

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE AGRONOMIA**



**Caracterización biofísica de la Reserva Ecológica  
Municipal Sierra y Cañón de Jimulco mediante el uso de  
Sistemas de Información Geográfica**

**Por:**

**CARLOS MIGUEL RAMOS CRUZ**

**T E S I S**

**Presentada como requisito parcial para  
obtener el título de:**

**INGENIERO EN AGROECOLOGÍA**

**Torreón, Coahuila, México**

**Mayo del 2013**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Caracterización biofísica de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de  
Jimulco mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica

POR:

CARLOS MIGUEL RAMOS CRUZ

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

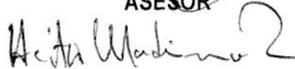
APROBADA POR:



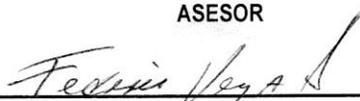
DR. JESÚS VASQUEZ ARROYO  
ASESOR PRINCIPAL



DR. JUAN ESTRADA ÁVALOS  
ASESOR



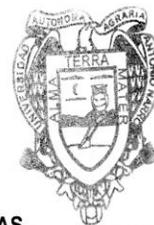
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS  
ASESOR



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO  
ASESOR SUPLENTE



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Caracterización biofísica de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de  
Jimulco mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica

POR:

CARLOS MIGUEL RAMOS CRUZ

TESIS

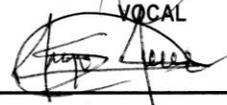
QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN AGROECOLOGÍA



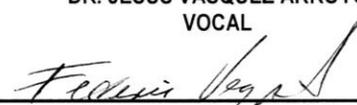
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS  
PRESIDENTE



DR. JUAN ESTRADA ÁVALOS  
VOCAL



DR. JESÚS VASQUEZ ARROYO  
VOCAL



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO  
VOCAL SUPLENTE



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DEL 2013

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a **Dios** por permitirme la vida, salud, la capacidad y el razonamiento para concluir una etapa más de mi vida.

**A mi madre:** Sr. Zita Ramos Cruz por darme la vida y gracias por todos sus sacrificios, esfuerzos y sus enseñanzas que me brindo para llegar hacer una persona de bien en la vida.

**A Juan Manuel:** por ser un ejemplo a seguir, por ser una persona que no sede ante las adversidades y ser como un padre para mí.

**A mí Tía:** Sr. Isabel Ramos, por su apoyo incondicional y por apoyarme a concluir este reto.

A mí **ALMA TERRA MATER** por brindarme la oportunidad de cumplir uno de mis más grandes sueños.

**A mis directores de tesis:** Especialmente al **Dr. Juan Estrada Ávalos**, por otorgarme la oportunidad y las herramientas necesarias para la realización de este trabajo de tesis y por brindarme la oportunidad de recorrer nuevos caminos en mi vida profesional. Y al **Dr. Jesús Vásquez Arroyo** por su apoyo en la realización de este trabajo, por incentivar me a siempre dar lo mejor de mí y por los consejos que me brindo durante mi estancia en la Universidad.

**A mis amigos y compañeros de trabajo:** Al M.C. Gerardo Delgado, M.C. Ramón Trucíos, Ing. Diego Domínguez, Ing. Alan J. Servín e Ing. Enrique Valle por las experiencias que me han compartido en el ámbito profesional y por su amistad hacia mi persona.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias **INIFAP-CENID-RASPA** por el apoyo y facilidades brindadas en el uso de sus instalaciones, principalmente en el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Agua-Suelo, a cargo del Dr. Juan Estrada Ávalos.

**Al jurado Examinador:** Al Dr. Jesús Vásquez, Al Dr. Juan Estrada Ávalos, al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, y al M.C. Federico Vega Sotelo. Por apoyarme a concluir este trabajo de investigación.

## DEDICATORIA

Primeramente a **Dios**, que me ha dado la fuerza y entereza para luchar por mis sueños y afrontar los retos impuestos en la vida de la mejor manera.

Dedicatoria especialmente a **mí Madre**: que me dio la fortaleza de nunca darme por vencido y ser mi mejor ejemplo, por inculcarme los valores fundamentales de la vida, por hacer de mí una persona de bien y un luchador en la vida.

**A Juan Manuel**: Por tu apoyo incondicional, por tus consejos y por compartirme tus conocimientos para poder enfrentar los retos de la vida.

**A mis hermanos**: Jorge Alberto y Diana Laura, por ser parte de mí vida, espero nunca cedan ante las cosas difíciles de la vida.

**A Emilia Raquel “Mí chaparrita”**: por apoyarme siempre y darme la fuerza de nunca darme por vencido, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

**A mis amigos**: Sin excluir a ninguno, pero en especial a Enrique, Gerardo, Diego, Javier, Pedrillo, Darío, por los momentos amenos en los que hemos convivido.

Y a todos aquellos que en cierto momento se han cruzado en mí camino para hacerme la vida interesante para bien o para mal.

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
OBJETIVO .....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Biodiversidad en México.....	3
2.2. Áreas Naturales Protegidas .....	8
2.2.1. Historia .....	8
2.2.2. Áreas Naturales Protegidas en México .....	9
2.2.3. Tipos y Características de las Áreas Naturales Protegidas .....	11
2.2.4. Actividades permitidas y prohibidas en las ANP .....	13
2.3. La Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco .....	14
2.3.1. Antecedentes del área.....	14
2.3.2. Objetivos de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco .....	15
2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	17
2.4.1. Breve historia de los SIG.....	17
2.4.2. Definiciones.....	18
2.4.3. Componentes del SIG .....	20
2.4.4. Construcción de una base de datos Geográficas .....	22
2.4.5. Funciones asociadas a los SIG.....	23
2.4.6. Utilidad y aplicaciones en recursos naturales de los SIG .....	28
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1. Ubicación del área de estudio .....	31
3.2. Descripción del clima .....	33
3.2.1. Temperatura.....	34
3.2.2. Precipitación.....	35
3.3. Integración del Sistema de Información Geográfica .....	37
3.3.1. Información cartográfica.....	38

3.3.2. Recopilación de información.....	40
3.3.3. Proceso de Integración.....	41
3.3.4. Digitalización de la Información .....	42
3.3.5. Adición de Atributos .....	43
3.3.6. Modelos Digitales de Elevación .....	44
3.3.7. Pendiente.....	46
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
4.1. GEOLOGÍA.....	49
4.1.1. Rocas de origen sedimentario presentes en la Reserva .....	54
4.1.3. Tipos de suelo presentes en la Reserva .....	58
4.1.4. Estructuras geológicas .....	61
4.2. EDAFOLOGÍA.....	67
4.2.1. Clases de suelos .....	67
4.2.2. Clases texturales del suelo .....	75
4.2.3. Fases del suelo.....	78
4.2.4 Clase pendiente.....	83
4.3 USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN.....	84
4.3.1 Uso del suelo.....	85
4.3.2 Agricultura.....	86
4.3.3 Actividad pecuaria .....	90
4.3.4 Tipos de Vegetación del área de estudio .....	92
4.3.5 Erosión .....	101
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>VI LITERATURA CONSULTADA.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1: Especies en riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010.....	7
Cuadro 2.2: Áreas Naturales Protegidas en México. Fuente: CONANP, 2012 .....	10
Cuadro 2.3. Actividades permitidas y restringidas en las diferentes categorías de las ANP. ....	13
Cuadro 3.1. Estaciones de clima seleccionadas para el estudio de la REMSyCJ y sus alrededores.....	34
Cuadro 3.2. Distribución mensual de la precipitación de 1980 a 2007 en cuatro estaciones climáticas. ....	37
Cuadro 3.3. Vértices de la Reserva Municipal.....	41
Cuadro 4.1. Material Geológico en el área de estudio. ....	51
Cuadro 4.2. Rocas de origen Sedimentario presentes en la Reserva.....	55
Cuadro 4.3. Rocas de origen Sedimentario presentes en la Reserva.....	58
Cuadro 4.4. Suelos presentes en la Reserva. ....	59
Cuadro 4.5. Unidades y Subunidades de suelo presentes en la Reserva.....	68
Cuadro 4.6: Clases textuales presentes en la Reserva.....	78
Cuadro 4.7: Superficie de la REMSyCJ con presencia de fase química. ....	79
Cuadro 4.8: Superficie de la REMSyCJ con presencia de fase física. ....	81
Cuadro 4.9: Superficie de la REMSyCJ con algún tipo de clase de pendiente. ...	84
Cuadro 4.10: Tipo de uso del suelo en la REMSyCJ. ....	85
Cuadro 4.11: Tipos de Agricultura presentes en la REMSyCJ. ....	87
Cuadro 4.12: Vegetación utilizada por el sistema pecuario en la REMSyCJ. ....	90
Cuadro 4.13: Tipos de vegetación presentes en la REMSyCJ.....	93
Cuadro 4.14: Superficie dañada por la erosión. ....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Países megadiversos del mundo Fuente: SEMARNAT, 2011. ....	4
Figura 2.2. Áreas Naturales Protegidas Fuente: CONANP, 2010. ....	10
Figura 2.3. Principales componentes que conforman un SIG. ....	22
Figura 2.4. Ejemplo de capas temáticas utilizadas para la construcción de un SIG. .....	23
Figura 2.5. Representación de información vectorial a través de puntos con coordenadas X y Y. ....	24
Figura 2.6. Representación de información vectorial a través de líneas. ....	25
Figura 2.7. Representación de información vectorial a través de polígonos. ....	25
Figura 2.8: Codificación de una variable cualitativa en formato raster. ....	26
Figura 2.9: Ejemplos de escalas Gráficas Fuente: Negrón <i>et al.</i> , 2007.....	28
Figura 3.1. Localización de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañon de Jimulco. ....	32
Figura 3.2. Ubicación de las estaciones de clima seleccionadas.....	32
Figura 3.3. Temperatura media de las estaciones climatológicas de CNA 5029 y 10004. ....	35
Figura 3.4. Precipitación mensual registrada por cuatro estaciones de la CNA durante el periodo de 1948 a 2007.....	36
Figura 3.5. Modelo de elevación digital en la REMSyCJ.....	46
Figura 3.6. Pendientes en la REMSyCJ. ....	48
Figura 3.7. Orientación del relieve en la REMSyCJ .....	48
Figura 4.1. Principales regiones fisiográficas de México.....	50

Figura 4.2. Material Geológico presente en la REMSyCJ. ....	53
Figura 4.3. Tipos de material geológico presentes en la REMSyCJ.....	61
Figura 4.4 Estructuras Geológicas. ....	66
Figura 4.5. Principales tipos de suelos presentes en la REMSyCJ .....	75
Figura 4.6: Clases texturales de la REMSyCJ.....	77
Figura 4.7: Fases químicas presentes en la REMSyCJ .....	80
Figura 4.8: Fases físicas presentes en la REMSyCJ .....	82
Figura 4.9: Tipos de clase pendiente en la REMSyCJ .....	83
Figura 4.10. Distribución de los principales Usos del Suelo en la Reserva. ....	86
Figura 4.11. Tipos de agricultura en la Reserva.....	89
Figura 4.12. Tipos de pastizales utilizados para el sistema pecuario en la Reserva. .....	92
Figura 4.13: Tipos de Vegetación presentes en la Reserva.....	100
Figura 4.14: Suelos con algún tipo de erosión en la Reserva .....	101

## RESUMEN

Para poder tener una caracterización específica de la Reserva Ecológica Sierra y Cañón de Jimulco ubicada en la región más extrema de la Sierra Madre Oriental dentro del Municipio de Torreón, Coahuila, se procedió a la integración de un Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante distinta información temática y de modelos digitales de elevación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), empleando para esto el programa ArcMAP® 9.3. Con dicha información se realizó un álgebra de mapas para la obtención de los distintos aspectos físicos y bióticos de la Reserva. Obteniendo como principales resultados que la Reserva está constituida en un 69.2% de rocas de origen sedimentario, de las cuales destaca la roca caliza en un 52.2%. En cuanto a la edafología se obtuvo que en la Reserva se encuentran 11 unidades y subunidades de suelos, reconocidos por INEGI, siendo el Litosol eutrico el que predomina en un 81.12%. También se determinó que existen tres importantes usos del suelo y vegetación dentro del área, que son las asociaciones especiales de vegetación, las cuales cubren el 96.7% de la superficie de la Reserva, posteriormente la agricultura con el 3.0% y con menor proporción la ganadería en el 0.3% de la superficie total de la Reserva.

Palabras clave: Reserva Ecológica, Caracterización, Conformación SIG.

## SUMMARY

To have a specific characterization on the “Reserve Ecological Sierra and Cañon of Jimulco” in the region most extreme of the “Sierra Madre Oriental” into the city of Torreón, Coahuila. We proceeded to the integration in a Geographic Information System (GIS), through several types of thematic information and digital elevation models from National Institute of Statistics and Geography (INEGI). Used for this the ArcMAP® 9.3 Software. With this information we realized an algebra maps to get different aspects physically and biologically in the Reserve. Getting as principal results that the Reserve is constituted in a 69.2% with sedimentary rocks. Being the most important the limestone with 52.2%. In regard to the edaphology we get that in the Reserve there are 11 units and subunits of soils recognized by INEGI. The eutric lithosol is the predominant with 81.2%. Also we determine that exist three important uses of soils and vegetation within area. Which are special associations of vegetation covering 0.3% and minor proportion the animal husbandry on 0.3% of the total area from the Reserve.

Words: Ecological Reserve, Characterization, GIS Conformation

## I. INTRODUCCIÓN

La Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco corresponde a la eco-región de las elevaciones mayores del Desierto Chihuahuense, ubicada en el suroeste del estado de Coahuila representa una de las islas de cielo de mayor altitud en el Norte de México, ocupando el decimoséptimo lugar de las montañas más altas del País. Dicha Reserva fue decretada por el cabildo de Torreón bajo la jurisdicción de Reserva Ecología Municipal, el 27 de junio del 2003 y representa el 45 % del Municipio de Torreón.

Esta Reserva alberga una enorme riqueza biológica que en la actualidad gran parte de ella persiste en el desconocimiento. Se puede encontrar un gran número de plantas, animales y otros seres vivos, lo que representa una extensa diversidad de especies, además de una sucesión de ambientes y paisajes.

Esta Reserva es de suma importancia su protección, conservación y el adecuado manejo de sus recursos naturales, ya que proporciona de manera local un sinfín de benéficos tales como los hidrológicos, entre otros. La extensa vegetación arbórea y arbustiva en la parte alta de la Sierra permite la captación de los escurrimientos hacia los mantos acuíferos, los cuales son contribuyentes del cauce del Río Aguanaval, además de proporcionar belleza escénica y una variedad de organismos utilizados como materia prima y alimento por los habitantes de la región.

Así, dada la importancia que tiene la Reserva para la región, en este trabajo se pretende realizar una caracterización biofísica de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco. Para ello se utilizan una serie de métodos y técnicas mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica. Se utiliza de igual forma la información cartográfica disponible para la zona de la Reserva, información de diversas fuentes y la cual es procesada para conformar el SIG con la finalidad de coadyuvar en el manejo de los recursos naturales de la Reserva.

## **OBJETIVO**

A partir de la información cartográfica disponible del INEGI, elaborar un Sistema de Información Geográfica (SIG), para la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco, que describa tanto los aspectos físicos y bióticos de la misma, utilizando para ello los SIG.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Biodiversidad en México

México es considerado biológicamente como una de las naciones con mayor número de especies animales y vegetales; ocupa el cuarto lugar entre los 17 países denominados megadiversos (Figura 2.1), que globalmente alojan alrededor del 70% de las especies del planeta, esto de acuerdo a informes presentados por distintas dependencias encargadas de la protección de la biodiversidad y del medio ambiente, entre ellas la SEMARNAT<sup>1</sup> y la CONABIO<sup>2</sup> (CONABIO, 2012; SEMARNAT, 2011a). Lo anterior es consecuencia de la diversidad de condiciones climáticas y fisiográficas que se presentan a lo largo del territorio Mexicano, lo que da albergue a una gran diversidad de ecosistemas terrestres y acuáticos. Sin embargo, una importante cantidad de especies, tanto del reino animal como vegetal que habitan estos ecosistemas, se encuentran bajo algún tipo de amenaza o riesgo, por ello es de importancia la conservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad (CONAFOR, 2010; SEMARNAT, 2010).

