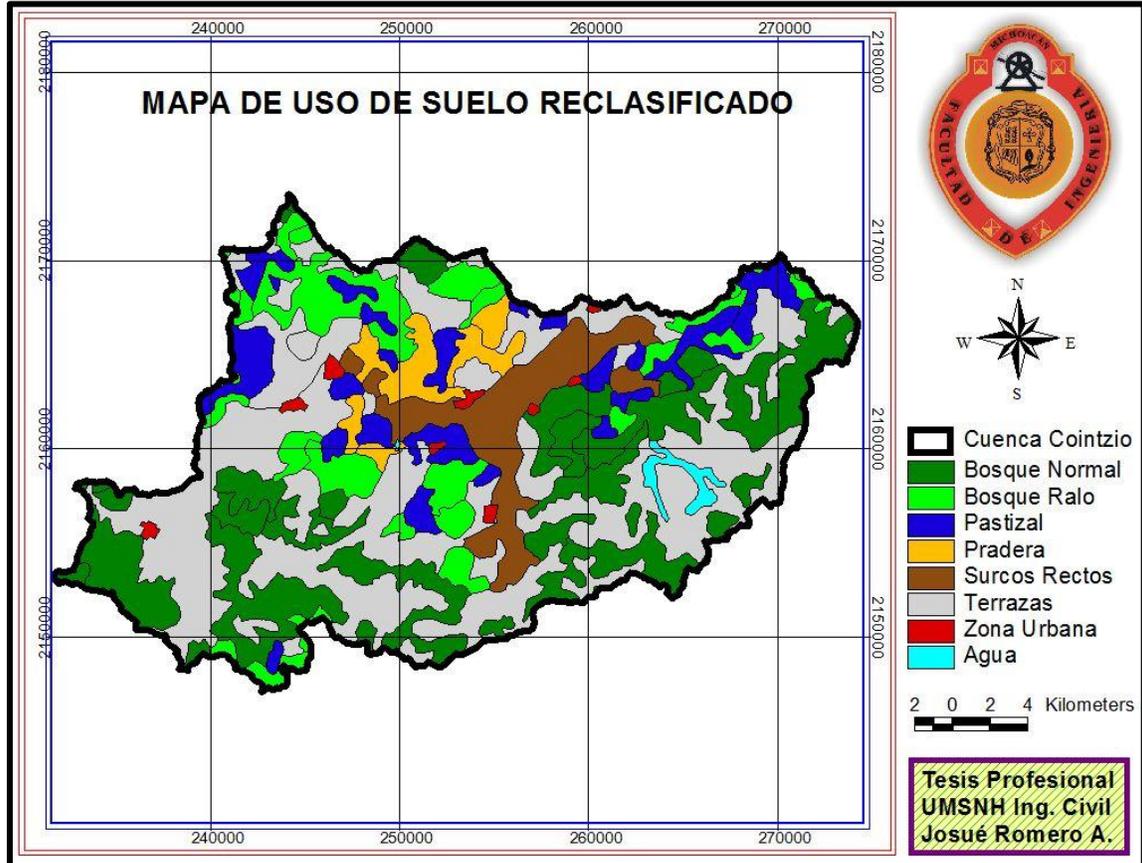
ENTIDAD (INEGI)	USO DE LA TIERRA Y COBERTURA
Área agrícola	Surcos rectos
	Terrazas
	Contorneo
Área sin vegetación	Terracería
Bosque	Normal
	Ralo
Cuerpo de agua	Agua
Localidad	Urbana
Matorral	Pradera
Otros tipos de vegetación (Tular)	Agua
Pastizal	Pastizal

Una vez que se realizó la reclasificación del mapa de uso de suelo y vegetación se obtuvieron 8 mapas correspondientes a los siguientes usos de la tierra y vegetación:

- Bosque normal
- Bosque ralo
- Pastizal
- Pradera
- Surcos rectos
- Terrazas
- Zona urbana
- Agua

Al unir los 8 mapas correspondientes se obtuvo un mapa final (mapa 3.12).

Mapa 3.12 Uso de suelo reclasificado.



Este mapa resultó de hacer una reclasificación al mapa de uso de suelo que inicialmente se había obtenido con las entidades que el INEGI maneja.

Tabla 3.10. Superficie en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) y % que ocupa cada clase de cobertura y uso de la tierra en la subcuenca de Cointzio.

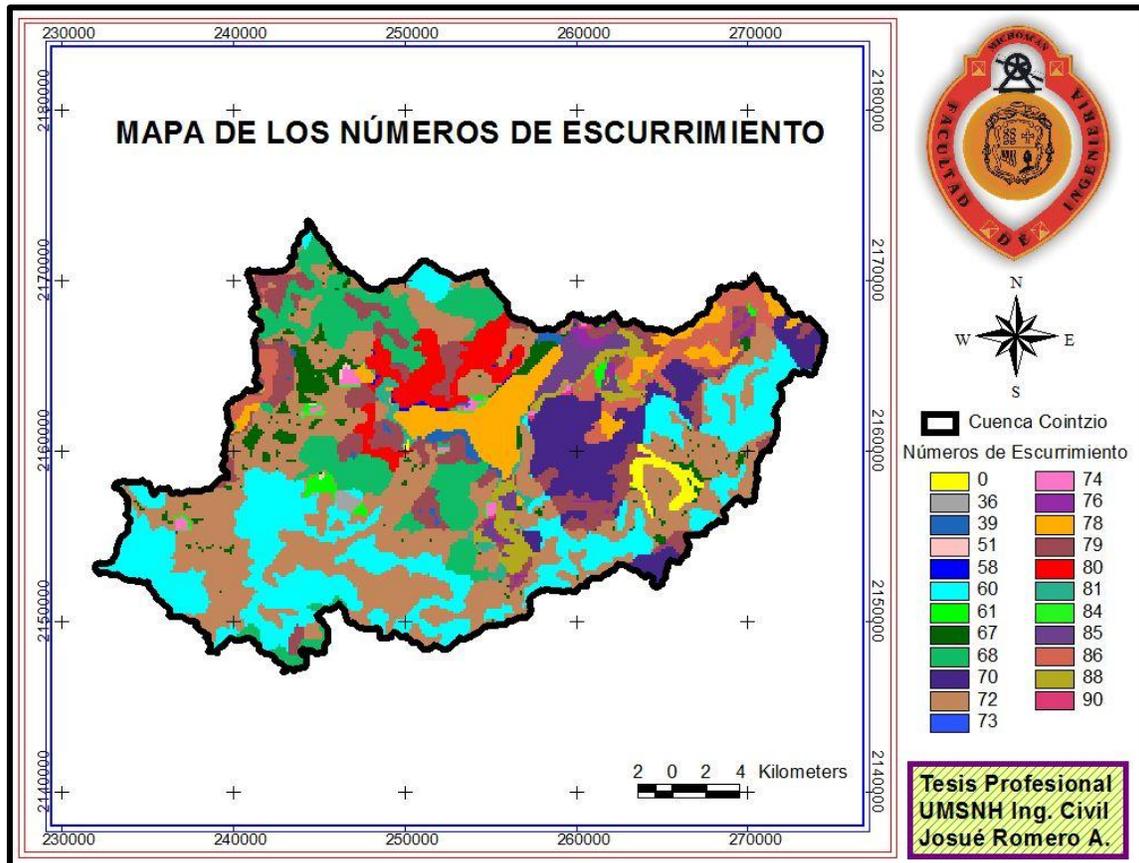
USO DE LA TIERRA Y COBERTURA	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	% DEL USO DE LA TIERRA Y COBERTURA EN LA CUENCA
Bosque Normal	170.565	27.56
Bosque Ralo	99.672	16.10
Pastizal	56.652	9.15
Pradera	24.934	4.03
Surcos Rectos	49.123	7.94
Terrazas	207.720	33.56
Zona Urbana	4.882	0.79
Agua	5.387	0.87



### 3.1.5.4 Cálculo del número de escurrimiento (N)

Por último, usando los mapas reclasificados de tipo de suelo, uso de suelo y de pendientes usamos la tabla 3.8 para conocer el número de escurrimiento (N) a que corresponde cada zona y al final obtener el mapa de N.

Mapa 3.14 Número de escurrimiento.



Este mapa muestra los números de escurrimiento (N) para cada zona, cada color representa un número de escurrimiento. El número de escurrimiento con valor igual a cero, el cual está representado en color amarillo, corresponde a la zona cubierta por agua a la cual se le asignó dicho valor ya que no produce escurrimiento.

Para calcular el número de escurrimiento general se realizaron algunas operaciones en la tabla de atributos del mapa 3.14. Se multiplicó la columna "Value" con la columna "Count" y se realizó una sumatoria.

Tabla 3.11 Atributos del mapa 3.14.

Value	Count	Multiplicación
0	254	0
36	70	2520
39	184	7176
51	17	867
58	37	2146
60	5446	326760
61	203	12383
67	825	55275
68	2765	188020
70	1901	133070
72	8012	576864
73	7	511
74	141	10434
76	199	15124
78	1521	118638
79	2437	192523
80	1052	84160
81	210	17010
84	45	3780
85	446	37910
86	965	82990
88	521	45848
90	23	2070
Σ=	27281	1916079

$$N = \Sigma \text{ "Multiplicación" } / \Sigma \text{ "Count"}$$

$$N = 1916079 / 27281 = 70.235$$

$$N = 70$$

### 3.1.6 Determinación del volumen de escurrimiento

Para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural se aplicó el método indirecto denominado: precipitación-escurrimiento, el cual viene estipulado en la (Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000).

## Precipitación-Escurrimiento

El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina indirectamente, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca} = \frac{\text{Precipitación anual de la cuenca}}{\text{Área de la cuenca}} * \text{Coeficiente de escurrimiento}$$

- Precipitación anual en la cuenca

Cuando en la cuenca en estudio no se cuenta con información pluviométrica o ésta sea escasa, la precipitación anual se podrá obtener con apoyo de los planos de isoyetas.

- Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento se determina a partir del siguiente procedimiento: En función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual, de la cuenca en estudio.

A falta de información específica, con el apoyo en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables), y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 3.12 y al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtiene el valor del parámetro K.

Tabla 3.12 Valores de K, en función del tipo y uso de suelo.

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos.
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas.

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.30
Cultivos:			
En Hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.30
Granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75 % - Poco -	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75 % - Regular -	0.20	0.24	0.30
Menos del 50 % - Excesivo -	0.24	0.28	0.30
Bosque:			
Cubierto más del 75 %	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75 %	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50 %	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25 %	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.30	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.30

Si en la cuenca en estudio existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ ), se calcula mediante las fórmulas siguientes:

K: Parámetro que depende del tipo y Uso de suelo	Coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ )
Si K resulta menor o igual que 0.15	$C_e = K(P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0.15	$C_e = K(P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5$

P = Precipitación anual, en mm.

### 3.1.6.1 Determinación de K

El parámetro K depende de:

- Tipo de suelo
- Uso del suelo

Como en la cuenca en estudio existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calculará como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

#### 3.1.6.1.1 Tipo de suelo

Para el caso del tipo de suelo se usará la tabla reclasificada que anteriormente se había obtenido.

#### 3.1.6.1.2 Uso del suelo

En el caso del uso del suelo se hará la reclasificación usando la tabla 3.13, pues la que se obtuvo anteriormente cambia un poco respecto a dicha tabla.

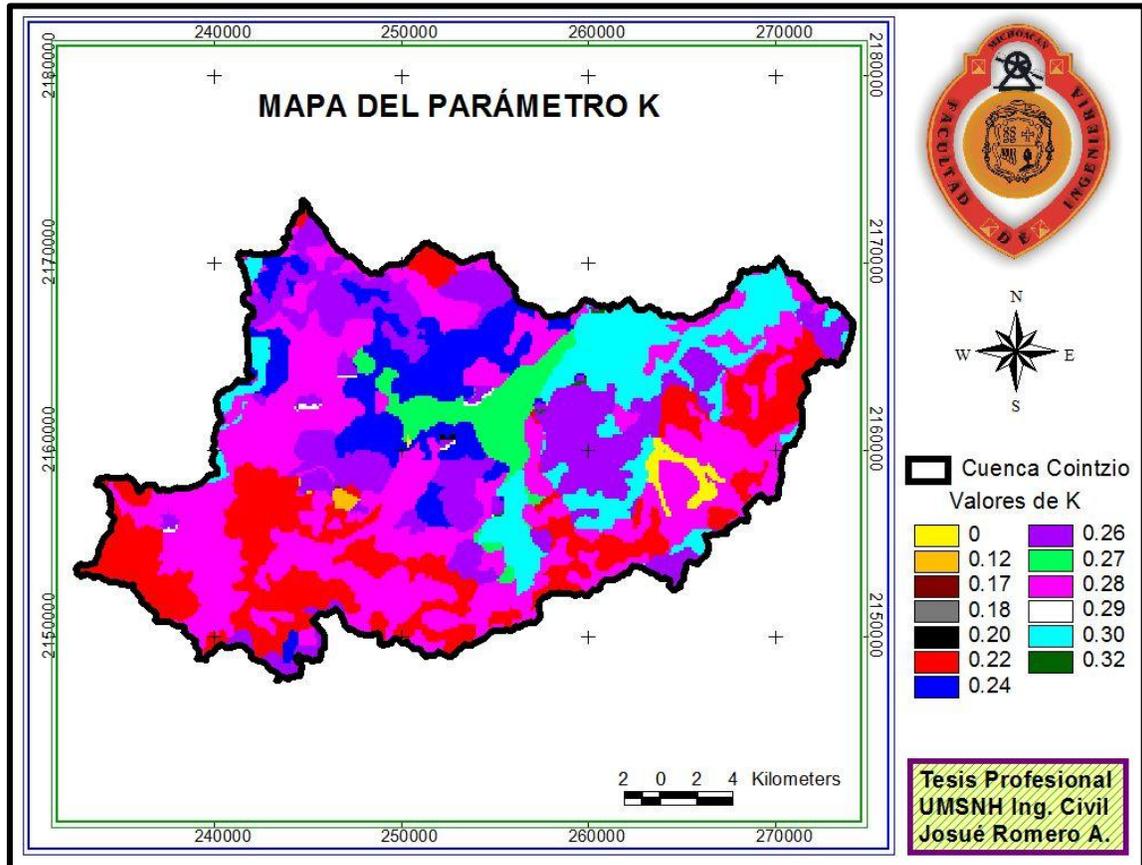
Tabla 3.13 Correspondencia del uso de suelo.

ENTIDAD (INEGI)	TIPO (INEGI)	USO DE SUELO (TABLA 3.12)
Área agrícola	Temporal	Barbecho, áreas incultas y desnudas
Área agrícola	Riego	En hilera
Pastizal	Pastizal inducido	Regular
Bosque	Normal	Cubierto del 50 al 75 %
	Ralo	Cubierto del 25 al 50 %
Localidad	Zona Urbana	Zonas urbanas
Matorral	Matorral subtropical	Pradera permanente
Agua	Cuerpos de agua y vegetación tular	Agua

Cabe mencionar que al hacer nuevamente otra reclasificación al uso del suelo no cambia en la forma del mapa de la reclasificación anterior, si no que únicamente en las denominaciones y con ello conocer los valores de K para así calcular el mapa.

Usando los mapas de tipo de suelo, uso del suelo (reclasificados), y haciendo uso de la tabla 3.12 para obtener los valores de K de cada zona de la cuenca se calculó el mapa del parámetro.

Mapa 3.15 Parámetro K.



Para calcular el K de la cuenca se realiza de la misma forma como se calculó el número de escurrimiento.

Tabla 3.14 Atributos del mapa 3.15

Value	Count	Multipliación
0	294	0
0.12	70	8.4
0.17	2	0.34
0.18	3	0.54
0.2	11	2.2
0.22	6180	1359.6
0.24	2974	713.76
0.26	5688	1478.88
0.27	1377	371.79
0.28	10622	2974.16
0.29	58	16.82