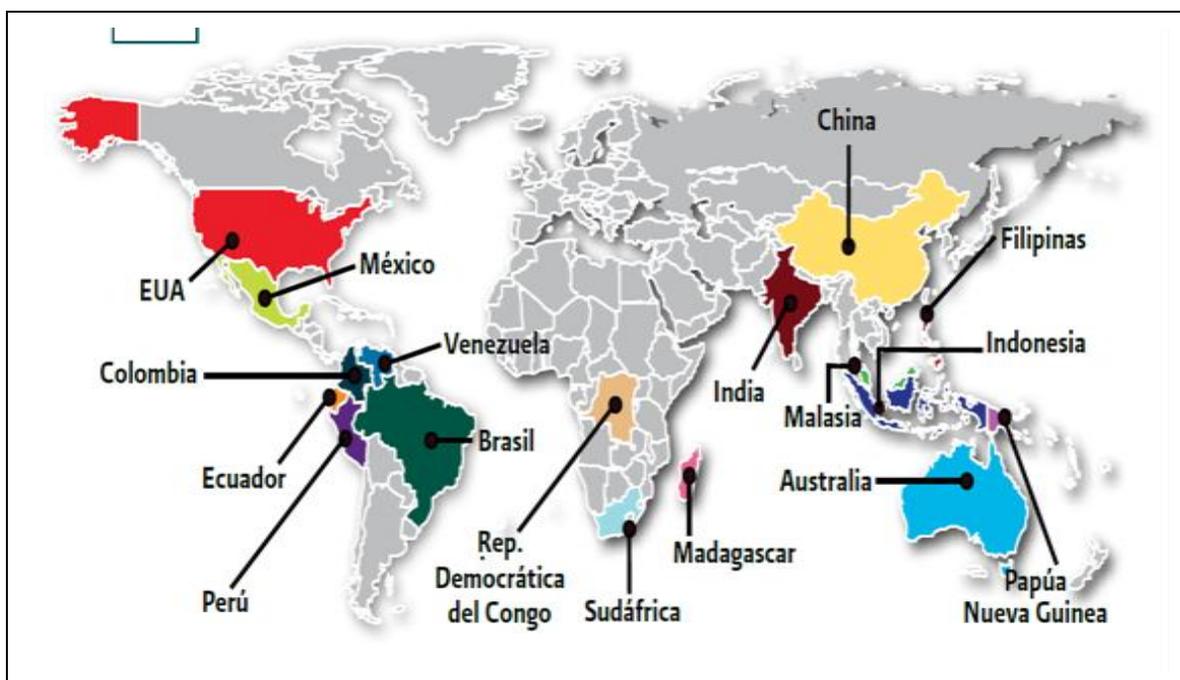
En gran medida, las actividades humanas han provocado el cambio de los ecosistemas de manera más rápida e intensa que en cualquier otro periodo de la historia, con la finalidad de satisfacer las crecientes demandas de alimento, espacio, agua y energía, entre otras necesidades. Tanto en México como en el mundo las principales amenazas a la biodiversidad son el cambio de uso del

---

<sup>1</sup>Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

<sup>2</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

suelo, el crecimiento demográfico, la construcción de infraestructura, la introducción de especies invasoras, los incendios forestales, la sobreexplotación y extracción ilícita de los recursos naturales, a lo que se viene aunar la problemática que conlleva el cambio climático global, lo que conduce a una pérdida irreversible de la biodiversidad (CONABIO et al., 2007).



**Figura 2.1. Países megadiversos del mundo Fuente: SEMARNAT, 2011.**

En México, desde la publicación de la NOM-059 en el 2001 a la última publicación en 2010, las especies en peligro de extinción han aumentado 25%. Como consecuencia de este incremento el país se reubicó del quinto al segundo lugar a nivel mundial con especies en riesgo latente (CEMDA, 2011). De acuerdo con la última actualización de la NOM-059-SEMARNAT-2010<sup>3</sup>, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 30 de diciembre del 2010, se contemplan 2,606 especies y subespecies, animales y vegetales en peligro, distribuidas en las

<sup>3</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

diferentes categorías de riesgo de extinción (Cuadro 2.1). Dentro de las especies más amenazadas con casi un millar se encuentran las plantas vasculares, siguiéndole en orden de importancia los reptiles, posteriormente las aves y los mamíferos, con mayor número de individuos dentro de alguna categoría de peligro (SEMARNAT, 2011b).

La Norma-059 establece cuatro categorías de protección:

**Extinta (E):** Especies nativas cuyos ejemplares en vida libre han desaparecido de México; solo se conoce la existencia de ejemplares vivos, ya sea en confinamiento o fuera del Territorio. Algunos ejemplos son: la foca monje del caribe (*Monachus tropicalis*), el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) y el oso grizzli (*Ursus arctos horribilis*).

**En Peligro de Extinción (P):** Especies cuya distribución o tamaño poblacional ha disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a diversos factores tales como la destrucción o modificación de su hábitat y el aprovechamiento no sustentable, entre otros. Algunos ejemplos son: el jaguar (*Panthera onca*) el perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*), el manatí del caribe (*Trichechus manatus*), el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*), el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*), la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y la tortuga marina caguama (*Caretta caretta*).

**Amenazadas (A):** Aquellas que pueden llegar a encontrarse en peligro de desaparecer en el corto o mediano plazo. Al seguir operando los factores que

inciden en su viabilidad negativamente. Algunos ejemplos: el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), la mojarra huasteca (*Cichlasoma labridens*), el bagre del Lerma (*Ictalurus dugesii*), la nauyaca de los Tuxtlas (*Atropoides olmec*), la iguana espinosa (*Ctenosaura pectinata*), el tucán pico canoa (*Ramphastos sulfuratus*), el águila real (*Aquila chrysaetos*) y el elefante marino (*Mirounga angustirostris*).

**Sujetas a Protección Especial (Pr):** Aquellas que podrían encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad. Algunos ejemplos son: el pepino de mar (*Istichopues fuscus*), el caballito de mar (*Hippocampues erectus*), el juil de cenote (*Rhamdia guatemalensis*), el sapo-boca angosta elegante (*Gastrophryne elegans*), el ajolote tigre (*Ambystoma tigrinum*), la ranade Pátzcuaro (*Rana dunnii*), la tortuga de monte payaso (*Rhinoclemmys rubida*), el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), el cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*), el perico frente naranja (*Aratinga canicularis*), el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), el guayacán (*Guaiacum sanctus*), los pinos (*Pinus attenuata* y *Pinus reflexa*), la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) y el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*).

**Cuadro 2.1: Especies en riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010.**

Clase	Categoría de Riesgo				
	Amenazadas	En Peligro de Extinción	Sujetas a Protección Especial	Extintas	Total General
Anfibios	44	7	143	-	194
Reptiles	142	27	274	-	443
Peces	80	81	30	13	204
Aves	126	95	152	19	392
Mamíferos	124	52	104	11	291
Invertebrados	12	20	17	-	49
Plantas Vasculares	338	183	452	6	979
Algas	-	-	2	-	2
Briofitas	2	-	4	-	6
Hongos	28	10	8	-	46
Total General	896	475	1,186	49	2,606

La pérdida de la biodiversidad tiene drásticos efectos negativos sobre los aspectos del bienestar humano, que van desde la seguridad alimentaria, la vulnerabilidad ante desastres naturales, la salud, la seguridad energética, el acceso al agua limpia y la libertad de elegir, entre otros (GreenFacts *et al.*, 2006). También favorece la transmisión de enfermedades infecciosas como consecuencia de la pérdida de especies de los diferentes ecosistemas, provocando un aumento de patógenos causantes de enfermedades (Keesing *et al.*, 2010). Por lo anterior, además de los servicios ambientales que la flora y fauna proporcionan, resulta de vital importancia preservar y conservar los diferentes ecosistemas y hábitat representativos del país, para con ello procurar la sustentabilidad de los recursos naturales que actualmente están enfrentando una crisis ambiental severa y una de las más grandes extinciones masivas en la historia de la tierra (Zamorano, 2009).

La creciente preocupación por la disminución de los recursos naturales ha llevado a las sociedades y a los gobiernos a promover alternativas orientadas al uso y explotación adecuados a la biodiversidad. Dichas alternativas son clasificadas en tres rubros: 1) protección y conservación de los ecosistemas naturales y su biodiversidad en áreas naturales protegidas; 2) uso sostenible y equitativo de los recursos naturales con la perspectiva de mejorar las condiciones de vida de toda la población y, 3) restauración de las áreas deterioradas (CONABIO, 2009). El establecimiento de ANP de carácter federal, estatal y/o municipal, son la mejor opción para conservar la biodiversidad como respuesta a la destrucción de los ecosistemas naturales. Estas son porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional(continentales o marinas), representativas de los diversos ecosistemas, donde el ambiente original puede no haber sido alterado significativamente por la actividad humana y que además proporcionan diversos tipos de servicios ambientales; incluso pueden albergar importantes recursos naturales o especies de importancia ecológica, económica y/o cultural(CONABIO-IMAE-UAA, 2008; SEMARNAT, 2009b).

## **2.2. Áreas Naturales Protegidas**

### **2.2.1. Historia**

En México, las Áreas Naturales Protegidas (ANP) se remontan desde antes de la llegada de los Españoles. En la región de Mesoamérica, en su esquema de producción, los mayas tenían protección estricta de ciertas zonas y periodos de descanso para áreas agrícolas. Netzahualcoyotl en el siglo XV reforestó zonas colindantes al valle de México y en el siglo XVI, Moctezuma II fundó algunos

parques zoológicos y jardines botánicos. Sin embargo, no fue sino hasta 1876 cuando se nombró la primera ANP, siendo el Bosque del Desierto de los Leones distinguido con este nombramiento bajo el contexto de protección de los recursos hídricos. Esto con la finalidad de cuidar los diversos manantiales que proveían agua a la ciudad de México en aquel entonces. Posteriormente, en 1917, esta ANP es decretada como el primer Parque Nacional en México (Yáñez-Mondragón, 2007). Esto marcó los inicios de una serie de políticas ambientales que con el paso de los años han venido implementándose en México con la finalidad de dar protección al medio ambiente y los recursos naturales.

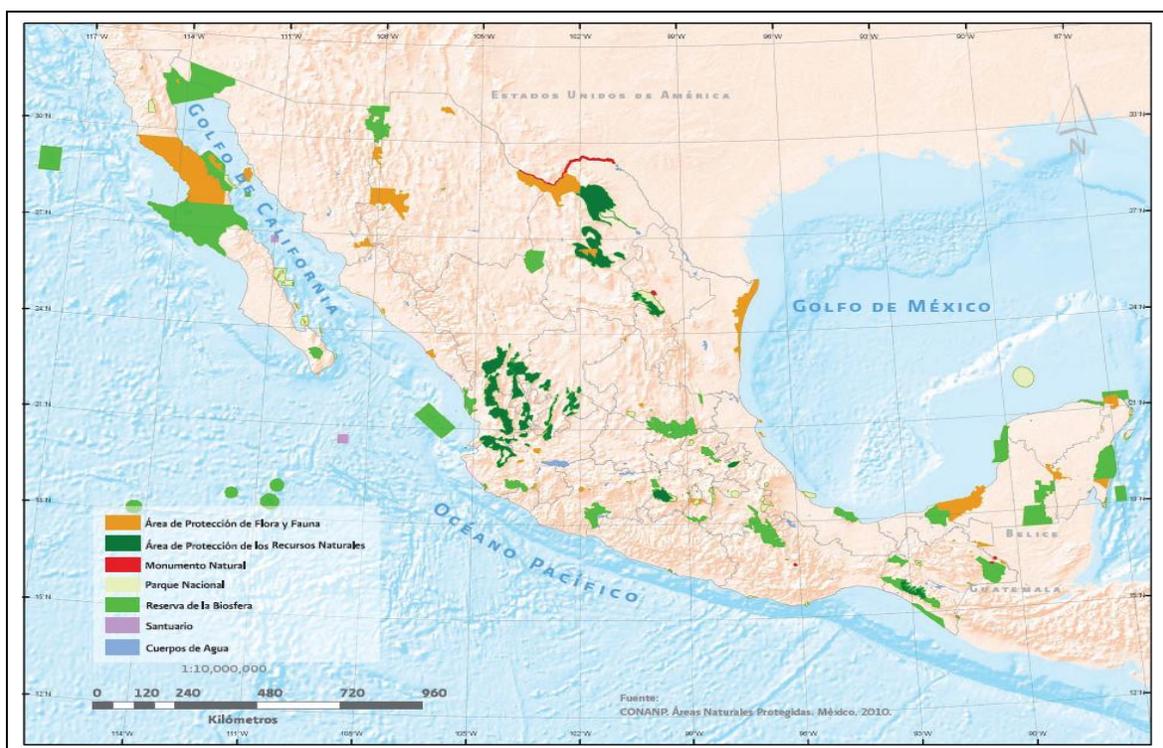
### **2.2.2. Aéreas Naturales Protegidas en México**

Desde que se decretó el Bosque del Desierto de los Leones como la primer ANP y hasta la actualidad, el número de ANP administradas por la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP) asciende a un total de 176. Éstas cubren una superficie de 25'387,972hectáreas, lo que representa alrededor del 12.9% la superficie resguardada de la jurisdicción nacional (Figura 2.2). Estas áreas naturales se clasifican en las siguientes categorías establecidas por la LGEEPA(CNA, 2011; CONANP, 2010; SEMARNAT-SNIARN-PNUD, 2010), como se muestra en el Cuadro 2.2.

**Cuadro 2.2: Áreas Naturales Protegidas en México. Fuente: CONANP, 2012**

Categoría	ANP	Superficie en hectáreas	Porcentaje de superficie del territorio nacional
Reservas de la Biosfera	41	12,652,787	6.44
Parques Nacionales	67	1,482,489	0.73
Monumentos Naturales	5	16,268	0.01
Áreas de Protección de Recursos Naturales	8	4,440,078	2.26
Áreas de Protección de Flora y Fauna	37	6,687,284	3.38
Santuarios	18	146,254	0.07
<b>TOTAL</b>	<b>176</b>	<b>25,387,972</b>	<b>12.92</b>

Para que estas ANP cumplan consus principales objetivos requieren de: 1) un decreto legal que defina sus límites y categoría; 2) un programa de manejo el cual especifique las actividades que se pueden realizar y las que están prohibidas; 3) personal que atienda y gestione las ANP; 4) infraestructura para una adecuada operación del personal y de los visitantes; y 5) suficientes recursos económicos para cubrir dichas funciones (CONABIO, 2009).



**Figura 2.2. Áreas Naturales Protegidas Fuente: CONANP, 2010.**

### **2.2.3. Tipos y Características de las Áreas Naturales Protegidas**

De acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente(LGEEPA, 1988), publicada en su última reforma en el DOF el 30 de Agosto del 2011, establece ocho categorías de manejo de las Áreas Naturales Protegidas:

**Reservas de la Biosfera:**Son áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del hombre o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

**Parques nacionales:** Se constituyen, tratándose de representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico, por la existencia de la flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo de turismo, o bien por otras razones análogas de interés general.

**Monumentos naturales:** Se establecerán en áreas que contengan uno o varios elementos naturales, consistentes en lugares u objetos naturales, que por su carácter único o excepcional, interés estético, valor histórico o científico, se resuelva incorporar a un régimen de protección absoluta. Tales monumentos no tienen la variedad de ecosistemas ni la superficie necesaria para ser incluidos en otras categorías de manejo.

**Áreas de protección de recursos naturales:** Son aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal, siempre que dichas áreas no queden comprendidas en otra de las categorías previstas en el la Ley.

**Áreas de protección de flora y fauna:** Se constituyen en lugares que contienen los hábitats de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres.

**Santuarios:** Aquellas áreas que se establecen en zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora y fauna, o por la presencia de especies subespecies o hábitat de distribución restringida. Dichas áreas abarcan cañadas, vegas, relictos, grutas, cavernas, cenotes, caletas, u otras unidades topográficas o geográficas que requieran ser preservadas o protegidas.

**Parque y Reservas Estales:** Aquellas que por su interés a nivel estatal son decretadas como parques o reservas. Ejemplo de ello es el Área Natural Protegida Sierra de Lobos, ubicada en la parte alta de la ciudad de León, en el Estado de Guanajuato.

**Zonas de conservación ecológica municipales:** Promovidas esencialmente a nivel municipal por el interés o protección de un área específica y de interés para los pobladores del municipio. En este caso se encuentra la Sierra de Jimulco, en el municipio de Torreón Coahuila, y la cual se describe en los siguientes apartados.

## 2.2.4. Actividades permitidas y prohibidas en las ANP

Si bien las áreas naturales tienen la vocación inicial de conservar los ecosistemas que en ella persisten, existen una serie de actividades o acciones que son permitidas de acuerdo a la categoría del área natural que se trate. En el Cuadro 2.3 se enlista parte de estas actividades, establecidas dentro de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y en función a la categoría del área natural que se trate.