Value	Count	Multipliación
0.3	3683	1104.9
0.32	26	8.32
$\Sigma=$	30988	8039.71

$$K = \Sigma \text{ "Multipliación" } / \Sigma \text{ "Count"}$$

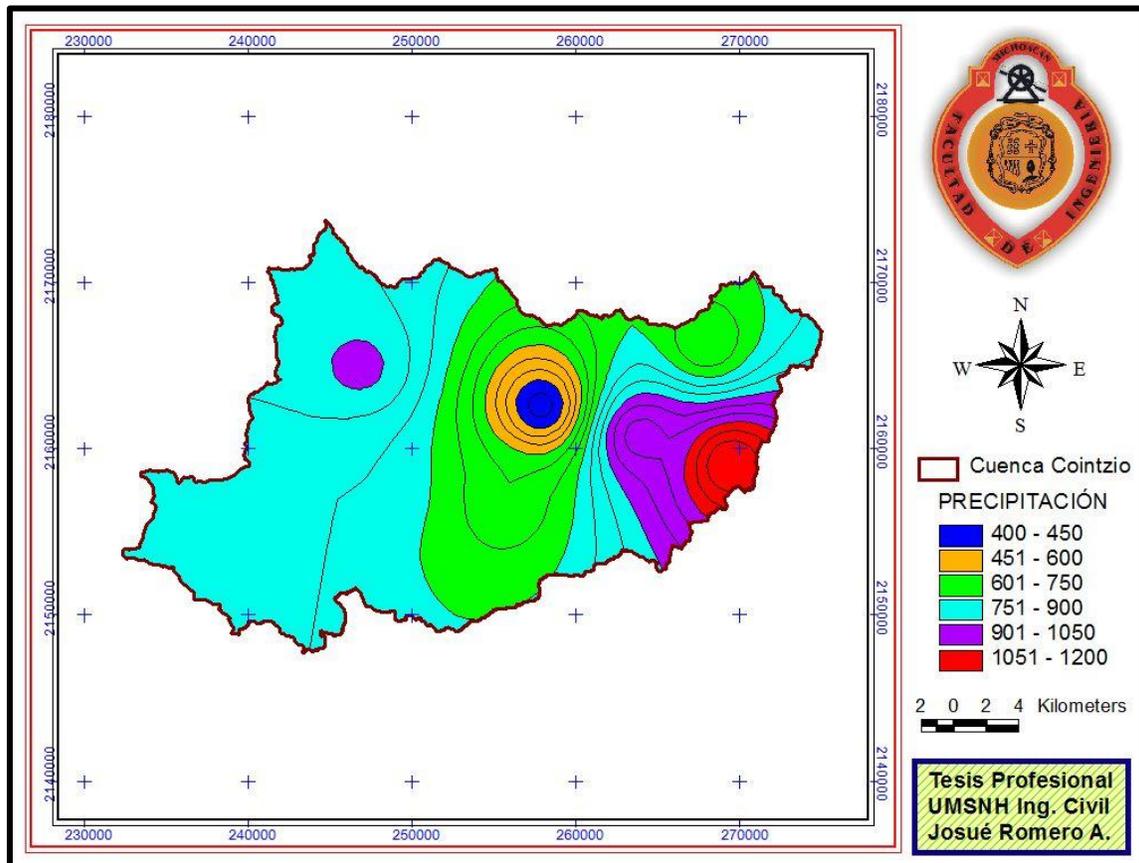
$$K = 8039.71 / 30988 = 0.2594$$

$$K = 0.26$$

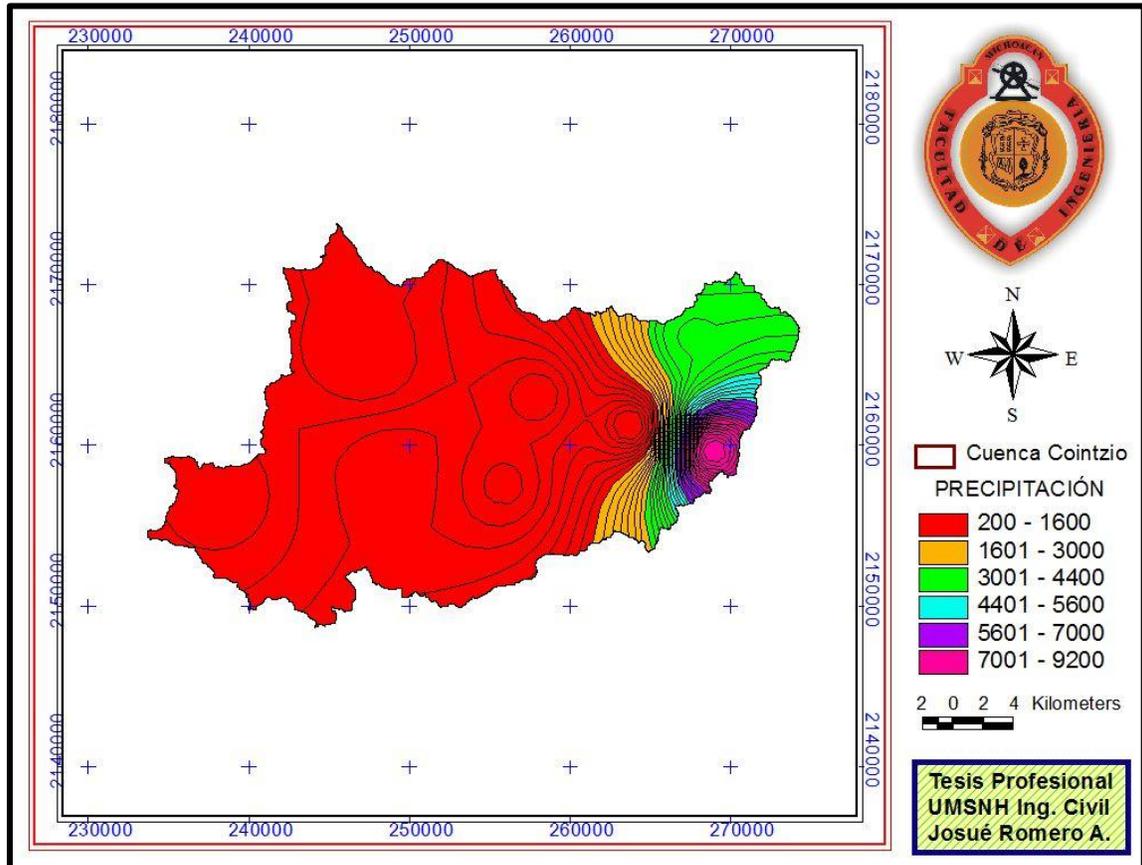
### 3.1.6.2 Precipitación anual

La precipitación anual se calculó para las estaciones pluviométricas (9) que tienen un periodo de registro de 2 años (2009 y 2010), posteriormente se trazaron isoyetas de igual altura de precipitación para cada año.

Mapa 3.16 Isoyetas de precipitación para el año 2009.



Mapa 3.17 Isoyetas de precipitación para el año 2010.



Haciendo los cálculos respectivos para calcular la precipitación anual de la cuenca por medio de las isoyetas, las precipitaciones resultaron:

Tabla 3.15 Precipitación anual de la cuenca.

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (MM)
2009	820.587
2010	1276.129

### 3.1.6.3 Determinación del coeficiente de escurrimiento (Ce)

El coeficiente de escurrimiento se determinará para cada año, puesto que la precipitación anual es diferente.

Como el valor del parámetro K obtenido es mayor a 0.15; entonces la ecuación que se utilizó para obtener el Ce fue:

$$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5$$

Tabla 3.16 Valores del coeficiente de escurrimiento.

AÑO	PARÁMETRO K	PRECIPITACIÓN ANUAL (MM)	CE
2009	0.26	820.587	0.148
2010	0.26	1276.129	0.207

### 3.1.6.4 Volumen de escurrimiento

Todos los parámetros que se requieren para calcular el volumen de escurrimiento de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 ya fueron calculados, por lo tanto, los volúmenes son los siguientes:

Tabla 3.17 Volúmenes de escurrimiento.

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (MM)	ÁREA (KM2)	CE	VE (MM3)
2009	820.587	618.935	0.148	75.168
2010	1276.129	618.935	0.207	163.497

Tabla 3.18 Comparación de volúmenes.

AÑO	VE CALCULADO (MM3)	VE MEDIDO (MM3)
2009	75.168	104.7
2010	163.498	140.52

El volumen medido en el año 2009 es mayor al calculado, lo que significa que los resultados son lógicos, pues es correcto que sea mayor al calculado, ya que la corriente principal transporta agua durante todo el año. En el año 2010 los resultados se invirtieron, lo cual es ilógico, esto se debe a la poca información que se tiene tanto en los pluviógrafos como en el limnómetro.

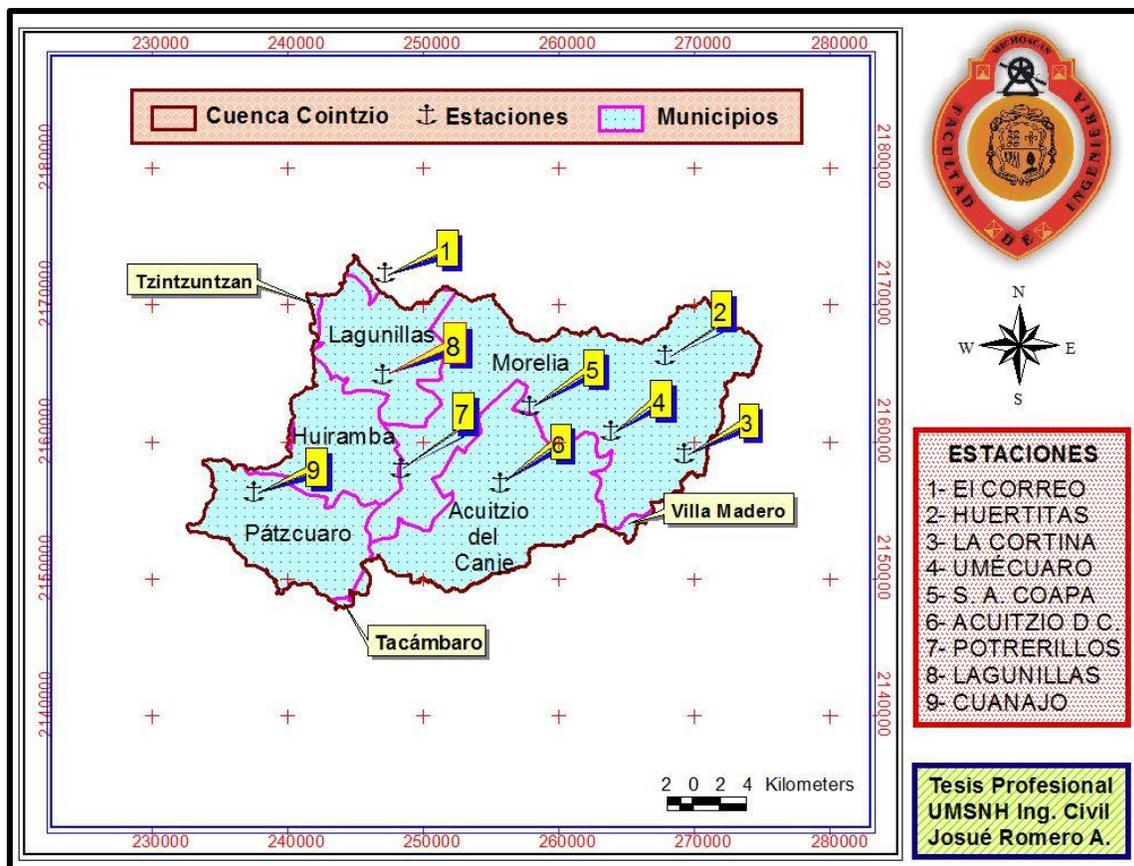
### 3.2 INSTRUMENTACIÓN Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para poder conocer el comportamiento en una zona de las variables físicas como la lluvia, caudal, viento, entre otras, es necesario la medición de éstas por medio de cualquier instrumento que permita manejar procesos y generar series de registros con la respectiva información para después llevar a cabo un análisis de ella y así contribuir con cualquier exigencia que relacione tal zona.

En la cuenca en estudio se encuentran instaladas 9 estaciones de monitorio pluviográfico, las cuales registran información a intervalos de 5 minutos y una estación de tipo limnimétrica.

Se realizó el levantamiento topográfico con GPS de los pluviografos (estaciones pluviométricas) que se encuentran instalados en la zona en estudio, se bajaron los datos en ArcView y se realizó el cambio de coordenadas, de geográficas a UTM, para que fueran compatibles con la cuenca trazada.

Mapa 3.18 Estaciones pluviográficas.



Este mapa muestra las estaciones sobre la cuenca trazada y los Municipios por los cuales está formada. Como se puede observar, las estaciones están distribuidas de forma más o menos uniforme sobre el área de la cuenca.

A continuación se describe la información técnica de los equipos que se encuentran instalados en la zona en estudio.

### 3.2.1 El Correo

La estación es de tipo pluviográfica, marca HOBO, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 37' 58.55''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 24' 57.51''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,274 metros sobre el nivel del mar, sobre la carretera Guadalajara-Morelia.

El pluviógrafo se encuentra instalado en la azotea de una casa habitación (foto 3.6).



Foto 3.6

### 3.2.2 Huertitas

La estación es de tipo pluviográfica, marca HOBO, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 35' 25.53''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 12' 34.15''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,281 metros sobre el nivel del mar.

El pluviógrafo se encuentra instalado en una parcela de maíz y se puede observar con facilidad del camino de terracería que pasa al lado (foto 3.7).



Foto 3.7

### 3.2.3 La Cortina

El equipo que se encuentra en este sitio es una estación climatológica, donde se encuentra instalado un pluviógrafo marca HOBO, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 36' 01.72''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 09' 16.73''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,471 metros sobre el nivel del mar.

La estación climatológica se encuentra en el bosque en una de las partes más altas de la cuenca (foto 3.8), lo que dificulta muchísimo el acceso, además de que los caminos no están en buenas condiciones.



Foto 3.8

### 3.2.4 Umécuaro

La estación es de tipo pluviográfica, marca HOBO, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 31' 44.33''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 15' 18.87''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,203 metros sobre el nivel del mar.

El pluviógrafo se encuentra instalado en el restaurant “el primo” al bordo de la presa de Umécuaro (foto 3.9).



Foto 3.9

### 3.2.5 San Antonio Coapa

La estación es de tipo pluviográfica, marca Rainwise, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 32' 41.37''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 18' 46.89''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,046 metros sobre el nivel del mar.

El pluviógrafo se encuentra instalado en una granja (foto 3.10).



Foto 3.10

### 3.2.6 Acuitzio del Canje

La estación es de tipo pluviográfica, marca Rainwise, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 29' 34.51''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 19' 59.79''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,093 metros sobre el nivel del mar.

El pluviógrafo se encuentra instalado en el interior de una casa habitación (foto 3.11) con dirección: Calle Rivapalacios # 384, Col Centro.



Foto 3.11

### 3.2.7 Potrerillos

La estación es de tipo pluviográfica, marca HOBO, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 30' 07.27''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 24' 12.84''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,205 metros sobre el nivel del mar.

El pluviógrafo se encuentra instalado en el jardín de una Telesecundaria (foto 3.12).



Foto 3.12

### 3.2.8 Lagunillas

La estación es de tipo pluviográfica, marca HOBO, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 33' 52.54''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 25' 03.18''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,095 metros sobre el nivel del mar.

El pluviógrafo se encuentra instalado en la azotea de una casa habitación (foto 3.13), Con dirección: Calle Aldama # 67.



Foto 3.13

### 3.2.9 Cuanajo

La estación es de tipo pluviográfica, marca Rainwise, está ubicada en las coordenadas  $19^{\circ} 29' 08.38''$  de latitud Norte, y  $101^{\circ} 30' 24.21''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,332 metros sobre el nivel del mar.

El pluviógrafo se encuentra instalado en la azotea de una casa habitación (foto 3.14).



Foto 3.14

### 3.2.10 Santiago Undameo

La estación que se encuentra instalada en esta localidad es de tipo limnimétrica, marca HOBO, localizada en las coordenadas  $19^{\circ} 35' 42.07''$  de latitud Norte y  $101^{\circ} 17' 14.62''$  de longitud Oeste, a una altura de 2,018 metros sobre el nivel del mar, la cual se encuentra instalada dentro de un pequeño almacén con la finalidad de proteger el equipo (foto 3.15).



Foto 3.15



Foto 3.16

En este mismo punto se encuentra un limnómetro y un aforador Parshall (foto 3.16)

### 3.2.11 Información recabada de los pluviógrafos

Las tablas 3.19 y 3.20 resultaron de hacer un análisis previo a la información descargada de los pluviógrafos.

Tabla 3.19 Porcentaje de información para el año 2009.

ESTACIONES	Nº DE MESES	PORCENTAJE
Umécuaro	7	58
San Antonio Coapa	9	75
Potrerillos	8	67
Acuitzio del Canje	9	75
Lagunillas	8	67
El Correo	9	75
Cuanajo	9	75
Huertitas	6	50
La Cortina	9	75
<b>Limnómetro</b>	<b>9</b>	<b>75</b>
	Total	69

Tabla 3.20 Porcentaje de información para el año 2010.

<b>ESTACIONES</b>	<b>N° DE MESES</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Umécuaro		
San Antonio Coapa	9	75
Potreros	3	25
Acuitzio del Canje	8	67
Lagunillas		
El Correo	1	8
Cuanajo	6	50
Huertitas	3	25
La Cortina	4	33
<b>Limnómetro</b>	<b>7</b>	<b>58</b>
	Total	31

El total de información recabada en el año 2009 es de 69 %, mientras que para el año 2010 sólo se cuenta con 31 % de información, de estos porcentajes depende la confiabilidad de los resultados obtenidos al calcular el volumen de escurrimiento.

El porcentaje de datos registrados por el limnómetro en el año 2009 es de 75 %, mientras que para el año 2010 se tiene 58 % de información.