**Cuadro 2.3. Actividades permitidas y restringidas en las diferentes categorías de las ANP.**

<b>Categoría</b>	<b>Actividades Permitidas</b>	<b>Actividades prohibidas</b>
Reservas de la Biosfera	En la zonas núcleo: Actividades de preservación de los ecosistemas y sus elementos, de investigación científica y educación ambiental. Zonas de amortiguamiento: Sólo podrán realizarse actividades productivas emprendidas por las comunidades que ahí habiten al momento de la expedición de la declaratoria respectiva (Artículo 48).	En las Zonas núcleo: I.- Verter o descargar contaminantes. II.- Interrumpir, rellenar, desecar o desviar los flujos hidráulicos. III.- Realizar actividades cinegéticas y aprovechamiento de especies de flora y fauna silvestres y extracción de tierra de monte y su cubierta vegetal. IV.- Introducir ejemplares exóticos de la vida silvestre, así como organismos genéticamente modificados (Artículo 49).
<b>Categoría</b>	<b>Actividades que pueden ser realizadas</b>	
Parques Nacionales	Actividades relacionadas con la protección de sus recursos naturales, así como la investigación, recreación, turismo y educación ecológica (Artículo, 50).	
Monumentos Naturales	Únicamente actividades relacionadas con su preservación, investigación científica, recreación y educación (Artículo 52).	
Áreas de Protección de Recursos Naturales	Actividades relacionadas con la preservación, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como la investigación, recreación, turismo y educación ecológica (Artículo 53).	
Áreas de Protección de la Flora y Fauna	Se permite la realización de actividades relacionadas con la preservación, repoblación, propagación, aclimatación, refugio, investigación y aprovechamiento sustentable de las especies mencionadas, así como la educación y difusión (Artículo 54).	
Santuarios	Sólo se permitirán actividades de investigación, recreación y educación ambiental, compatibles con la naturaleza y características del área (Artículo 55).	

....Continuación Cuadro 2.3

Parque y Reservas Estales	En función a lo establecido en las leyes estatales que dieron origen al Parque o Reserva del Estado.
Zonas de conservación ecológica municipales	En función a lo establecido en las leyes municipales que dieron origen la zona municipal.

**Fuente:** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

### **2.3. La Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco**

La Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco (REMSyCJ), es considerada como uno de los refugios naturales más importantes de la Comarca Lagunera y del estado de Coahuila (García, 2009). Se ubica en la región más extrema de Sierra Madre Oriental, donde sobresalen algunas cimas dentro del desierto Chihuahuense superiores los 3,100 msnm, dando origen a una gran diversidad de ecosistemas (Villarreal y Encina, 2005). En términos de extensión, la reserva representa el 44.7% de la superficie total del municipio de Torreón, Coahuila.

#### **2.3.1. Antecedentes del área**

Los esfuerzos de conservación se originaron en marzo del 2002, mismo año que se convocó a las autoridades de los diferentes niveles de gobierno, educativas, privadas, no gubernamentales y representantes de comunidades rurales por la Dirección de Ecología del Municipio de Torreón, ante quienes se expuso la iniciativa de ejecutar acciones para la conservación de la Sierra de Jimulco (Gov. Coahuila, 2002). Dicha iniciativa es originada por un grupo de habitantes y ejidatarios al emprender la búsqueda de apoyo y respaldo para el establecimiento de una estrategia de conservación de flora y fauna del cañón, al observar que de

ésta se extraía, de forma ilícita, la flora y fauna pertenecientes a dicha región (Briones, 2008). Así, con el apoyo de instituciones como la WWF (World Wildlife Fund), Biodeser, A. C. y XIMOLXUX, se logró realizar un estudio que dio como resultado un documento diagnóstico donde se establecen las prioridades a desarrollar dentro de la Reserva a fin de conservar sus recursos naturales (Torreón *et al.*, s/f).

El esfuerzo realizado se vio concretado en el acuerdo de declaratoria por el cabildo del Municipio de Torreón Coahuila, el 27 de junio del 2003, y publicado en la Gaceta Municipal No. 10 del mismo año. En dicho acuerdo se declara la creación de la “Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco”, que comprende de una superficie de 60, 458.26 hectáreas, las cuales forman parte de la posesión legal de los ejidos: Juan Eugenio; Jalisco; La Trinidad; Jimulco; La Flor de Jimulco; Barreal de Guadalupe; Pozo de Calvo y La Colonia, mismos que dieron su consentimiento para el acuerdo de declaratoria (Ayuntamiento Torreón, 2003).

### **2.3.2. Objetivos de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco**

Durante el proceso de su creación, y a partir de la colaboración de especialistas y de instituciones de educación superior de la región, se establecieron los siguientes objetivos a cumplir a través de la Reserva (Blanco, 2003):

- 1.- La conservación de los ecosistemas locales y de la diversidad genética de especies de flora y fauna existentes al igual que los procesos que la han permitido dicha biodiversidad.

- 2.- La protección y vigilancia de los Recursos de la Reserva, de acuerdo a las políticas y con base a los ordenamientos.
- 3.- La investigación, para realizar estudios de investigación básica y aplicada con criterios de sustentabilidad sobre el uso, aprovechamiento y alternativas de manejo de los recursos naturales.
- 4.- Promover la educación ecología para establecer las bases de conservación y el desarrollo sustentable de las comunidades que la conforman.
- 5.- La adopción de nuevas técnicas adecuadas para el aprovechamiento de los recursos naturales, como soporte de la actividad productiva y económica de las comunidades.
- 6.- La promoción del ecoturismo como forma de recreación y esparcimiento orientada a la conservación.

Como puede observarse, los objetivos planteados persiguen una serie de acciones encaminadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Reserva. En este caso, la contribución del presente trabajo de Tesis trata de coadyuvar en este sentido a partir de la conformación de un Sistema de Información Geográfica de la Reserva que contenga información sobre sus recursos naturales a través de una serie de elementos cartográficos. De esta forma, a continuación se describe la revisión de literatura sobre los Sistemas de Información Geográfica y la utilidad de éstos en la gestión de los recursos naturales.

## **2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

### **2.4.1. Breve historia de los SIG**

Para una mayor comprensión de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), es de utilidad retroceder hasta sus inicios. En este caso, se reconoce por los especialistas que la aparición de los SIG se remonta alrededor de 2,500 años, esto basado en la exploración, investigación y teorías geográficas utilizadas desde ese entonces (FAO, 2009). No obstante, no fue sino hasta los años 60 del siglo pasado que se originaron las innovaciones tecnológicas que proporcionaron el impulso al desarrollo de los SIG tal y como se conocen en la actualidad. En esos años, se creó el CGIS (*Canada Geographic Information System*), diseñado para la identificación y explotación de los recursos existentes en el territorio Canadiense. Este sistema fue desarrollado por Roger Tomlinson, considerado como el padre de los SIG modernos (Sitjar, 2009); los actuales historiadores en este tema lo consideran como el primer hito y como el primer SIG desde el punto de vista de los GIS (Buzai y Robinson, 2010).

Otro trabajo que impulsó el desarrollo de los SIG fue la planificación territorial realizada en el "*Harvard Laboratory For Computer Graphics and Spatial*", de la Universidad de Harvard (USA). Este trabajo consistió en combinar información proveniente de mapas temáticos impresos en papel, los cuales se colocaban en mesas con luz, con la finalidad de cartografiar zonas de uso acorde a distintos criterios establecidos en la planificación territorial. Para estas labores se planteó el uso de ordenadores, solidificando el sistema SYMAP (1986) fundador de los sistemas vectoriales y el GRID en ráster.

El desarrollo de los SIG se ve condicionado hasta los años 80 debido a los avances en gestión de bases de datos, entornos gráficos y computacionales. No sería sino hasta los años 90 cuando los SIG surgirían de manera más activa, extendiéndose y transformándose sus aplicaciones desde el ámbito académico, gubernamental y comercial. Hoy en día los SIG se han incorporado en Internet como un soporte de consulta de datos georeferenciados, asimismo juega un papel importante en las redes de comunicaciones y junto con la tecnología GPS (Sillero *et al.*, 2002). Ejemplo de la rápida difusión y adopción masiva es la herramienta desarrollada por la empresa Google, con sus herramientas *Google Earth* y *Google Maps*, las cuales han tenido gran aceptación en internet por la información que éstas proporcionan y la facilidad de su manejo. De igual forma, el éxito de estas herramientas es que pueden interactuar con software de SIG especializados lo que permite fácilmente difundir la información generada por los especialistas.

#### **2.4.2. Definiciones**

En relación al concepto de los SIG, existe un gran número de especialistas que proponen su definición, las cuales se basan en su diversa naturaleza y no todas ellas consensuadas. No obstante existen algunas excesivamente simples, donde se argumenta que un SIG es solo una base de datos relacionada con un software gráfico; o aquellas que mencionan que es un Sistema que permite gestionar datos alfanuméricos espacialmente localizados. En este sentido, es preciso destacar que un SIG no solo es un programa de cartografía por ordenador, ni tampoco un programa de Diseño Asistido por Computadora tipo CAD (*Computer-aided design*). La principal fortaleza de un SIG es la capacidad que se tiene para almacenar y

analizar grandes volúmenes de información temática georeferenciada, de tal modo que se puede afrontar problemas de planificación y gestión que sea de utilidad en la toma de decisiones.

Diversos autores (Alonso, 2004; Liria, 2008; Ramírez, 2005; Trucíos-Caciano *et al.*, 2010b), consideran que un Sistema de Información Geográfica (GIS de su acrónimo en Inglés), se refieren a una interacción de equipo (hardware), programas de cómputo (software), datos geográficos y personal, capaces de realizar una serie de procesos tales como: captura, almacenamiento, recuperación, transformación, análisis, modelado y procesamiento de la información geográficamente referenciada con la finalidad de solucionar problemas de planificación y gestión. Del mismo modo, el SIG se puede definir como un modelo virtual de una porción del entorno terrestre representado en un sistema de coordenadas geográficas, el cual se construye para satisfacer necesidades específicas de información (Trucíos-Caciano *et al.*, 2008).

De esta forma las diferentes definiciones pueden ser más o menos específicas en función de los objetivos que se persiguen. Gutiérrez y Gould (1994) citado por (Domínguez, 2000), recopiló una serie de definiciones asociadas a los Sistemas de Información Geográfica:

- Una base de datos computarizada que contiene información espacial, CEBRIÁN (1988).

- Un sistema que requiere de una base de datos espacial para proporcionar respuestas frente a preguntas de naturaleza geográfica, GOODCHILD (1985).
- Conjunto de procedimientos computarizados usados para tratar datos geográficamente referenciados y almacenados, ARONOFF (1989).
- Potente conjunto de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentar los datos espaciales originarios del mundo existente, BURROUGH (1986).
- Sistema de software, hardware, procedimientos planteados para realizar la captura, manipulación, almacenamiento, modelación, análisis y exposición de los datos referenciados espacialmente como respuesta a problemas complejos de planificación y gestión, NCGIA (1990).
- Sistema de Información creados para trabajar con datos georreferenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas, STAR y ESTES (1990).

### **2.4.3. Componentes del SIG**

Si bien las definiciones de los SIG son muy variadas de acuerdo a sus autores, estos mismos reconocen sus principales componentes. Como cualquier otro sistema de información, un SIG no es sólo un programa informático, sino que debe conjugar una serie de elementos que hacen posible su funcionamiento. Así, el SIG cuenta con cinco principales componentes (Figura 2.3), los cuales se describen a continuación (Cruz, 2005; PROA *et al.*, 2008):

**Hardware:** Formado por los equipos con los que el usuario interactúa directamente cuando realiza operaciones espaciales al teclear, señalar, clickear o

grabar, y que por lo general retornan información de alguna forma vía pantalla. Normalmente estaríamos hablando de equipos de escritorio como, PCs, impresoras, escáneres, servidores, equipos portátiles, GPS, etc.

**Software:** Pieza fundamental de un SIG, compuesto por los programas de cómputo que proporcionan herramientas y funciones indispensables para almacenar, analizar y visualizar la información geográfica. Un programa de cómputo o software es un gestor de bases de datos con herramientas especializadas en el manejo de la información espacial; es una aplicación informática que puede manejar datos de dos tipos: a) espaciales: entidades asociadas a una localización geográfica concreta (puntos, líneas, polígonos) o campos que representan una variable continua, y b) no espaciales: tablas que almacenan información sobre atributos no relacionados con la ubicación geográfica.

**Datos:** Posiblemente los componentes más importantes de un SIG, que representan los elementos de interés del espacio geográfico en estudio, pueden obtenerse por recursos propios o conseguirse por medio de proveedores. El SIG integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los administradores de base de datos (DBMS) más comunes para organizar, mantener y manejar los datos espaciales y toda la información geográfica.

**Recurso Humano:** La tecnología SIG es limitada si no se cuenta con personal adecuado que opere, desarrolle y administre de manera adecuada el sistema, y

que lleve a cabo los planes de desarrollo para aplicarlos a problemas del mundo real.

**Métodos o procedimientos:** Para una implementación exitosa de un SIG, se deben establecer acuerdo a un plan bien diseñado y estructurado y acorde con las reglas de la institución o empresa, que son los modelos y prácticas operativas características de cada organización.

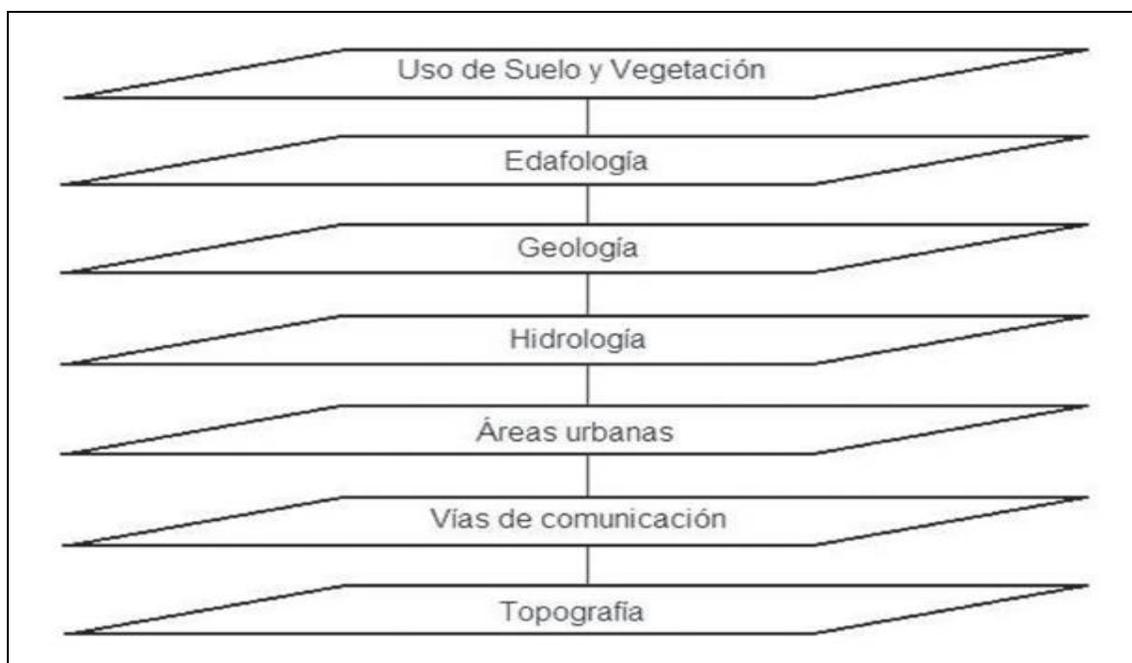


**Figura 2.3. Principales componentes que conforman un SIG.**

#### **2.4.4. Construcción de una base de datos Geográficas**

La construcción de una base de datos geográfica relaciona la capacidad de construir modelos o representaciones del mundo real a una representación simplificada que logre ser procesada por el idioma de las computadoras. Esto se logra con la aplicación de procedimientos específicos a la información inicial, la cual permite generar más información. Dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a reunir, se deben seleccionar las capas temáticas a incluir (Trucíos-Caciano *et al.*, 2010b).

Los SIG aplicados al aprovechamiento de los recursos naturales deberán incluir capas temáticas de información del área de estudio de tal forma que permitan describir las actividades a puntos administrativos y unidades de manejo ambiental, crear mapas referentes a temas específicos, examinar la base datos y desarrollar modelos dinámicos. Las capas temáticas consideradas para el trabajo de tesis constituyen la información geoespacial relevante en la gestión de los recursos naturales, Figura 2.4., (Trucíos-Caciano *et al.*, 2010a).



**Figura 2.4. Ejemplo de capas temáticas utilizadas para la construcción de un SIG.**

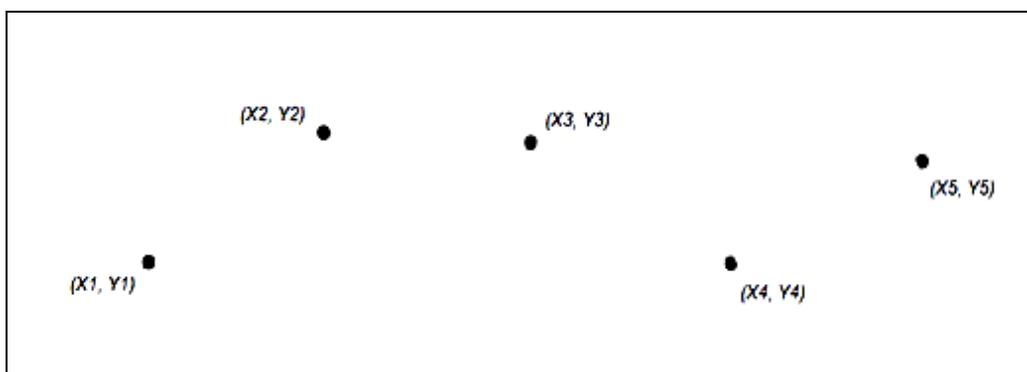
#### **2.4.5. Funciones asociadas a los SIG**

Es importante enmarcar las funciones que desempeñan los SIG. Dentro de estas funciones se puede considerar el ingreso de la información al sistema a través de un determinado procedimiento que permite convertir la información geográfica de formato analógico (impreso) a formato digital, considerando desde su edición, almacenamiento, georeferencia, etc., hasta el análisis de la información (Molina,

2001). En un SIG existen básicamente dos modelos lógicos que se conocen como formato vectorial y formato raster, y los cuales dan lugar a los dos grandes tipos de capas de información espacial: el de tipo vectorial y el de tipo raster. A continuación se detallan cada uno de estos formatos.

**Modelo Tipo Vector:** Con la representación geográfica de información vectorial, se representacualquier objeto reflejado en el espacio terrestre (construcciones, carreteras, lagos, formación geológica, etc.), los cuales pueden ser localizados a partir desus coordenadas en un determinado espacio. De esta manera, la información espacial se ordena como una lista de coordenadas asociadas a cada uno de los objetos. Estos formatos se obtienen de la digitalización o extracción de información de mapas o fotografías aéreas. Se pueden clasificar por sus dimensiones en tres tipos: puntos, líneas y polígonos(Alonso, 2004):

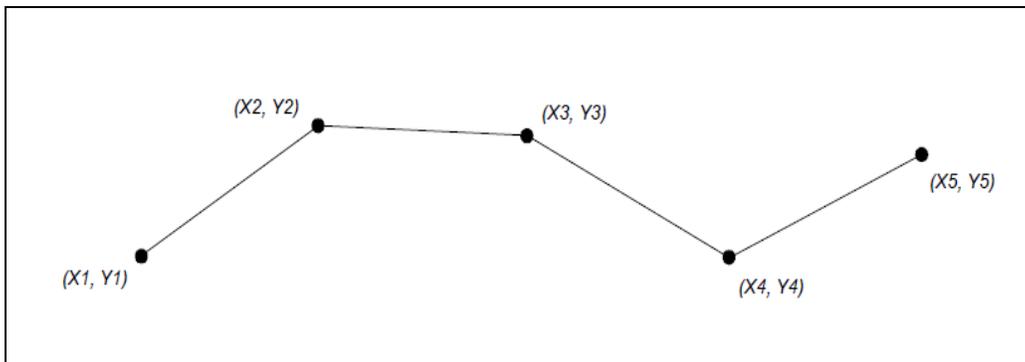
**Punto:**Objetos geométricos de cero dimensiones (Figura 2.5.), representados espacialmente sólo por un par de coordenadas (X, Y).



**Figura 2.5. Representación de información vectorial a través de puntos con coordenadas X y Y.**

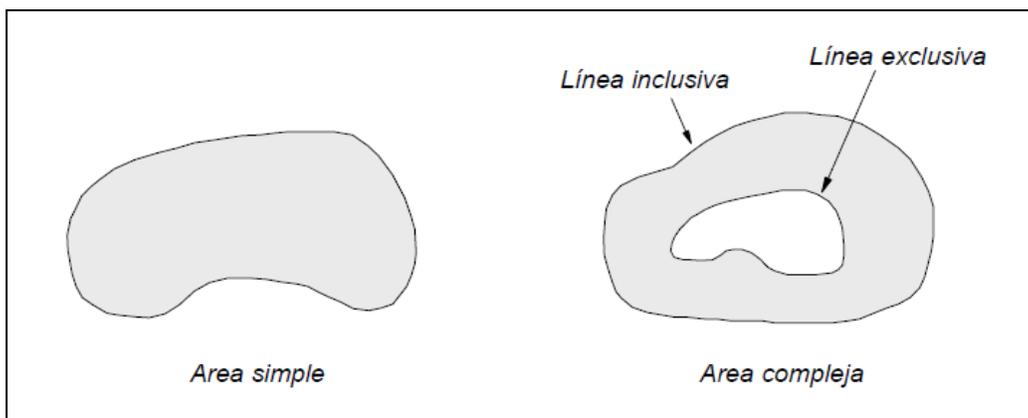
**Líneas:** Es la representación de objetos geométricos, constituida por una serie secuencial de dos o más pares distintos de coordenadas llamados vértices (Figura

2.6.). Las líneas son usadas para delimitar áreas. Junto con sus coordenadas, al igual para describir total o parcialmente la geometría de un rasgo geográfico, la línea requiere de un sentido al cual se le asocia una característica del rasgo geográfico y se considera en la entidad como un atributo.



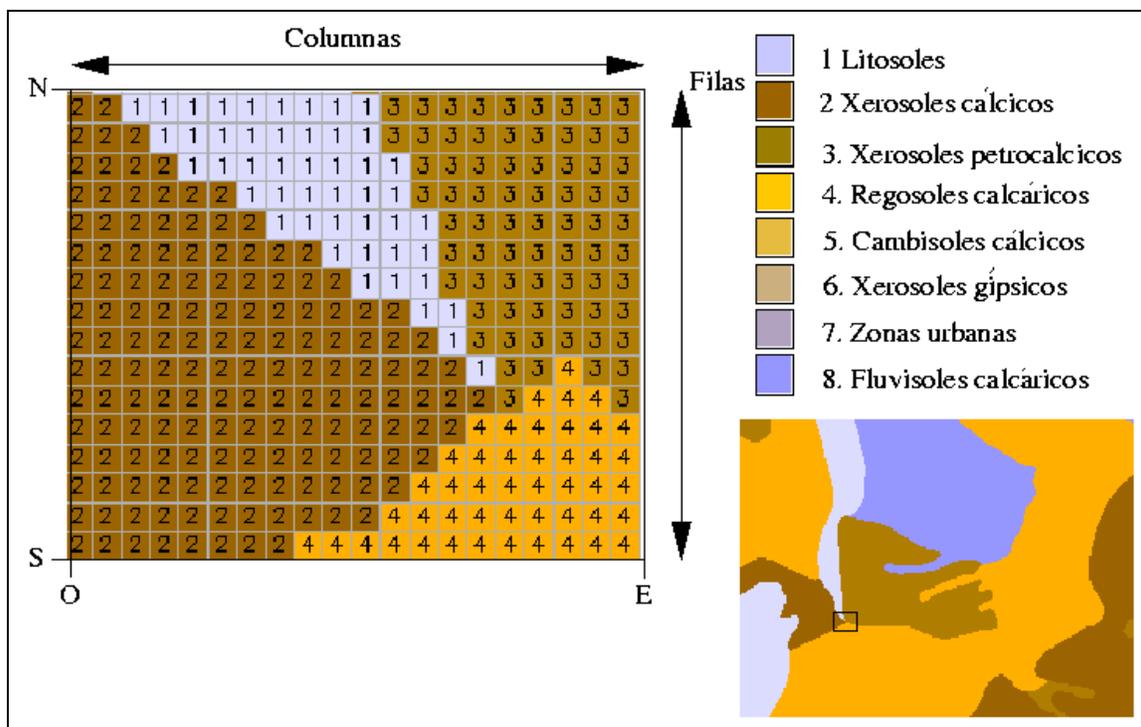
**Figura 2.6. Representación de información vectorial a través de líneas.**

**Polígonos:** Con este tipo de formato es posible la representación geométrica definida por una línea cerrada o cadena de líneas que cierran (Figura 2.7.). Un polígono o área es utilizada para describir geoméricamente una extensión o superficie que pueden ser simples o complejas. Un área compleja está conformada por líneas inclusivas y exclusivas.



**Figura 2.7. Representación de información vectorial a través de polígonos.**

**ModeloTipo Raster:**En este caso, el formato raster permite representar un determinado territorio a través de una rejilla de rectángulos regulares de igual tamaño denominados celdas o “pixeles” (Figura 2.8.). La información contiene una estructura matricial, en la que cada celda o pixel tienen un determinado valor y una localización. En este formato un punto es representado por una celda, una línea por un grupo de celdas interconectadas, y un área es representada por varias celdas adyacentes. La representación de los objetos geográficos no se consideran de forma explícita sino que estos provienen de la ordenación espacial de los valores en las rejillas. Es decir, la distinción de los pixeles contiguos del mismo valor es implícita(Guerra, 2000). Este formato representa imágenes gráficas como una matriz de celdas y se encuentra en archivos de imagen como mapas escaneados o modelos de elevación digital(Molina, 2001).



**Figura 2.8: Codificación de una variable cualitativa en formato raster.**

Por otra parte, las escalas de trabajo también son importantes ya que indican el grado de detalle de una determinada información espacial. A continuación se describe brevemente este tema.

**Escalas:** Es innegable que los planos posean dimensiones inferiores a las de la superficie que representan en la realidad, debiendo conservar una proporción invariable entre las formas representadas en el plano y las equivalentes del terreno. Es importante que estas dimensiones se expresen en la misma unidad de longitud (centímetros, pulgadas, metros etc.) al definir la escala del plano y del terreno (Urrutia, 2005). Así, la escala es definida como la relación existente entre la distancia real y la representación en el mapa, generalmente se presenta mediante escala grafica o de manera numérica. Para el último caso la notación puede ser una fracción ( $1/20,000$ ) o una relación ( $1:20,000$ ), denominada escala nominal ya que su valor no es constante en todo el plano.

Si la notación de escala es del tipo fracción, este indica lo siguiente:

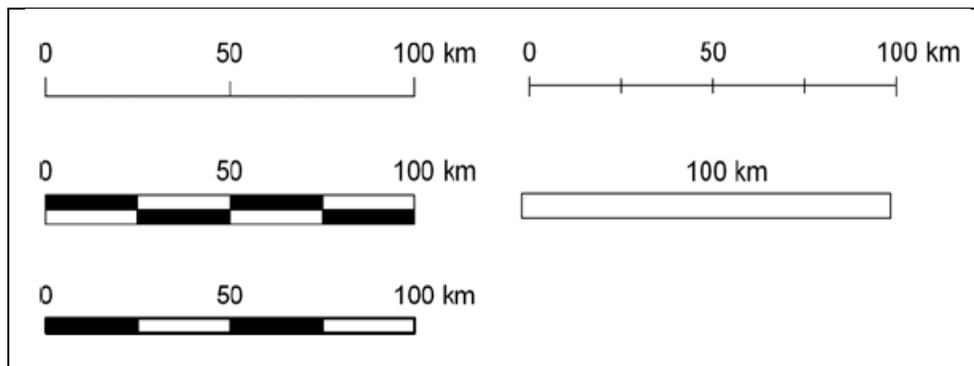
Unidades del dibujo/ Unidades del terreno

Por otra parte si la escala es relación, muestra lo siguiente:

Unidades de dibujo: Unidades del terreno

Expresado de otra manera, si la escala es  $1:20,000$ , lo que está explicando es que una unidad del plano simboliza 20,000 unidades en la realidad. De la misma manera si se obtiene una relación  $50:1$ , indica que 50 unidades del dibujo equivalen a una unidad de la realidad. En cartografía tener relaciones del primer

tipo es común, debido a que habitualmente se pretende concentrar la información a un formato manejable(INEGI, 2002), la cual se representa en forma gráfica (Figura 2.9),debido a que es más fácil de leer cuando se interpreta un determinado plano. Por otra parte, el uso solo de la escala numérica puede ocasionar errores, en relación con los procesos de fotocopiado, para saber cuál es el resultado en relación a la escala del foto copiado, escaneados es fundamental hacer una verificación con la escala gráfica, debido a que si al hacer una fotocopia de un mapa con algún porcentaje de aumento o de reducción, la escala numérica cambia, mientras que la escala gráfica también es aumentada o reducida(Negrón et al., 2007).



**Figura 2.9: Ejemplos de escalas Gráficas Fuente: Negrón et al., 2007.**

#### **2.4.6. Utilidad y aplicaciones en recursos naturales de los SIG**

En relación a la utilidad y aplicaciones de los SIG, estas son herramientas que pueden ser utilizadas en una amplia gama de condiciones, por lo que se les puede considerar multipropósito. Sus campos de aplicación son extremadamente diversos, lo que ha sido parte fundamental de su éxito. Algunas de sus aplicaciones más conocidas se relacionan con el medio ambiente y recursos naturales, la planificación, desarrollo rural, demografía, mercadotecnia,

transporte, negocios, militarización, geopolítica, servicios públicos, agricultura, entre otros(Gutiérrez Puebla, 2000).

Los trabajos de los SIG en el campo del medio ambiente y recursos naturales están enfocados en aplicaciones muy específicas y han evolucionado de manera significativa desde el establecimiento del primer GIS en Canadá, conformado para la gestión de los bosques para ayudar a su conservación y explotación. Otras de las aplicaciones de los SIG es en la detección del cambio y uso del suelo(Nájera *et al.*, 2010), en la modelación hidrológica (Fadil *et al.*, 2011; Quiñonero y Alonso, 2007), en la estimación de los recursos hídricos (Samper *et al.*, 2005), la degradación de los recursos naturales (Huete *et al.*, 2003) y los estudios de evaluación de impacto causados por los incendios forestales(Nieto *et al.*, 2008).

En México, el estado con mayor avance de estudios con aplicaciones de SIG es el estado de Guanajuato, donde el proceso de integración está relacionado con distintos temas, desde la información agropecuaria a nivel predio, incluso se conoce el tipo u origen del agua utilizada en la agricultura (presa, tratada, no tratada y subterránea). Dicho avance ha sido encausado a través de un convenio entre el gobierno del Estado de Guanajuato y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con el objetivo de coordinar las actividades que realicen las autoridades federales y estatales en temas estadísticos y geográficos, con el propósito de establecer normas y principios homogéneos (Estrada-Ávalos *et al.*, 2009). También se han desarrollado estudios sobre el aprovechamiento y manejo sustentable de sus recursos naturales, estado actual de la vegetación y el principal

uso del suelo(Trucíos-Caciano et al., 2009; Valenzuela-Núñez y Estrada-Ávalos, 2007).

A manera de conclusión, los SIG son una herramienta útil que permite coadyuvar en la gestión de los recursos naturales. Ejemplo de ello es el primer SIG de la actualidad desarrollado en Canadá para la conservación y aprovechamiento de los bosques. En el presente trabajo de tesis, el objetivo se relaciona estrechamente con el uso de los SIG y los recursos naturales presentes en la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco. La finalidad es la de conformar un SIG para la Reserva así como de presentar la metodología utilizada, tomando como base la información disponible en México y que pueda servir para trabajos futuros en esta materia.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación del área de estudio**

La Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco se ubica en el extremo suroeste del estado de Coahuila de Zaragoza, dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y correspondiente a la provincia Ecológica de las Sierras Transversales. Con una superficie de 60,458.26 ha, abarca alrededor del 45% del municipio de Torreón Coahuila, con altitudes que oscilan entre 1,150 a 3,120 msnm. Geográficamente se localiza entre los paralelo  $24^{\circ}56'18''$  y  $25^{\circ}17'52''$  de latitud norte, y entre los meridianos  $103^{\circ}30'34''$  y  $103^{\circ}05'15''$  de longitud oeste. Limita al norte con el municipio de Viesca, Coahuila, al sur con el municipio de Simón Bolívar, Durango, y al oeste con los municipios de Cuencamé y Lerdo, Durango (Figura 3.1). Se localiza a una distancia de aproximada de 75 km de la ciudad de Torreón, Coahuila (Ayuntamiento Municipal de Torreón, 2002).