**CAPÍTULO IV**

**APLICACIÓN DEL**  
**GESTOR EN LA ZONA**  
**PILOTO**

## 4. APLICACIÓN DEL GESTOR EN LA ZONA PILOTO

### 4.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Se creó una base de datos en Microsoft Access 2010 con la información recabada de los pluviógrafos que previamente fue analizada. En esta base de datos se integró toda la información, es decir, cuando los aparatos registraron información de alguna tormenta y cuando los aparatos no registraron información, ya sea por alguna falla en alguno de ellos.

### 4.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Se desarrolló una aplicación en Microsoft Visual Studio 2008.

#### 4.2.1 Microsoft Visual Studio 2008

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, ASP.NET y Visual Basic .NET, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión net 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se intercomunican entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles.

#### 4.2.2 Aplicación (Lluvias 2.15)

“Lluvias 2.15”. Es un tipo de programa informático diseñado como herramienta que nos permite obtener información de la base de datos de una forma organizada y específica, logrando un flujo continuo de información entre la aplicación y la base de datos. La aplicación está constituida por un conjunto de comandos y métodos que permiten estas intercomunicaciones.

##### 4.2.2.1 Requerimientos mínimos de instalación

- Dispositivo Óptico CD/DVD+RW.
- Procesador Intel Core Duo 1.67 GHz o superior.
- Memoria RAM 1 GB.
- 2 GB de espacio libre en disco duro
- Microsoft Office 2010.
- Para la instalación de la aplicación es necesario estar conectado a Internet.

#### 4.2.2.2 Instalación de Lluvias 2.15

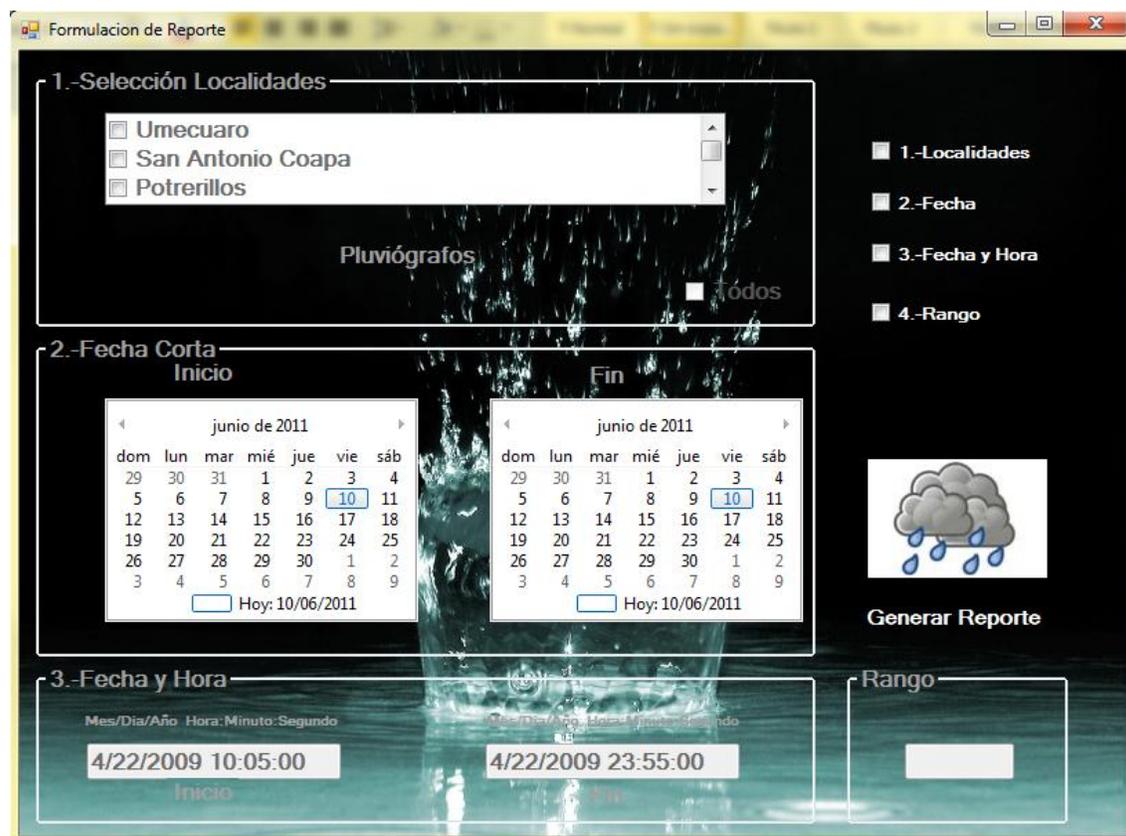
Una vez cumplidos los requerimientos mínimos de instalación abriremos la carpeta Lluvias 2.15 que se encuentra en el disco, dentro de ésta se localiza la carpeta "Release", en la cual se encuentra la aplicación a instalar.

Al ejecutar la aplicación solicitará una contraseña la cual es: Administrador

#### 4.2.2.3 Interfaz de Lluvias 2.15

La interfaz del programa es la que se presenta en la imagen 4.1, la cual también hace referencia al conjunto de métodos para lograr interactividad entre un usuario y el programa.

Imagen 4.1. Pantalla principal.



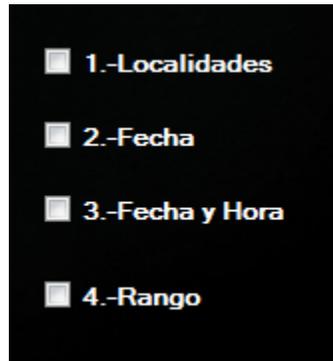
La interfaz cuenta con 6 secciones:

- 1) Pantalla de selección
- 2) Pantalla de localidades (Pluviógrafos)
- 3) Pantalla fecha corta

- 4) Pantalla fecha y hora
- 5) Pantalla rangos

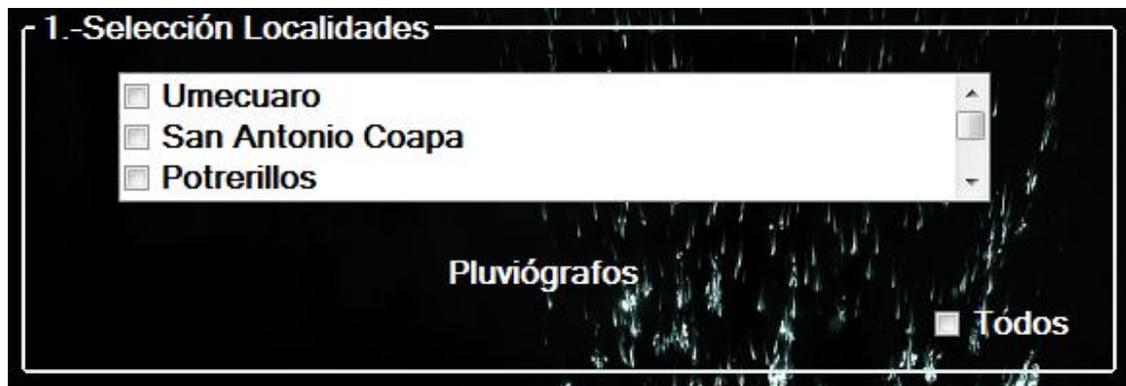
A continuación de describen cada una de ellas.

### 1) Pantalla de selección



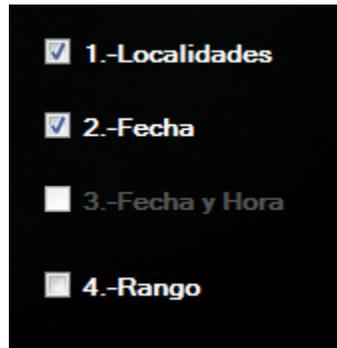
Para que el programa funcione, primeramente se deberá seleccionar la primera opción (1.- Localidades) para permitir tener acceso a la pantalla de localidades.