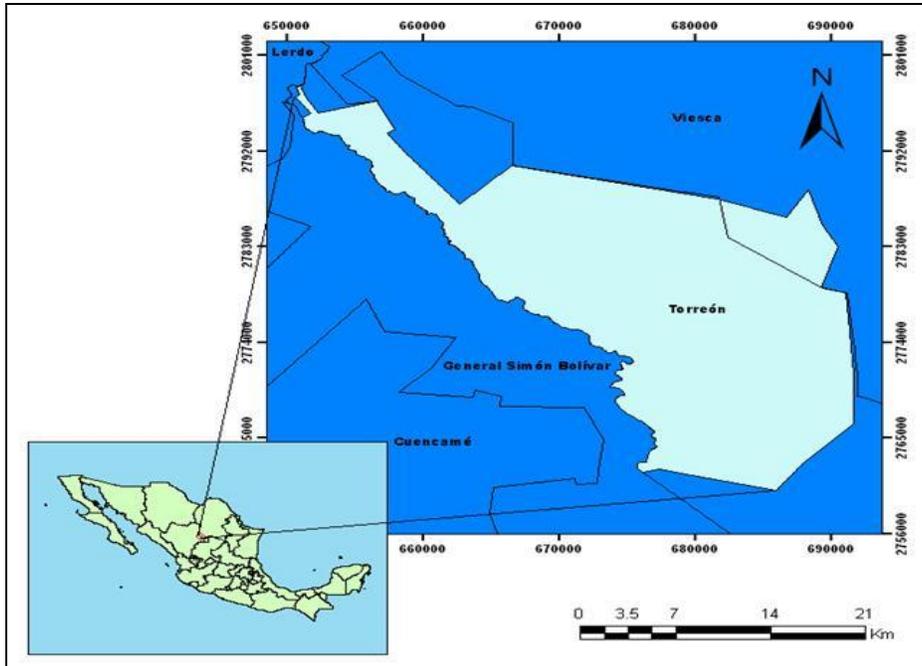


Figura 3.1. Localización de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañon de Jimulco.

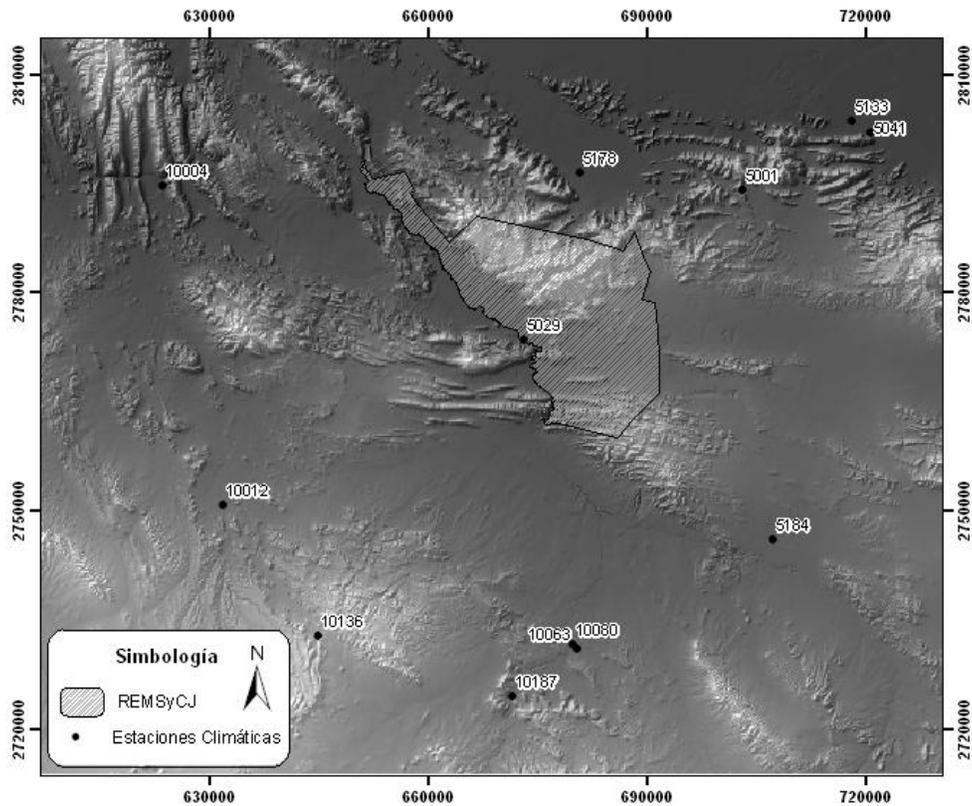


Figura 3.2. Ubicación de las estaciones de clima seleccionadas.

### **3.2. Descripción del clima**

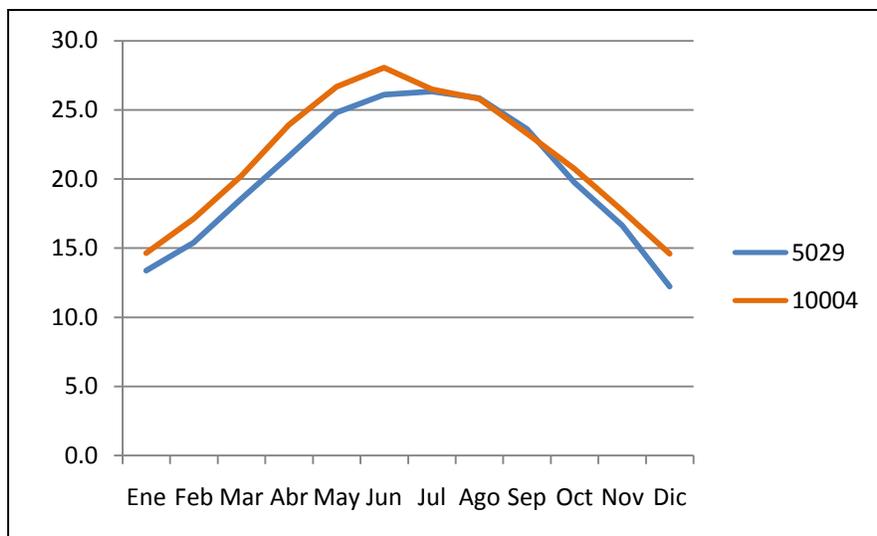
Dadas las características topográficas de la región, el clima se encuentra en estrecha relación con la elevación del terreno. Esta relación pudo corroborarse en un análisis realizado, tanto para la temperatura como la precipitación, en 12 estaciones termo-pluviométricas seleccionadas de la base de datos climáticos del ERIC III v 2.0 (Extractor Rápido de Información Climatológica; IMTA, 2009). En dicho programa se localizan datos actualizados de clima de todas las estaciones del país hasta al año 2009, así también se encuentran datos históricos de aquellas estaciones que por diversas razones dejaron de funcionar. No obstante, en dicha base de datos es frecuente que los datos obtenidos de ubicación y elevación de las diferentes estaciones no coincidan con las coordenadas y altitudes reales de las mismas, por lo que fue necesario realizar la verificación de esta información y realizar, en su caso, las correcciones pertinentes (Cuadro 3.1). Para la verificación de la elevación a la cual se ubica la estación de clima se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) del INEGI escala 1:50,000 (Figura 3.2), donde se establece un tamaño de pixel equivalente a 30 por 30 m. Este análisis se ejecutó con proyección UTM y Datum WGS84 para la zona 13 N.

**Cuadro 3.1. Estaciones de clima seleccionadas para el estudio de la REMSyCJ y sus alrededores.**

Clave	Nombre	Datos Originales			Datos Corregidos			Fechas de Observación	
		Long	Lat	Alt (m)	Long	Lat	Alt (m)	Inicial	Final
5001	AGUA NUEVA, SAN PEDRO	-102.983	25.250	338	-102.983	25.250	1,453	Dic-44	Jul-69
5029	PRESA LA FLOR, TORREON	-103.284	25.068	1,300	-103.284	25.680	1,300	Nov-63	Sep-07
5041	VIESCA, VIESCA (DGE)	-102.808	25.319	1,100	-102.808	25.319	1,100	Ene-69	Nov-06
5133	LA VENTANA, VIESCA	-102.833	25.333	1,211	-102.833	25.333	1,086	Feb-77	Mar-89
5178	TEJABAN DE LA ROSITA	-103.206	25.275	1,200	-103.206	25.275	1,172	Feb-91	Nov-06
5184	TANQUE AGUILERÉÑO, VIESCA	-102.950	24.815	1,460	-102.950	24.715	1,460	Sep-84	Jul-07
10004	CAÑÓN FERNÁNDEZ, CUANCAME	-103.774	25.265	1,200	-103.774	25.265	1,200	Feb-44	Ago-09
10012	CUENCAME, CUENCAME	-103.696	24.867	1,600	-103.696	24.867	1,583	Ene-53	Ago-09
10063	SAN BARTOLO, SAN BARTOLO	-103.217	24.683	1,687	-103.217	24.683	1,528	Mar-89	Feb-08
10080	SIMÓN BOLIVAR, SIMÓN BOLIVAR	-103.224	24.689	1,525	-103.224	24.689	1,521	Jul-91	Ene-09
10136	DOCE DE DICIEMBRE	-103.569	24.703	1,950	-103.569	24.703	1,980	Sep-77	Jul-09
10187	LOS NARANJOS, S. BOLIVAR	-103.306	24.625	1,650	-103.306	24.652	1,619	Oct-86	Abr-03

### 3.2.1. Temperatura

Al comparar las temperaturas medias mensuales de dos de las estaciones más cercanas al área de estudio y con mayor número de años de registro completos y concatenados entre sí (1964 a 1987, 1990 a 2007), éstas presentan un comportamiento similar entre sus registros mensuales. Las temperaturas de dichas estaciones (5029 Presa la Flor, Torreón y 10004 Cañón Fernández, Cuencame), varían de entre los 14°C en el mes de Enero y los 27°C en los meses de Mayo a Agosto, presentando valores ligeramente desiguales durante los meses de Enero a Junio entre estas, la estación 5029 se encuentra localizada a 1300 msnm, por arriba de la 10004 que se encuentra a 1200 msnm (Figura 3.3).



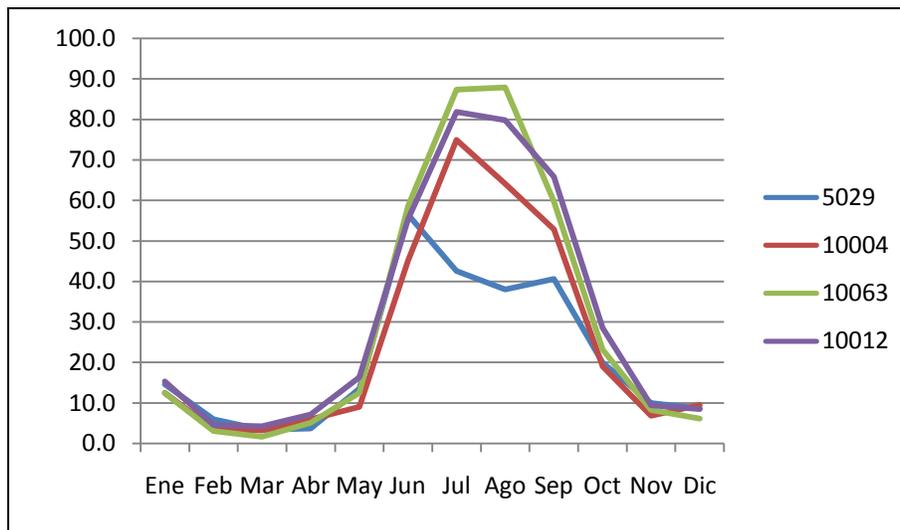
**Figura 3.3. Temperatura media de las estaciones climatológicas de CNA 5029 y 10004.**

### 3.2.2. Precipitación

En el caso de la precipitación media mensual, se consideraron cuatro de las estaciones anteriormente mencionadas, en las cuales se analizó el comportamiento de la lluvia para el periodo de 1980 a 2007, siendo la estación 10063 (San Bartolo) la más cercana a la Reserva. Los resultados de la precipitación media mensual se presentan en la siguiente Figura 3.4.

El periodo de lluvia inicia a partir del mes de Junio en las cuatro estaciones, para incrementarse en mayor proporción en el meses de Julio y Agosto, los meses de mayor precipitación, para posteriormente disminuir en Septiembre y mantenerse en valores afines hasta el mes de mayo (Figura 3.4). Sin embargo, en la estación 10063 (San Bartolo), ubicada a una altitud de 1687 msnm, la precipitación durante los meses de Julio a Agosto es superior a las tres estaciones restantes, en tanto que la estación más cercana a la Reserva, la estación 5029 (Presa la Flor), a una altitud de 1,300 msnm presenta valores muy inferiores. Por otra parte, la suma de los promedios de lluvia en las estaciones de clima, permite establecer la

precipitación media anual característica del área de estudio (Cuadro 3.2). Los valores encontrados van desde 257 hasta 376 mm, siendo el más bajo para el caso para la estación 5029 (Presa la Flor), cercana a Reserva Municipal Sierra y Cañón de Jimulco, y el segundo para la estación 10012 (Cuencame, Cuencame). Las dos restantes poseen promedios anuales de 306 y 366 mm para las estaciones 10004 y 10063 respectivamente.



**Figura 3.4. Precipitación mensual registrada por cuatro estaciones de la CNA durante el periodo de 1948 a 2007.**

**Cuadro 3.2. Distribución mensual de la precipitación de 1980 a 2007 en cuatro estaciones climáticas.**

Estación	5029	10004	10063	10012
Altitud (MSNM)	1,300	1,200	1,687	1,600
<b>Mes</b>				
Ene	14.6	12.5	12.4	15.3
Feb	6.0	3.6	3.1	4.5
Mar	3.4	3.3	1.7	4.2
Abr	3.7	6.0	5.2	7.2
May	13.5	9.1	12.5	16.3
Jun	56.5	45.1	58.6	55.4
Jul	42.6	74.9	87.3	81.8
Ago	38.0	64.0	87.9	79.8
Sep	40.6	52.9	59.7	65.8
Oct	20.0	19.0	23.2	28.5
Nov	10.1	6.9	8.3	9.4
Dic	8.7	9.5	6.1	8.5
<b>Total anual</b>	<b>257.8</b>	<b>306.7</b>	<b>366.0</b>	<b>376.8</b>

La distribución de la precipitación a lo largo del año ocurre principalmente en los meses de junio a septiembre, con porcentajes que van desde el 69 al 80% de la precipitación total anual (197 a 311 mm). En tanto que en los meses de noviembre a enero se precipita entre el 8.8 a 9.4 % (26.9 a 32.2 mm). El resto de la precipitación ocurre en los meses de febrero a abril, con porcentajes y valores ligeramente inferiores al periodo de invierno.

### **3.3. Integración del Sistema de Información Geográfica**

La conformación del SIG se desarrolló mediante los siguientes procedimientos: 1) Recopilación de información anteriormente generada, 2) Transformación digital de los mapas impresos, 3) Generación de mapas temáticos y 4) Adición de atributos a las distintas capas generadas.

La proyección que se utilizó para la integración del SIG fue Universal Transversal de Mercator (UTM), con datum WGS84 (*World Geodetic System 84*), que significa Sistema Geodésico Mundial 1984. La construcción de la base de datos del SIG se realizó en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Agua y Suelo, con sede en el CENID RASPA perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con sede en Gómez Palacio Durango.

### **3.3.1. Información cartográfica**

Se utilizó la información cartográfica disponible escala 1:50,000 en sus diferentes temas para el área de estudio. A esta escala, se cubre una superficie de 1000 km<sup>2</sup> por carta, siendo necesarias cuatro cartas para cubrir el área total de la Reserva.

La **carta geológica** contiene los tipos de rocas que afloran en la superficie, con especial hincapié en las variaciones que presentan y en las estructuras de dichas formaciones rocosas. Se señalan las minas, catas y bancos de material, así como el producto que de ellos se extrae. También se señalan los pozos, las norias y los manantiales (INEGI, 2005a).

La **carta edafológica** indica la distribución geográfica de los suelos del país, clasificados de acuerdo con la leyenda de Clasificación de suelo FAO/UNESCO 1968 y modificado por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) en 1970. Dichas modificaciones consisten básicamente, en agregar nuevas subunidades que se han encontrado en el país y que no son consideradas en la clave original de la FAO, en la castellanización de algunos nombres y en la consideración del sistema climático modificado por Enriqueta García. Esta carta

presenta fase física: señalan la presencia de los fragmentos de roca y de materiales cementados, que limitan o impiden el uso agrícola del suelo así como el empleo de maquinaria agrícola entre otros aspectos este se divide en fases superficiales como pedregosa y gravosa y de profundidades como fase lítica y lítica profunda. Otra de las fases que presenta la carta es la química que se describe la presencia de sales solubles en el suelo, las cuales limitan o impiden el crecimiento de los cultivos. Comprenden la fase salina y sódica del suelo. También es descrita la clase textural, esta indica el tamaño general de las partículas que constituyen el suelo (INEGI, 2001, 2004, 2009a).

La **carta uso de suelo y vegetación** describe: la actividad agrícola, pecuaria y forestal, la vegetación natural e inducida, áreas sin vegetación aparente y erosión. Dentro de la agricultura se describen los distintos tipos como la de temporal, riego, humedad, nómada y de riego suspendido así como también se describen los distintos cultivos establecidos, desde anuales, semipermanentes y permanentes. Para la actividad pecuaria se indica los tipos de ganado que se explotan en las distintas comunidades vegetales del país tales como bovino, ovino, caprino, equino. En el caso de la actividad forestal se indica el tipo de uso forestal que se explota en las diferentes comunidades vegetales, como maderas, resinas, látex, ceras, fibras, recolecciones de frutos, semillas, rizomas, taninos, hojas y artesanía. En cuanto a la vegetación natural e inducida se subdivide en pastizales, bosques, selvas, matorrales, y otros tipos de vegetación. Las áreas sin vegetación aparente son incluidas bajo el rubro de eriales, depósitos litorales, jales, dunas y bancos de ríos que se encuentran desprovistos de vegetación o que no es aparente, por

ultimo para la erosión la degradación del suelo por desgaste del mismo es considerada únicamente a los procesos de erosión por las actividades humanas (INEGI, 2005c).

La **carta topográfica** representa la concentración gráfica del inventario de la infraestructura, orografía, hidrografía y de la población del país, así como de su distribución geográfica; en ellas se resguardan fielmente todos estos factores y las relaciones que guardan entre sí (INEGI, 2005b).

Para cada uno de los mapas temáticos (geología, edafología, uso de suelo y vegetación y topográfica), se requirió de las siguientes cartas: Nazareno (G13D35), Jimulco (G13D45), La flor de Jimulco (G13D46) y Oriente Aguanaval (G13D56).

### **3.3.2. Recopilación de información**

A partir de los decretos de la formación de la Reserva así como de anexos técnicos elaborados por especialistas donde se señalan sus vértices (Cuadro 3.3), se estableció su límite utilizando los vértices de la poligonal en coordenadas geográficas con proyección NAD 27. Estos vértices se integraron al SIG con la misma proyección en el software ArcGIS® 9.3, para posteriormente volver a proyectarse en datum WGS´84. Una vez realizado este proceso para cada uno de los vértices, se transformaron en polígono y se creó el Shapefile correspondiente al área de influencia de la Reserva. La poligonal resultante se utilizó en este estudio.

**Cuadro 3.3. Vértices de la Reserva Municipal.**

Vértice	Coordenadas		Vértice	Coordenadas	
N	X	Y	N	X	Y
1	651277.8800	2795024.5000	21	656657.2121	2796542.5043
2	651770.4257	2795408.9460	22	657972.9563	2793892.1162
3	650574.2446	2796944.3255	23	657424.1398	2793556.5618
4	650892.3474	2797174.3046	24	658619.6632	2791841.1892
5	650845.5941	2797602.0873	25	662743.0070	2786886.6815
6	650804.2668	2797645.2810	26	666568.9884	2790488.2536
7	650805.7060	2797650.1112	27	681715.8748	2787321.3097
8	650738.7207	2797683.7114	28	686721.8885	2785579.9088
9	650724.6527	2797754.1503	29	688316.9376	2788196.1837
10	650720.7911	2797824.3573	30	689440.5001	2784877.7499
11	650717.4373	2797870.0590	31	690525.7120	2782884.3884
12	650718.4420	2797920.6091	32	689309.5937	2779021.4123
13	650846.8416	2797926.6137	33	691097.8762	2778493.5938
14	651216.0787	2798057.1136	34	691409.8029	2774801.2862
15	651124.6873	2797916.9819	35	691735.6052	2770743.0833
16	651104.1274	2797798.3402	36	691691.1611	2766143.4980
17	651131.3923	2797691.8759	37	688080.7400	2762492.2734
18	651573.0409	2796548.8846	38	685955.3392	2759898.4159
19	651629.2061	2796469.2481	39	677405.6641	2761886.7205
20	652375.1486	2795464.6729	40	675553.8006	2761485.9669

Fuente: Blanco, 2003.

### 3.3.3. Proceso de Integración

Para pasar de un formato impreso a un formato digital, es necesario seguir un proceso para evitar la distorsión de las imágenes o mapas temáticos del INEGI escaneados. En este caso, la imagen escaneada se rectifica a través de su georeferencia tomando como base el sistema de proyección específico del SIG. En este proceso de rectificación, a cada pixel de la imagen se le proporciona una coordenada, la cual se estima con referencia a un mapa o imagen mediante un ajuste de modelo matemático. Una vez corregida la imagen y georreferenciada puede ser utilizada como mapa base para su digitalización en pantalla o para un

análisis posterior con sistemas de información geográfica. En casos donde la cuadrícula conformada por píxeles de una imagen es cambiada para ajustarse a un sistema de proyección o a una imagen de referencia, es recomendable realizar una rectificación. La rectificación de una imagen sigue diferentes objetivos: cuando se realizan comparaciones de imágenes tipo escena-escena; cuando se ejecuta una base de datos para su posterior en un sistema tipo GIS; en la caracterización de áreas de entrenamiento al clasificar imágenes; para la sobreposición de datos vectoriales tipo ARC/INFO o ARC/View sobre una escena; al comparar imágenes en diferentes escalas; en la determinación precisa de áreas y distancias y para la creación de mosaicos con imágenes procedentes de distintas áreas (Saucedo, 2011).

En esta actividad los mapas impresos (imagen en papel) se transformaron en formato digital (Imagen digital), mediante un escáner con calidad de 400-600 dpi (píxeles por pulgada) con formato tiff. Una vez escaneados se procedió a la georreferenciación, donde se les colocaron 16 puntos de control en cada una de las cartas para poder realizar la georreferenciación con base al sistema de coordenadas UTM, y la proyección WGS84 zona 13. Este procedimiento se realizó con el software ArcGis® versión 9.3 y la herramienta Georeferencing (Glennon *et al.*, 2004).

#### **3.3.4. Digitalización de la Información**

El proceso de la digitalización permite que cualquier señal de entrada continua (analógica), como una imagen o un sonido, sea transformada en una serie de valores numéricos. En esta conversión se utilizan convertidores análogos digitales.

En nuestro caso, es de interés referirnos a la digitalización de objetos espaciales, mediante una tabla digitalizadora o en su caso directamente a partir la pantalla del ordenador. Esta digitalización se basa en dibujar los distintos objetos espaciales (puntos, líneas y polígonos) característicos de una capa o layer determinado, en el cual se captan sus coordenadas geográficas y posteriormente se les asignan los atributos o las variables de interés antes designadas. En esta operación se utiliza el formato <<shapefile>>, con extensión <<shp>>, para dar origen a un mosaico digital, el cual está ligado a una base de datos que permitirá que esta información pueda ser leída, interpretada y analizada mediante distintos programas, entre ellos ArcMap y Excel (Saucedo, 2011).

Los mapas temáticos fueron digitalizados con forme a los atributos contenidos sobre la misma carta, seleccionados con anterioridad. Para obtener las diferentes capas utilizadas en la conformación del SIG, se procedió a la digitalización de las distintas cartas obtenidas del INEGI, para posteriormente poder realizar la interpretación visual de las diferentes actividades realizadas de forma digital. Se emplearon un total de 16 cartas (4 por cada tema), que se digitalizaron por separado y posteriormente se agruparon en un solo mosaico que cubriera el área de estudio.

### **3.3.5. Adición de Atributos**

Los mapas, capas o imágenes digitales deben contar con información de origen y de las distintas modificaciones que se hayan realizado, debido a que éstas pueden ser distintas a las de origen o incluso haber sido modificadas un sin número de veces, por este motivo es necesario contar con metadatos que contengan la

información requerida como: Fuente de información, fechas, ubicación espacial, origen e información de contacto entre otras (Harlow y Vienneau, 2003).

Para el caso del estudio se creó el tema uso del suelo y vegetación, al cual se añadieron los siguientes atributos: uso del suelo, cultivo, condición, especie forestal, tipo de uso, clave y superficie. Para el caso del tema de geología, se añadieron los atributos de: clave, roca A, roca B, asociación a, asociación b y la superficie utilizada por cada una de las áreas digitalizadas. En el tema de la Edafología, se crearon los atributos de: suelo predominante, clase de textura, clave, suelo sección 1, 2 y 3, clase de pendiente, fases físicas y químicas del suelo y la superficie. Para el tema de la topografía, el atributo asignado fueron los ríos (nombre, tipo de corriente, origen) y longitud en metros, para los canales se determinaron los atributos de nombre y longitud en metros.

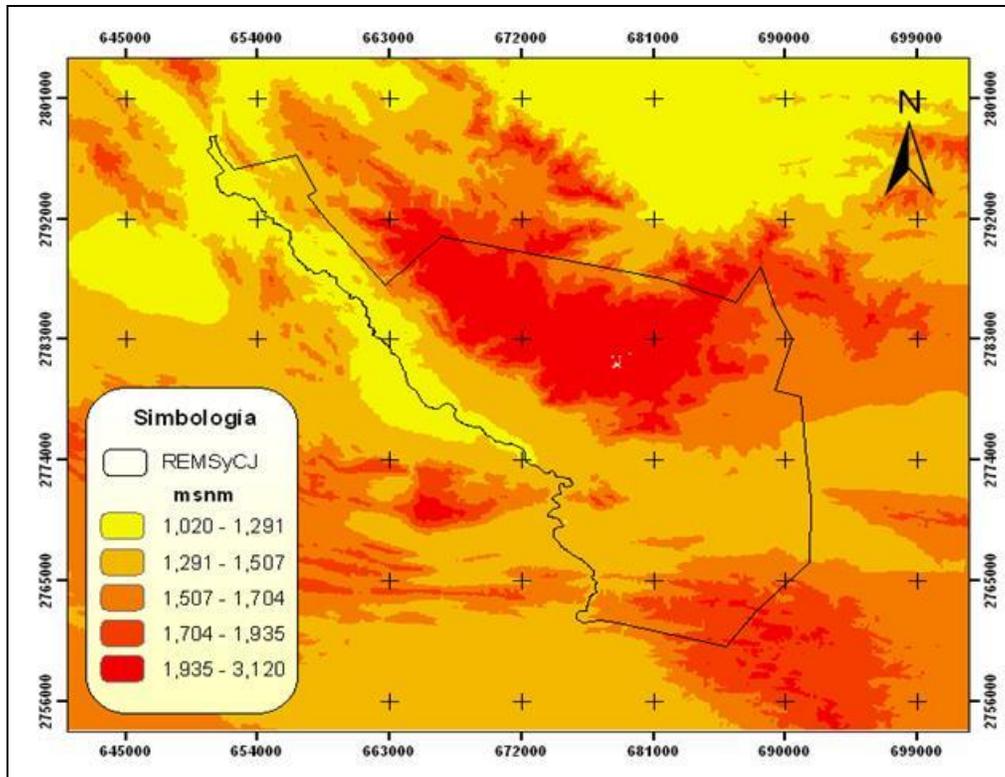
A cada uno de los polígonos y líneas digitalizados se determinaron sus características, es decir el área de los polígonos y la longitud de las líneas. Así, se pudo contar con información del área de estudio, la superficie utilizada por cada tipo de vegetación, uso del suelo y vegetación, edafología, geología, la longitud de los canales de riego y la hidrología superficial.

### **3.3.6. Modelos Digitales de Elevación**

Por otra parte, el relieve del terreno se integró a partir del modelo digital de elevación (MDE). Este constituye una representación visual y matemática de los valores de altura respecto al nivel del mar, que permiten caracterizar las distintas formas del relieve y de los elementos u objetos presentes en el mismo. Existen dos cualidades esenciales en estos modelos, asociadas a la exactitud y la

resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían en función del método empleado en su generación. Estos modelos son ampliamente utilizados en aplicaciones relacionadas con el uso y manejo de los recursos naturales, dentro de las cuales se pueden distinguir grandes categorías de aplicaciones que utilizan los modelos como son la geodesia y la fotogrametría, ingeniería civil, planeación y manejo de recursos naturales, ciencias de la tierra, en aplicaciones militares, cartografía especializada, prevención y atención a desastres naturales, entre otras (INEGI, 2011).

El MDE que se utilizó en el área de estudio fue adquirido de la página del INEGI. Se conformó en base al área de las cartas G13D34, G13D35, G13G36, G13G37, G13D44, G13D45, G13D46, G13D47, G13D54, G13G55, G13D56, G13D57, G13D64, G13D65, G13D66 y G13D67. Una vez que se obtuvieron todas las cartas se proyectaron en ArcGIS®9.3, después los modelos fueron recortados en sus bordes debido a que en los metadatos proporcionados por el INEGI indican que cada carta cuenta con un área de confiabilidad. Posterior al recorte se integró un mosaico que cubriera el área total de interés a una sola imagen del MDE (Figura 3.5). Este producto es generado por el INEGI basándose en las curvas de nivel de la carta topográfica 1:50,000 y con un intervalo de 50 m entre ellas (Trucíos-Caciano et al., 2010c).



**Figura 3.5. Modelo de elevación digital en la REMSyCJ**

### 3.3.7. Pendiente

A partir de los MDE se determinaron una serie de características del terreno que permiten su mejor caracterización. Una de estas características fue la determinación de la pendiente, la elevación y el aspecto orográfico. Para poder determinarlos se utilizaron los MDE junto con la extensión SpatialAnalyst de ArcGIS® 9.3.

Para el caso de la pendiente se consideró que el 100 por ciento es una pendiente donde se avanzan 100 metros y sube en altura 100 metros. La inclinación del terreno constituye un factor fundamental que controla o interviene en la sensibilidad ambiental. La pendiente está relacionada con la morfología y dinámica de las distintas formas del relieve; prácticamente cada una de ellas tiene un umbral límite que las clasifica o jerarquiza dependiendo de su geometría; es decir,

la pendiente establece un factor que favorece la restricción de los procesos y tipos de formas que se encuentran en el terreno (Oropeza-Orozco, 2010).

El rango de elevación dentro del área de estudio va desde los 1,197 msnm hasta los 3,120 msnm (Figura 3.5), y de acuerdo a los rangos observados en el relieve, se definieron las siguientes seis categorías de pendiente: plana ( $0^{\circ}$  a  $1^{\circ}$ ), ligeramente suave ( $1^{\circ}$  a  $2^{\circ}$ ), suave ( $2^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ ), ligeramente moderada ( $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ), moderada ( $15^{\circ}$  a  $22^{\circ}$ ) y fuerte (Mayor a  $22^{\circ}$ ), como se muestra en el mapa de la Figura 3.6. Respecto a esta figura podemos observar que en la Reserva se encuentran pocas áreas con pendiente plana, la pendiente que predomina en el área es mayor al  $22^{\circ}$  debido a que en la Reserva está constituida en gran parte por serranías.

Para determinar el aspecto o la orientación del relieve de la Reserva, se utilizó la extensión SpatialAnalyst de ArcGIS<sup>®</sup> 9.3 con los MDE, tomando como referencia el Norte y a partir de él se fueron dando los valores en sentido de las manecillas de reloj y los ángulos de los 8 puntos cardinales. Con esto se generó una imagen que muestra las distintas orientaciones de la Reserva (Figura 3.7.), la Reserva se encuentra en una rama de la Sierra Madre Oriental que se extiende en dirección este-oeste, por lo que las laderas presentarían orientación norte y sur. El mayor porcentaje de las laderas en la Reserva se encuentran orientadas al sur, suroeste y norte, con pequeñas áreas expuestas al noroeste y este. Al sur de la Reserva se aprecian mayores laderas con orientación norte y sur.