### 2) Pantalla de localidades

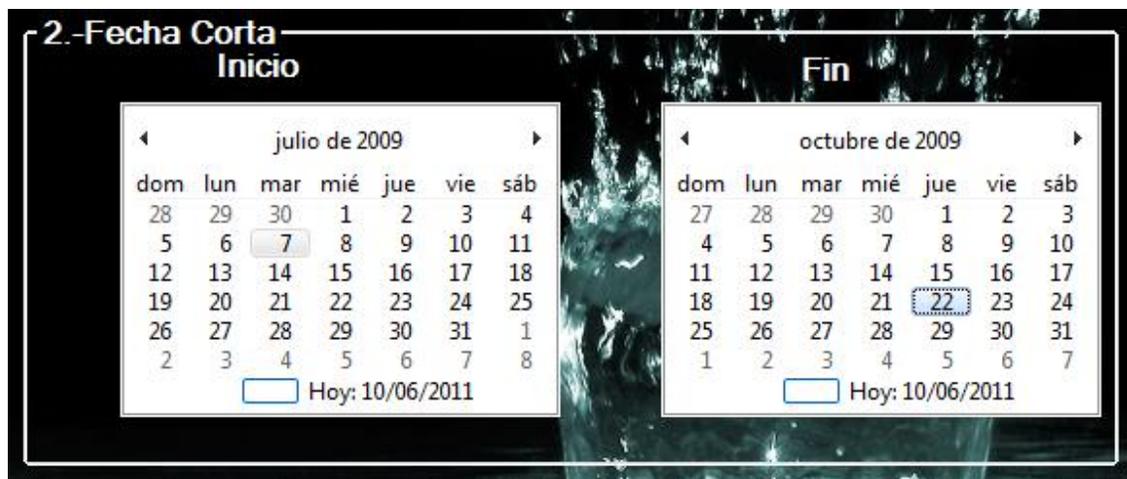


Una vez que se encuentre habilitada la pantalla de localidades se podrá seleccionar una, varias, o todas ellas según la información que se desea obtener. Después se selecciona la forma en que se quiera obtener la información; si por fecha o por fecha y hora.

Seleccionando la opción 2 de la pantalla de selección se habilita la pantalla fecha corta.

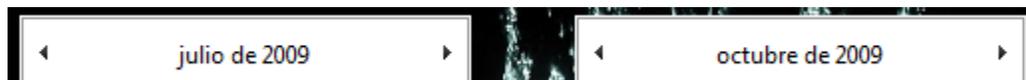


### 3) Pantalla fecha corta

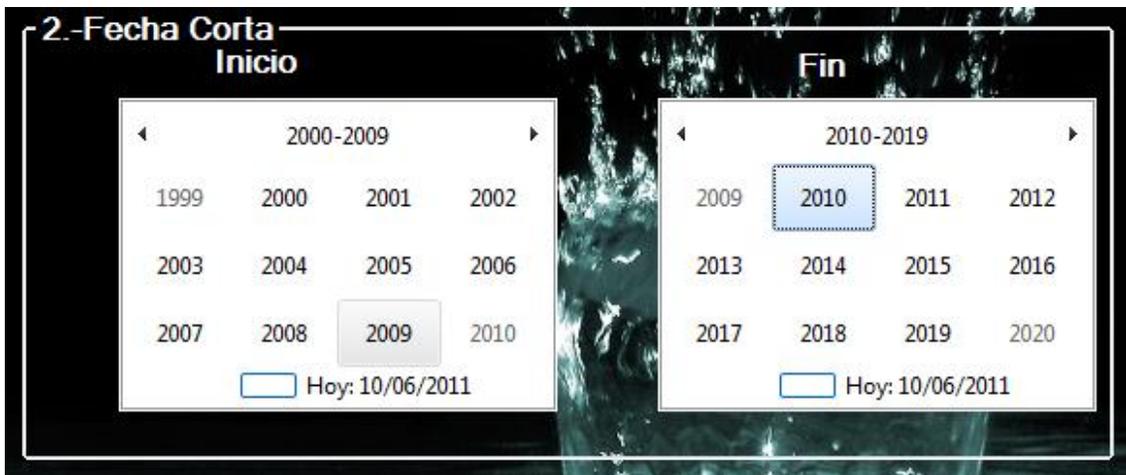


Donde con dos calendarios se podrá seleccionar el periodo que se desee.

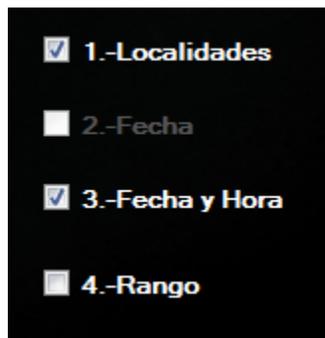
Se puede navegar con las flechas superiores para cambiar de mes.



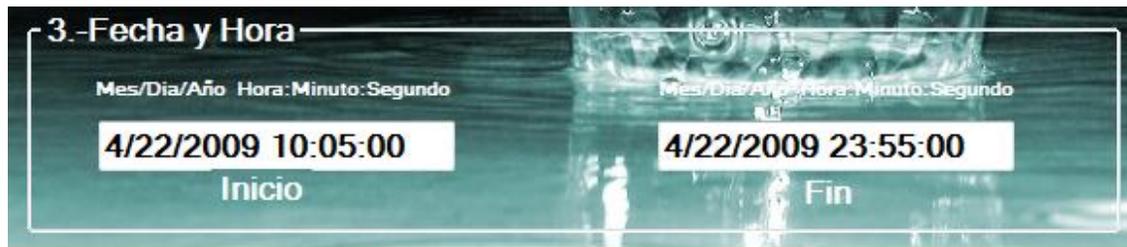
Para cambiar de mes y de año de una forma más fácil es dando click o doble click en el año, mostrándonos las siguientes ventanas respectivamente:



Seleccionando la opción 3 de la pantalla de selección se habilita la pantalla fecha y hora.



#### 4) Pantalla fecha y hora



En esta opción se podrá consultar la precipitación de un periodo más corto, lo que permite realizar reportes más específicos, es decir, con esta opción se puede generar un reporte tormenta por tormenta.

Por último, al seleccionar la opción 4 de la pantalla de selección se habilita la pantalla rangos.



La opción rango funciona tanto para fecha como para fecha y hora.

#### 5) Pantalla rango



En este cuadro de texto se puede realizar una consulta más específica, por ejemplo, se puede realizar la consulta de Umécuaro eligiendo un rango de 3 meses en Fechas, del 15 de Julio de 2009 a 15 de Octubre de 2009, pero se puede agregar que solo se muestre las lluvias con una precipitación mayor a 0.01. Usando esta opción se genera un reporte donde muestra los días donde únicamente hubo precipitación, así se puede identificar fácilmente un evento que posteriormente se podrá consultar por medio de la fecha y hora.

Después de haber realizado las limitaciones se podrá generar el reporte dando click en la siguiente imagen:

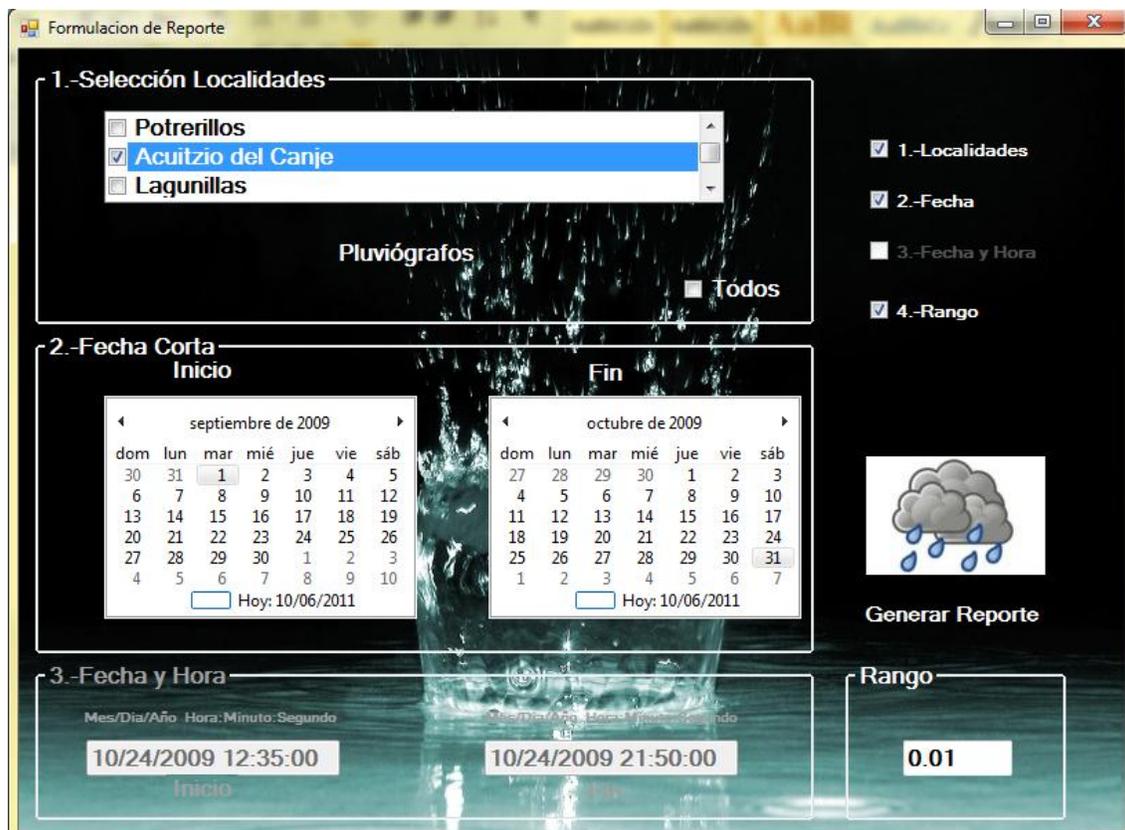


### 4.2.3 Ejemplo

#### 4.2.3.1 Consulta fecha corta

Vamos a consultar el periodo comprendido del 1° de Septiembre de 2009 al 31 de Octubre del mismo año, el cual es un periodo que se encuentran dentro de la temporada de lluvias, de la estación pluviográfica que se encuentra instalada en el Municipio de Acuitzio del Canje, además pediremos que nos muestre los valores de precipitación mayores a 0.01.