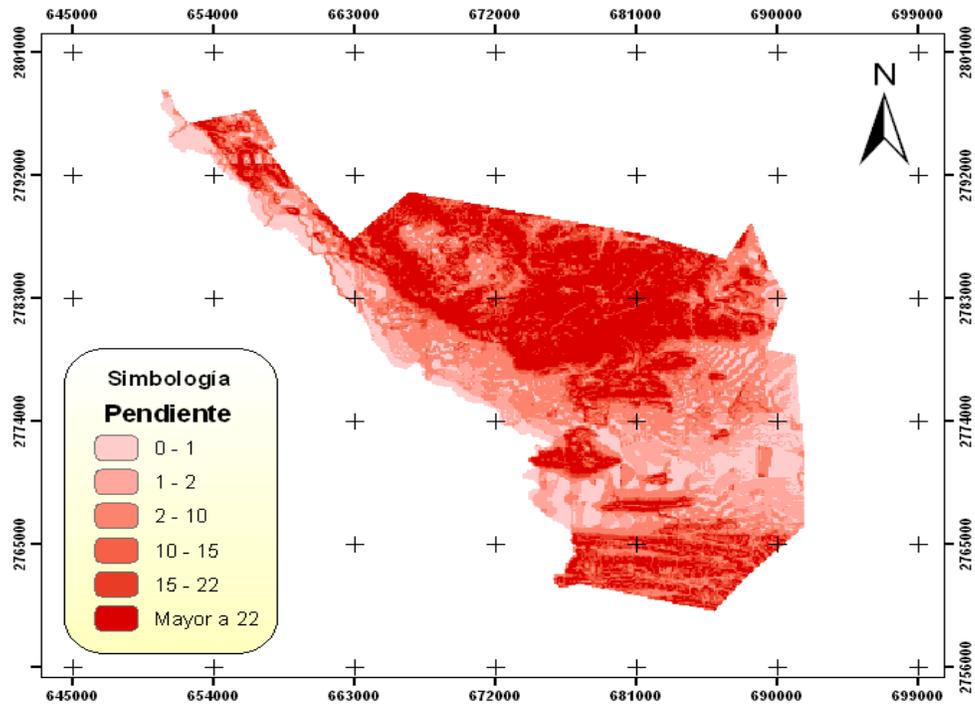


Figura 3.6. Pendientes en la REMSyCJ.

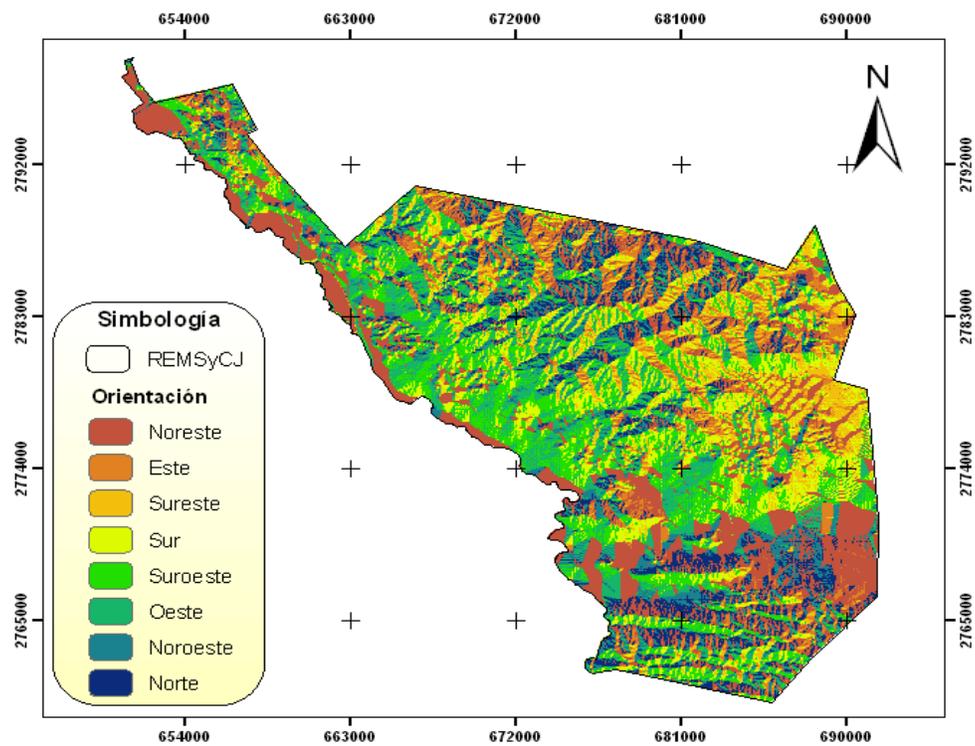


Figura 3.7. Orientación del relieve en la REMSyCJ

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

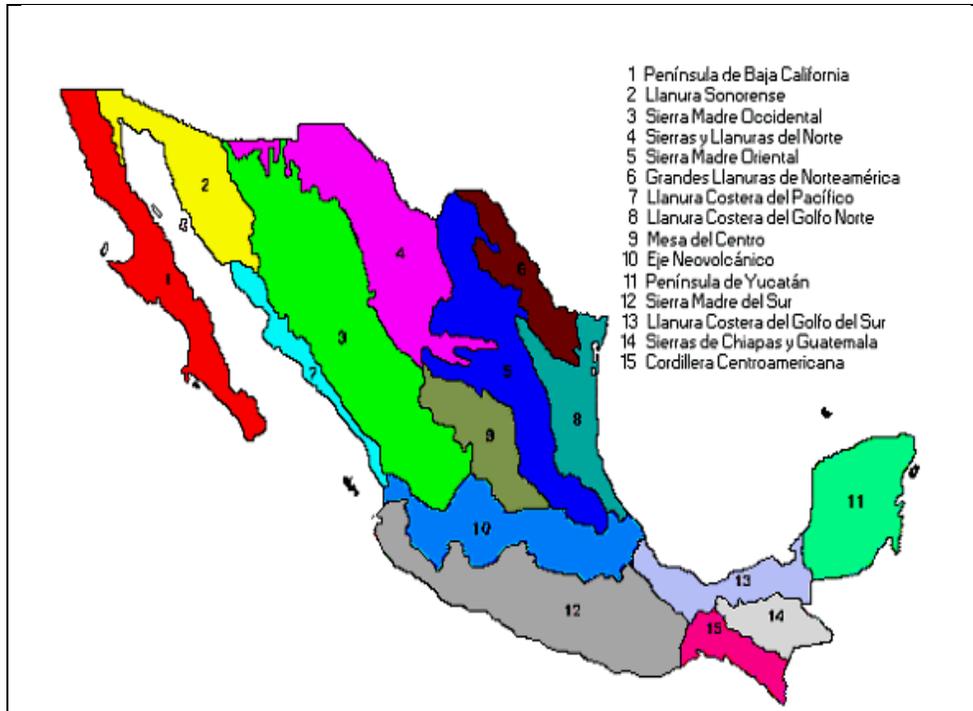
En este estudio se integró un Sistema de Información Geográfica con la finalidad de hacer una descripción de los distintos aspectos físicos y bióticos de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco (REMSyCJ). A continuación se detallan los resultados encontrados para cada uno de los temas analizados.

### 4.1. GEOLOGÍA

La Sierra de Jimulco es la región más extrema de la Sierra Madre Oriental, esta sierra es una cadena montañosa de aproximadamente 1,350 kilómetros de longitud, esta provincia corre en sentido paralelo hacia la costa del Golfo de México desde la frontera norte del país hasta sus límites con el eje Neovolcánico cerca de Teziutlán, Puebla. A la altura de Monterrey N. L. una de sus ramas se tuerce abruptamente al oeste para lograr extenderse hasta la Sierra Madre Occidental al norte de Cuencamé, Dgo.; mientras la otra continúa hacia el norte terminando en la región de Big Bend, Texas. Colinda al norte y noroeste con la provincia de las Sierras y Bolsones; y en una pequeña franja al noroeste, con la Sierra Madre Occidental; al sur con la provincia del eje neovolcánico y al este con la Llanura costera del Golfo (Figura 4.1). Abarca parte de los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Hidalgo y Puebla.

Dicha Sierra se originó por el plegamiento de rocas sedimentarias de origen marino que han sufrido plegamientos y que se formaron por la acumulación y la

consolidación de material mineral pulverizado y depositado por la erosión, entre las que predominan las calizas y en segundo término, las areniscas y las lutitas.



**Figura 4.1. Principales regiones fisiográficas de México.**

De acuerdo a la información geográfica generada en relación a las distintas cartas del INEGI, la litología de la RMSyCJ está constituida en su mayor parte por rocas de origen sedimentario (69.2% del área total), tanto marino como continental cuyas edades cubren un rango geocronológico del Paleozoico hasta el Cuaternario, la orientación de los plegamientos van en dirección este-oeste; este tipo de rocas se comienza a observar a partir de los 1,400 msnm en la parte norte y sur del área, dando lugar a la formación de la parte montañosa del área (Figura 4.2).

Por otra parte, las rocas sedimentarias son materiales formados en consecuencia de la actividad química o mecánica ejercida por los agentes de denudación sobre

rocas preexistentes, depositadas de forma estratégica, capa por capa, sobre la superficie de la litósfera. Las bajas presiones relativas y la petrificación de los sedimentos conducen a la formación de estos suelos, que pueden tener una mineralogía completa, siendo algunos de sus minerales de origen detrítico o químico. Algunos agentes de la denudación (intemperismo y erosión) que actúan sobre las rocas preexistentes son: la irradiación solar, los hielos, las lluvias, el viento, el mar, la gravedad, sustancias químicas y organismos como plantas y animales (INEGI, 2005a).

**Cuadro 4.1. Material Geológico en el área de estudio.**

<b>Material geológico</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Rocas Sedimentarias</b>	41,976	69.2
<b>Rocas Metamórficas</b>	1,428	2.4
<b>Suelos</b>	17,253	28.4

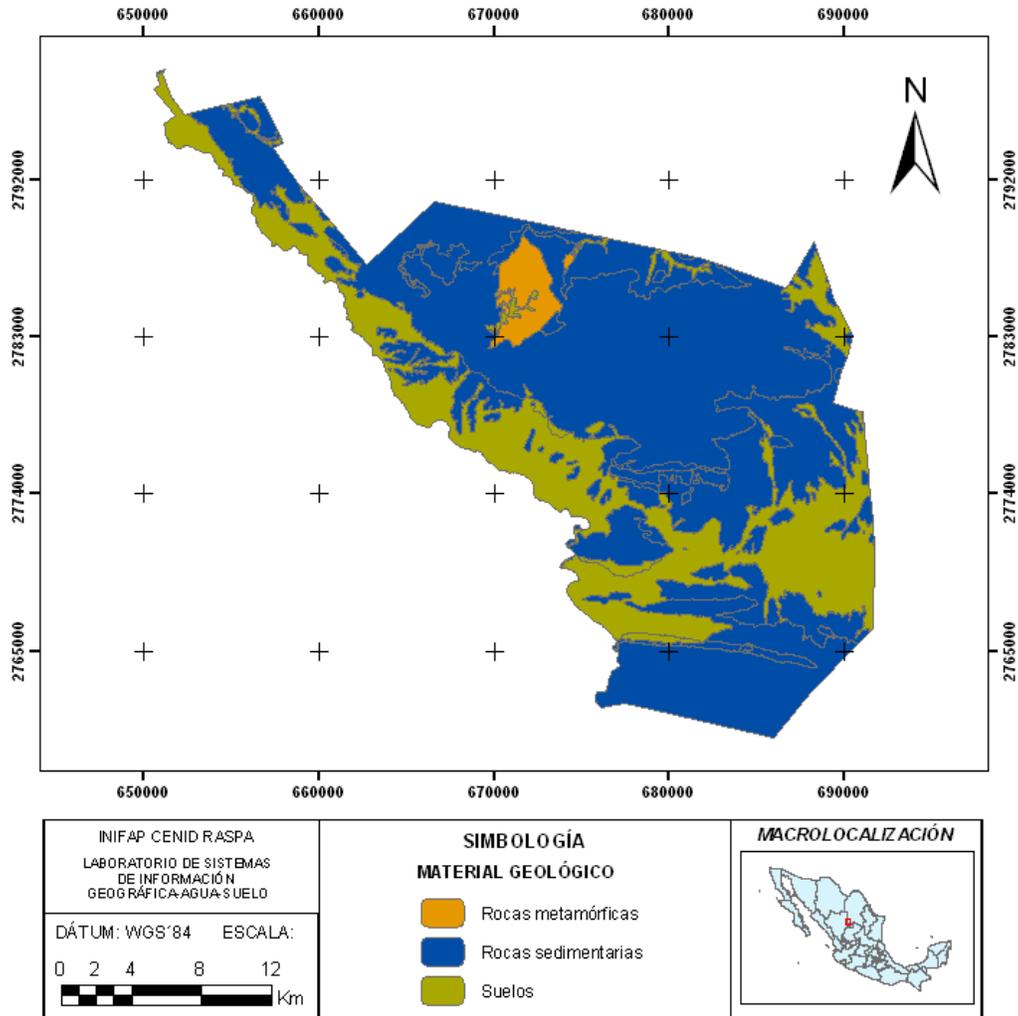
Sin embargo, también se encuentra, aunque en un área mucho menor, rocas de tipo metamórficas, siendo la roca más antigua del área que data de la era Mesozoico, durante el periodo Triásico (225 millones de años), se sitúa en la parte centro-noreste del área, con el 2.4 % del área total de la REMSyCJ, a una altitud variable que va desde los 1,900 hasta los 2,300 msnm, (Figura 4.2).

Las rocas Metamórficas son todas aquellas que han sufrido modificaciones en su estructura original y en su composición mineralógica, debido a los diferentes procesos de metamorfismo como son el calor, la presión y los fluidos o gases

químicamente activos. Pueden ser formadas a partir de rocas preexistentes como ígneas y sedimentarias (INEGI, 2005a).

También en la REMSyCJ se presentan partes cubiertas de suelo que llegan a cubrir el 28.4 % del área total como se aprecia en la Figura 4.2. De acuerdo con esta figura se puede observar claramente que el área cubierta por los suelos son las partes más bajas (de 1,197-1,400 msnm), sobre todo en los valles, pie de monte y alrededores del río Aguanaval, al sur-oeste de la Reserva.

Los suelos representan el material no consolidado o semi-consolidado, compuesto de la mezcla de partículas de diferentes tamaños, minerales y compuestos litológicos, así como diferentes cantidades y clases de materias orgánicas que se encuentran sobre la corteza terrestre. Estos suelos se originan a partir de la disgregación y descomposición de las rocas que se encuentran en la superficie de la tierra. Los productos disgregados se acumulan y dan lugar a la formación de los suelos(INEGI, 2005a).



**Figura 4.2. Material Geológico presente en la REMSyCJ.**

La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (Soil Science Society of America, SSSA por sus siglas en inglés), define al suelo como la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota, material parental y tiempo), y debido a su interacción se difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó. Por esta razón el suelo ya no

es roca ni sedimento geológico, sino un producto derivado de las alteraciones e interacciones que experimentan dichos materiales (SEMARNAT, 2009b).

#### **4.1.1. Rocas de origen sedimentario presentes en la Reserva**

##### **Roca Caliza**

En la REMSyCJ se encuentra distribuidas seis tipos de rocas sedimentarias, de las cuales la roca caliza es la que mayor presencia tiene, con un cubrimiento del 52.2% del área total (Cuadro 4.2). Las serranías más pronunciadas están constituidas de este tipo de material, empiezan a presentarse a partir de los 1,400 hasta los 3,120 msnm en la parte centro y sur-este de la reserva, siendo la parte más alta de esta serranía y el pico más alto del Cerro Centinela, al noroeste, se presenta una pequeña área por encima de los 1,200 a los 1,500 msnm (Figura 4.3).

Este tipo de roca química o bioquímica, es la roca más importante de las carbonatadas; conformada de carbono de calcio, pudiendo estar acompañada de: aragonito, sílice, dolomita, siderita y con frecuencia la presencia de fósiles, por lo que son de gran importancia estratigráfica. Existe una gran diversidad de clasificación de rocas calizas, debido a su contenido orgánico, arreglo mineral y su textura. Sin embargo en ninguna es considerada la presencia de material plástico. En casos donde es considerable o relevante la presencia de plásticos se clasifica la caliza y el tamaño de la partícula determinada en el nombre secundario: caliza arcillosa, caliza arenosa y caliza conglomerática (INEGI, 2005a).