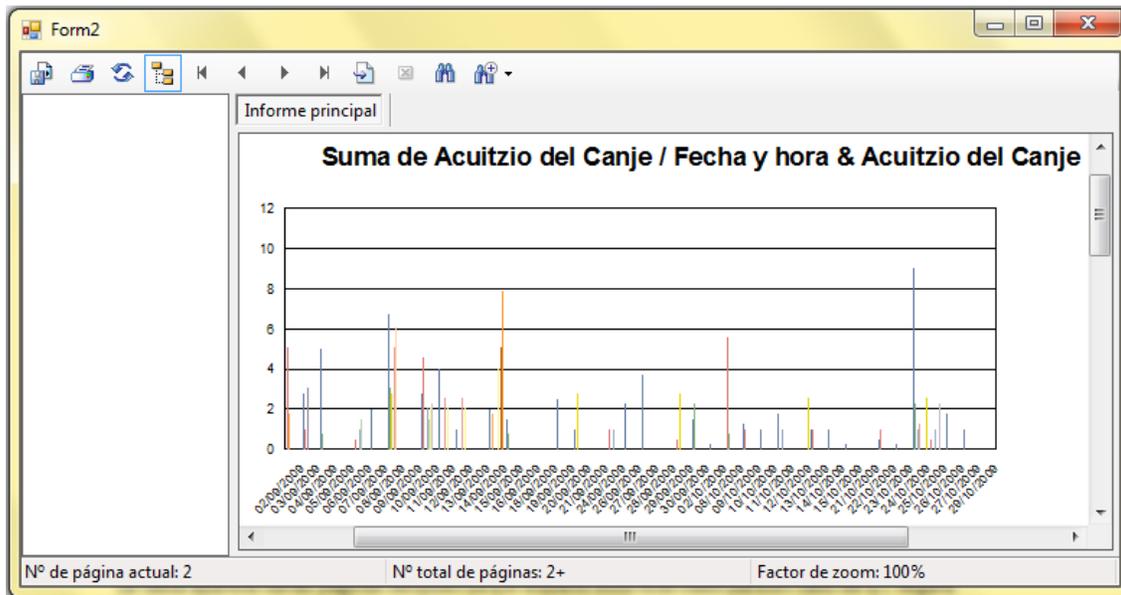
Imagen 4.2. Consulta fecha corta.



Se puede observar en la imagen 4.2 que justamente se generara el reporte con las condiciones previamente señaladas.

Al generar el reporte nos aparecen dos formularios:

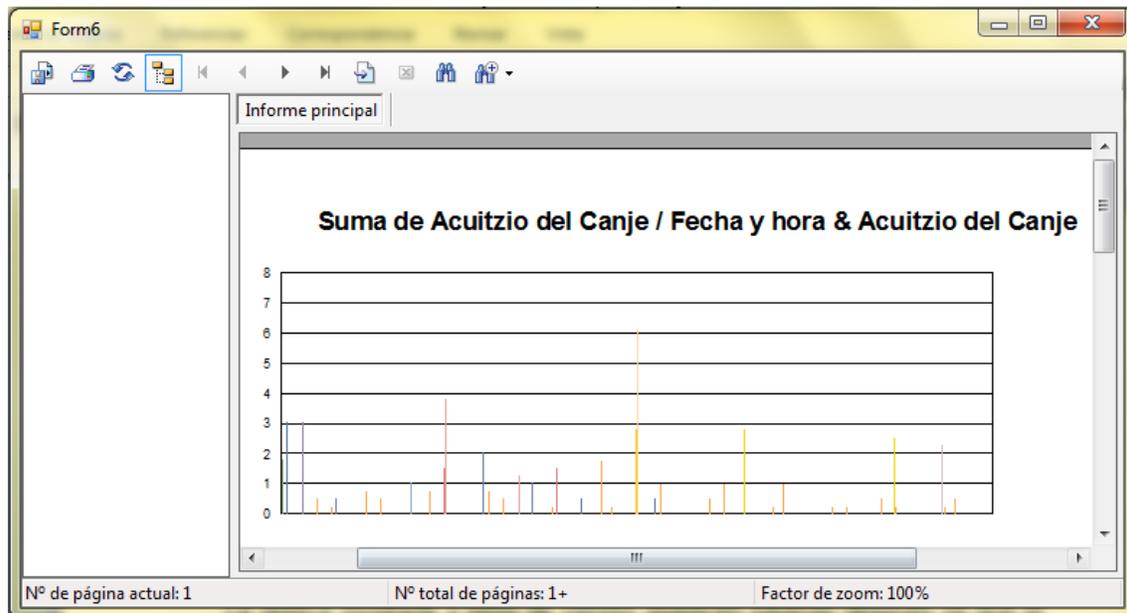
Formulario 1.



En este primer formulario nos muestra una gráfica de la precipitación diaria que se presentó en el periodo señalado, en la cual, es muy fácil identificar el día donde hubo mayor precipitación, siendo el 24 de Octubre de 2009.

La gráfica mostrada y tabla de valores aparecen páginas después ya que el espacio está reservado en caso de que se llegara a seleccionar más de una estación.

## Formulario 2.



En este formulario se muestra la gráfica de las precipitaciones por hora y en las páginas se muestra la tabla de valores al igual que en formulario 1. Esta gráfica no es muy útil para este tipo de consulta sólo para una consulta por evento.

## Elementos de la ventana del formulario



Botón exportar: este botón nos sirve para exportar el informe, puede ser a Microsoft Excel, Word o Pdf.



Botón Impresión: podemos imprimir directamente el informe.



Botón Actualizar

Botones de desplazamiento



Primer Página



Siguiente Página



Página anterior



Última Página



Ir a la página: este botón nos permite desplazarnos a una página determinada.



Botón buscar: este botón nos permite buscar una fecha especificada.



Botón zoom hasta un factor de 400 %.

En la parte inferior del formulario nos muestra el número de la página actual, el total de ellas y el factor del zoom.

Nº de página actual: 2	Nº total de páginas: 9	Factor de zoom: 100%
------------------------	------------------------	----------------------

En la parte inferior y lateral derecha del formulario están las barras de desplazamiento que permiten visualizar todo el contenido del formulario.

Todos los elementos antes descritos son útiles para el manejo eficiente de la información arrojada por el informe de la consulta.

#### 4.2.3.2 Consulta fecha y hora

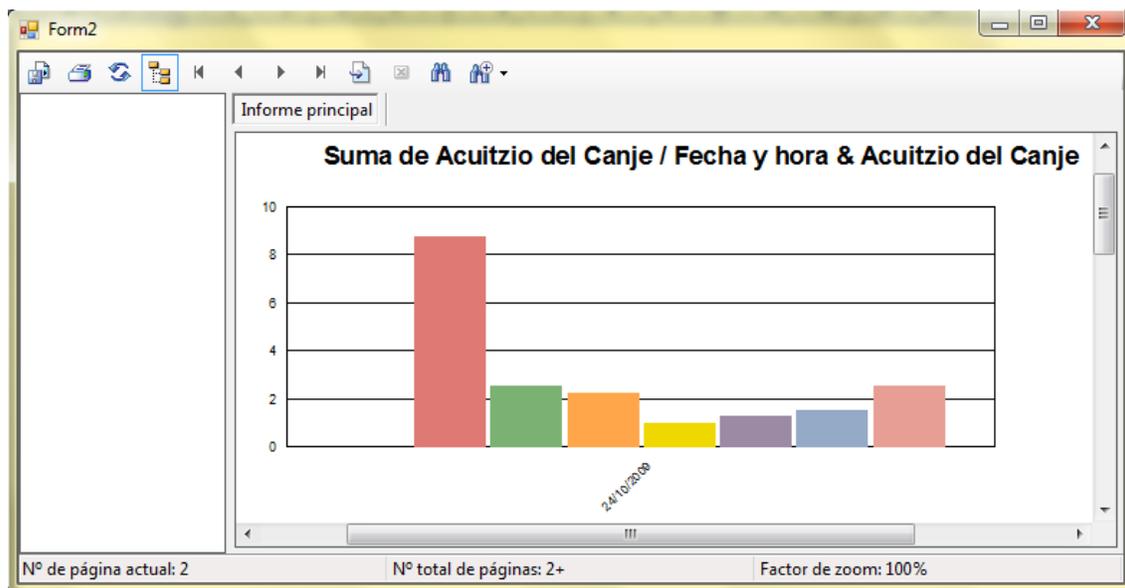
Para hacer una consulta de un evento en especial, primeramente se tiene que identificar y posteriormente hacer la consulta utilizando la pantalla fecha y hora tal y como se explicó anteriormente, para nuestro caso ya se tiene identificado el evento, el cual fue donde se presentó mayor precipitación: 24 de Octubre de 2009.

Para conocer rápidamente el inicio y fin de la tormenta nos vamos al botón buscar e ingresamos la fecha previamente seleccionada, así nos evitamos la fatiga de buscar hoja por hoja con los botones de desplazamiento, una vez encontrado el inicio y fin de la tormenta nos vamos a la interfaz e ingresamos dichos datos con el formato que se pide. En este caso puede o no usarse la pantalla rango.

Imagen 4.3. Consulta tormenta.

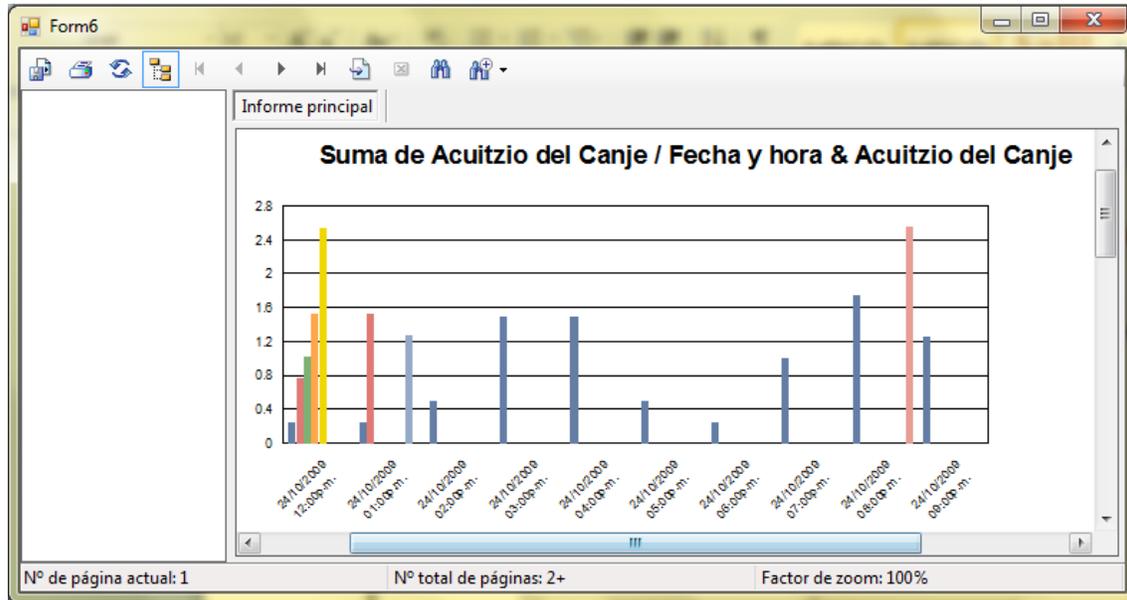
Al generar el reporte nos muestra nuevamente 2 formularios, los cuales se muestran a continuación:

Formulario 1.



La gráfica que nos muestra el formulario anterior es la precipitación que se presentó en el periodo especificado en días, se puede observar claramente el comportamiento que tuvo el evento.

Formulario 2.



En este formulario se puede observar más claramente el comportamiento de la tormenta, ya que la gráfica esta en horas y no en días como la gráfica del formulario 1.

## 5. CONCLUSIONES

La distribución espacial de la precipitación sobre cualquier territorio en general es muy variada, para predecir caudales críticos y para ingeniería de diseño de obras hidráulicas, es necesario asociar una probabilidad a lluvias máximas de diferentes duraciones. Deducir la probabilidad de ocurrencia de un evento requiere contar con registros continuos de precipitación, a partir del procesamiento de la información pluviográfica.

Se puede concluir que el desarrollo de “Lluvias 2.15” satisface todas las necesidades de administración de la información, ofreciendo todas las herramientas necesarias para almacenar, mantener, llevar registro, recuperar e interpretar sus datos, de esta manera se puede obtener información de cualquiera de las estaciones pluviográficas de una forma fácil, organizada, rápida y específica en el momento en que se desee. Además de obtener la información con las características antes mencionadas, la aplicación nos permite obtener información únicamente de los días donde hubo precipitación y no solo numérica sino también de forma gráfica.

En cuanto a la zona en estudio se puede concluir que tiene gran importancia para la ciudad de Morelia, ya que todas las corrientes de la subcuenca de Cointzio alimentan al Río Grande, el cual alimenta a la presa de Cointzio donde el agua es utilizada para uso doméstico. Las lluvias en esta zona están asociadas directamente con el volumen de la presa, cuando se presentan avenidas muy fuertes, la presa puede llegar a su máxima capacidad de almacenamiento hasta llegar a descargar por el vertedor de excedencias, provocando aguas abajo el desborde del río y así inundando las colonias aledañas. Es por ello que es importante hacer un análisis de las tormentas intensas, de corta duración, ya que pueden causar este tipo de estragos.

Por otro lado, es importante tomar medidas efectivas para disminuir y/o controlar la erosión que presenta el suelo en varias zonas de la cuenca, ya que dicho suelo es depositado en el vaso de la presa junto con todos los contaminantes tanto sólidos como líquidos que se van vertiendo a los ríos.

La subcuenca cuenta con áreas extensas de bosque de pino y encino, las cuales significan un pulmón para la Ciudad de Morelia, por lo tanto, es indispensable preservar esta zona y evitar a como dé lugar la deforestación de estos bosques, de lo contrario resultara un serio daño al hábitat, pérdida de biodiversidad y aridez, además de tener un impacto adverso en la fijación de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>).

Otra conclusión muy importante es que al hacer el trabajo me di cuenta que integrar la informática, en particular la programación ocupa un papel muy importante en la Ingeniería y áreas afines, pues facilita el manejo de información y se pueden resolver tareas de una manera muy práctica.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer una consulta estación por estación y que el periodo seleccionado no sea mayor a dos meses, de lo contrario se distorsionan las fechas que se localizan en el eje de las abscisas de la gráfica, esto, con la finalidad de tener una mejor claridad y poder identificar claramente un evento.

En caso de seleccionar más de una estación se mostraran varios formularios, de los cuales el último es el más importante, ya que muestra todas las gráficas de los periodos de las estaciones que se hayan generado, el resto de los formularios muestran sólo una gráfica, la cual, está bastante distorsionada debido a que están graficadas todas las estaciones juntas que se hayan seleccionado.

Se recomienda hacer el uso de la pantalla rango, ya que así estamos obligando al programa a que nos muestre únicamente los días donde hubo precipitación.

Es recomendable que el periodo a consultar no exceda al año.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Campos Aranda D.F. 1998. Procesos de Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Tercera Reimpresión.

Monsalve Sáenz G. Hidrología en la Ingeniería. Ed. Alfaomega, segunda edición.

Andersen V. Microsoft Office Access 2007. McGraw – Hill.

Aparicio Mijares F. J. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa, 2007.

ALLENDE, T.C.; Mendoza, M.; 2007. Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 63, 56-76.

VINSON, D.; 2008. Impact of socio-environmental modifications on the sedimentary streams of the sub watershed of Cointzio, Morelia Michoacán. Morelia, Michoacán: (Research to benefit Development -IRDin and UNAM - Vol. 1.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000.

<http://smn.cna.gob.mx/>

<http://www.inegi.org.mx/>

<http://www.cna.gob.mx/>