**Cuadro 4.2. Rocas de origen Sedimentario presentes en la Reserva.**

<b>Material geológico</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Caliza</b>	31,674	52.2
<b>Conglomerados</b>	9,638	15.9
<b>Caliza-Lutita</b>	336	0.6
<b>Lutita</b>	298	0.5
<b>Yeso</b>	22	0.04
<b>Brecha Sedimentaria</b>	8	0.01

### **Rocas conglomeradas**

Los conglomerados son rocas de origen sedimentario, de grano grueso, constituidas por partículas de diversos tamaños llamados cantos rodados y guijarros. Se constituyen de una cantidad mayor al 50% de componentes de un diámetro mayor de 2 mm. Los componentes o fragmentos son redondeados. Los tipos de fragmentos pueden variar de acuerdo a la composición de la zona de erosión suministradora; la masa básica amalgamadora igualmente puede variar, la cual puede estar constituida de componentes clásticos, pelíticos y arenosos (matriz) y de material de enlace carbonatico o silícico (cemento), que es sustituido posteriormente por la roca al solidificarse (INEGI, 2005a).

Este tipo de rocas representa el segundo con mayor presencia en la REMSyCJ, ocupando 15.9 % de superficie en la reserva (Cuadro 4.2). Conforme a la distribución que se aprecia en la Figura 4.3, este tipo de roca se distribuye en mayor proporción al sureste sobre las laderas de las sierras más pronunciadas, apareciendo a partir de los 1,300 hasta los 1,400 msnm, al sur-oeste se

encuentran áreas menores orientadas hacia la parte del río Aguanaval, al centro y noroeste del área también se localizan pequeñas áreas de este material.

### **Caliza-Lutita**

Este tipo de asociación de rocas sedimentarias se encuentra distribuida en el área de estudio con una superficie de 336 ha, equivalentes al 0.6 por ciento del área **(Cuadro 4.2)**. De acuerdo al mapa de la Figura 4.3, este tipo de roca se localiza al sur, en una superficie que atraviesa prácticamente de este a oeste la parte sur de la reserva, a una altitud de 1,650 msnm. La lutita es una roca clástica de grano fino del tamaño de la arcilla (menos de 0.005 mm), compuesta por minerales de arcilla. Se constituye de granos de tamaños menores de 0,002 mm (barro). Principalmente se compone de minerales arcillosos (grupo de la caolinita, grupo de la montmorillonita, illita), que se forman en el campo sedimentario (de neoformación) y de restos de cuarzo, feldespato y mica. Componentes adicionales son hematita, limonita, calcita, dolomita, yeso y los sulfuros. Son de colores muy variables: gris, verde, rojo, café, negra. Las variedades negras son particularmente ricas en sustancias orgánicas. La lutita es una roca masiva, terrosa, normalmente bien compactada, a menudo porta fósil. Muchas lutitas muestran bioturbación es decir una estructura sedimentaria irregular producida por la acción de organismos excavadores al fondo del mar (INEGI, 2005a).

### **Lutita**

Como se ilustra en el mapa de la Figura 4.3 y como se menciona en el Cuadro 4.2, este tipo de asociación de rocas sedimentarias cubren el 0.5 por ciento de superficie del área total de estudio, se ubican en la parte norte de la reserva,

iniciando a partir de los 1,195 hasta los 2,142 msnm, siendo un valle por el cual escurren las aguas de la parte alta de la cadena montañosa.

### **Yeso**

Este tipo de roca química es formada a partir de la precipitación del sulfato de calcio en solución, contenido en medios acuosos. Es transparente, incoloro, blanco o gris, de brillo vítreo. Puede haber de colores verdes, amarillos o negros debido a la presencia de impurezas. Tiene escasa dureza por lo que puede rayarse con la uña y es muy soluble en agua (INEGI, 2005a). En la Reserva, la presencia de este material se aprecia en pequeñas áreas (Figura 4.3), las cuales se ubican en la parte baja de la reserva, en un rango altitudinal de los 1,190 a los 1,400 msnm. Esta superficie representa el 0.04% del área (Cuadro 4.2).

### **Brecha Sedimentaria**

Las características que distinguen este tipo de rocas sedimentarias son: roca clástica de grano grueso, constituida por partículas de diversos tamaños como guijarros y fragmentos angulosos como característica principal, (2 mm a más de 256 mm). Es aquella en que las piedras, así como los huesos, conchas y otros cuerpos, han sido sepultados por una capa de sedimentos muy finos que al consolidarse los han aprisionado en su seno (INEGI, 2005a). Esta roca sedimentaria se localiza en la parte noroeste de la REMSyCJ, cubriendo una pequeña superficie equivalente al 0.01 % de dicha área (Cuadro 4.2), a una altura sobre el nivel del mar de 1,346 metros.

#### **4.1.2. Rocas de origen metamórfico presentes en la Reserva**

##### **Rocas Gneis**

Las rocas gneis presentan granos moderadamente gruesos. Su estructura es exfoliada y masiva; algunas presentan ojos o lentes que son cristales o agregados de minerales, otras presentan fajas largas y angostas. Los minerales comunes de los gneis son el cuarzo, feldespatos y micas. Se originan por metamorfismo regional. Se forman en las profundidades de los bordes de colisión continental, se pueden formar tanto a partir de rocas ígneas graníticas como de rocas sedimentarias, resiste más a la erosión y suele formar estratos que dan al paisaje un aspecto escarpado y abrupto (INEGI, 2005a). En la REMSyCJ solo se encuentra presente un tipo de roca metamórfica, la cual está distribuida en dos áreas al norte de la reserva con una superficie de 2.4% del total de esta (Cuadro 4.3), en un rango altitudinal 1,950 a 2,341 msnm (Figura 4.3).

**Cuadro 4.3. Rocas de origen Sedimentario presentes en la Reserva.**

<b>Material geológico</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Rocas Gneis</b>	1,428	2.4

#### **4.1.3. Tipos de suelo presentes en la Reserva**

##### **Aluvial**

En el área de estudio se presentan dos principales tipos de suelos, de los cuales el que mayor presencia posee es el suelo aluvial, con una superficie equivalente al 27.6% de la reserva, distribuido en gran parte en las áreas bajas de las montañas, se encuentra principalmente por los escurrimientos aluviales de las sierras, que

terminan por desembocar al río Aguanaval, en un rango altitudinal que va desde los 1,197 a 1,427 msnm, en la parte suroeste y al sureste por arriba de los 1500 msnm (Figura 4.3 y Cuadro 4.4). En estos suelos es donde están ubicados la mayoría de los ejidos presentes en la REMSyCJ, debido a que en estos se desarrolla la agricultura.

**Cuadro 4.4. Suelos presentes en la Reserva.**

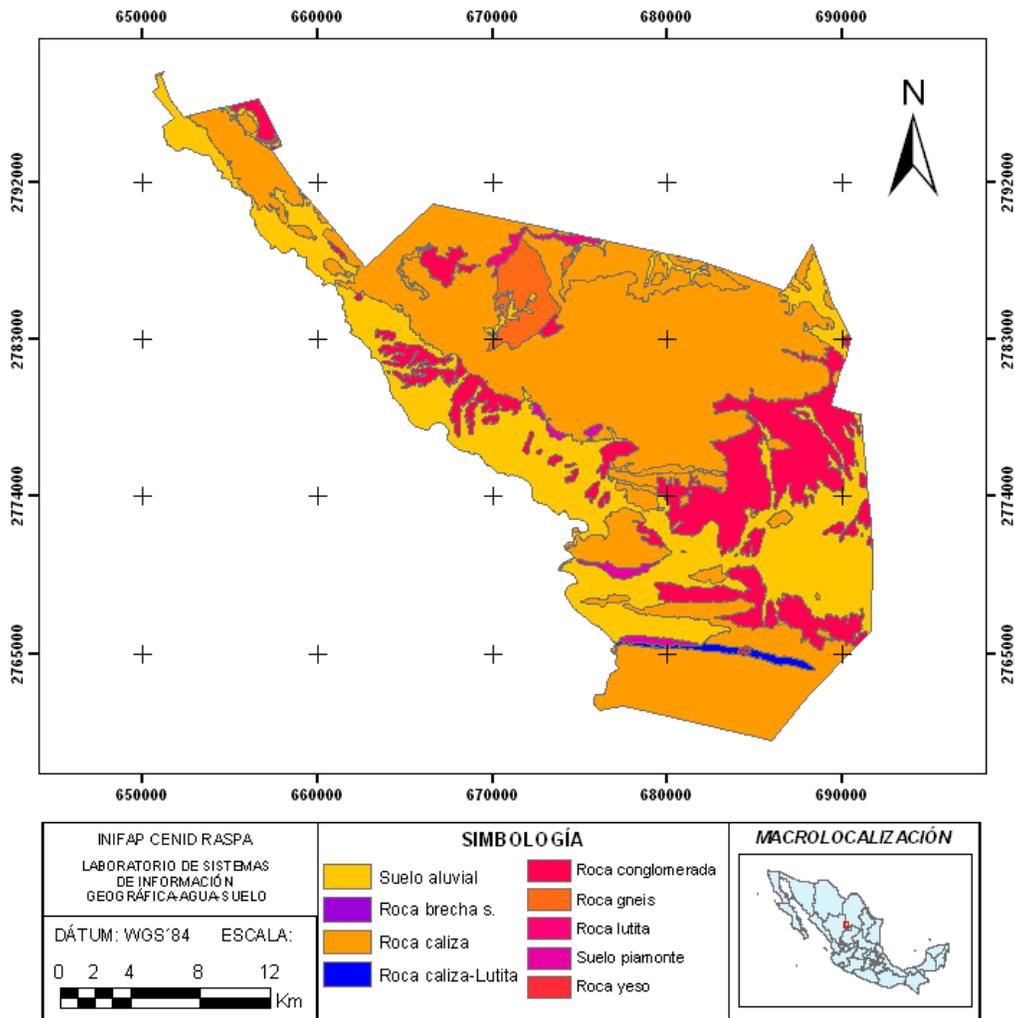
<b>Material geológico</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Aluvial</b>	16,768	27.6
<b>Piamonte</b>	485	0.8

Este tipo de suelo también conocido como fluvial, se ubican a lo largo de la hoya hidrográfica, su agente formador es el río, posee una textura heterogénea, una forma más o menos esférica y su disposición tiende a la imbricación. El aluvión es un suelo formado por el depósito de materiales sueltos (gravas y arenas) provenientes de rocas preexistentes, que han sido transportados por corrientes superficiales de agua. Este nombre incluye los depósitos que ocurren en las llanuras de inundación, los valles, los ríos y las fajas de pie de monte. Los sedimentos aluviales son arrastrados y depositados por el agua en movimiento. Debido a cambios de velocidad del agua a lo largo del cauce se van depositando los tamaños de los granos en el lecho del río en forma gradual desde los grandes fragmentos de roca, arrastradas en velocidades elevadas del agua, hasta los tamaños de granos de suelo como son gravas, arenas, limos y arcillas. Sus componentes son diversos y prácticamente todas las rocas aflorantes en el área se encuentran representadas (INEGI, 2005a).

## **Piamonte**

Estos suelos son sedimentos acumulados al pie de las montañas en su pendiente final debido a avalanchas, deslizamientos, etc. Contienen materiales de todos tipos y tamaño de granos, incluyendo vegetación, troncos y materia orgánica fina. Son suelos sumamente erráticos, haciendo que su compresibilidad sea muy variable y se tenga que determinar con gran detalle, lo mismo ocurre con la resistencia al esfuerzo cortante. Cuando descansan en un lecho de materia orgánica en el contacto con el talud original pueden presentar inestabilidad cuando se aplican sobrecargas en ellos(INEGI, 2005a).

Los suelos piamonte vienen siendo otro tipo de suelo presente en el área, de acuerdo a la Figura 4.3 se localizan sobre todo a pie de monte sobre las montañas al suroeste a diferentes altitudes que van desde los 1300 hasta los 1400 msnm, cubriendo el 0.8 por ciento del área de estudio (Cuadro 4.4)(INEGI, 2005a).



**Figura 4.3. Tipos de material geológico presentes en la REMSyCJ.**

#### 4.1.4. Estructuras geológicas

Dentro de la geología se estudian las distintas estructuras de la tierra como las fracturas, diques y fallas normales, y con base a esta información se pueden tomar decisiones como encontrar la ubicación adecuada de rellenos sanitarios, o pozos de infiltración, considerando una profundización de conocimientos a través de estudios más precisos (Trucíos-Caciano et al., 2010b).

## **Fracturas**

En el caso de la REMSyCJ existe una cantidad considerable de fracturas geológicas, distribuidas por toda el área, sobre todo al norte, sur y oeste de la reserva, con una orientación sensiblemente perpendicular a las laderas de los cerros (Figura 4.4). Este tipo de fallas se deben a la ruptura de la corteza en la que no ha habido desplazamiento entre los bloques. Las fracturas son causadas comúnmente por la tensión que excede la fuerza de la roca. Pueden proporcionar permeabilidad para el movimiento fluido, tal como agua o hidrocarburos. Las rocas altamente fracturadas pueden originar acuíferos o depósitos de hidrocarburo, puesto que pueden poseer ambos significativos permeabilidad y porosidad de la fractura (INEGI, 2005a).

## **Fallas**

La principal causa de las fallas se debe a que la corteza terrestre se estrecha y empuja durante el proceso de separación, y el material rocoso que la constituye llega al grado de fracturarse y da lugar a las fallas. Dichas fallas son la ruptura de la corteza en la cual si ha habido desplazamiento entre bloques y son parte del proceso que causa vulcanismo y derivas continentales. Existen diversos tipos de fallas: del tipo normal, inversa, con desplazamiento horizontal y con desplazamiento oblicuo (INEGI, 2005a). Pero en el caso de la REMSyCJ se encuentran solo tres de los cuatro tipos de fallas conocidas por el INEGI, las cuales se describen a continuación:

### **Falla Normal**

En el área de estudio se encuentran 15 fallas del tipo normal, de las cuales cinco de ellas son las que mayor influencia tienen en la zona, por sus extensiones son regionales, se extienden en el centro de la reserva, con orientación suroeste, excepto dos que tienen orientación noroeste, las cuales se encuentran en la parte final del área al noroeste (Figura 4.4). Tienen una longitud mayor a los 1000 metros. Este tipo de fallas se origina a causa de fuerzas distensivas, produciendo un “espacio”, mejor definido como un sondaje vertical sin encontrar piso (o techo) de referencia.

### **Falla Inversa**

Se ubica en la parte centro de la reserva con una orientación noreste-suroeste, en dirección al parte aguas de una montaña, al noreste del ejido Zaragoza, tiene una longitud de 3.9 Km (Figura 4.4). Estetipo de fallas es originado por fuerzas compresivas, produciendo una “duplicación”: la cual se puede definir como un sondaje vertical para encontrar el mismo piso (o techo) de referencia dos veces.

### **Falla con desplazamiento oblicuo**

Este tipo de falla se encuentra localizada al noroeste de la reserva, extendiéndose al este delejido Jalisco y al noroeste del ejido Zaragoza, con una orientación noreste-suroeste y una extinción longitudinal de 2.9 km (Figura 4.4). Este tipo de falla se origina cuando el movimiento de los bloques es una combinación de movimiento horizontal y vertical.

## **Plegamientos**

Un pliegue o es una deformación de las rocas. Principalmente en zonas montañosas, las rocas depositadas en forma de capas (estratificación) están dobladas en pliegues más o menos regulares: algunos se presentan en pequeña escala y otros en grandes proporciones. Los anticlinales forman las cordilleras y los sinclinales forman los valles. Estos pliegues se originan por esfuerzos de compresión sobre las rocas que no llegan a romperse; en cambio cuando sí logran romperse, se forman las llamadas fallas, por lo general se encuentran en los bordes de las placas tectónicas y obedecen a dos tipos de fuerzas laterales, originados por la interacción de las placas (convergencia) y verticales, como resultado del levantamiento del fenómeno de subducción (INEGI, 2005a). En la Reserva se presentan los dos tipos de plegamientos, los cuales se describen a continuación:

### **Eje anticlinal recumbente**

Al noroeste de la Reserva se localizan dos pliegues anticlinales recumbente, con una longitud de 1.2 y 3.8 Km respectivamente (Figura 4.4). Estos pliegues anticlinales son estructuras geológicas originadas por fuerzas de compresión sobre las capas de rocas de la corteza terrestre; consiste en un pliegue convexo hacia arriba. Cuando el eje de anticlinal forma un ángulo agudo con el plano de la superficie, se trata de un pliegue inclinado o asimétrico: si el eje tiende a ser paralelo al plano, entonces es un pliegue recumbente o recostado(INEGI, 2005a).

### **Eje sinclinal**

En la Reserva se presentan 3 pliegues sinclinales uno al norte con 5.1 km de longitud y los otros se localizan al sur de la Reserva con 3.5 y 4.2 km de longitud (Figura 4.4), estos pliegues se originan también por compresión y está formado por un pliegue convexo hacia abajo (INEGI, 2005a).

### **Eje sinclinal indicando su buzamiento y recumbente**

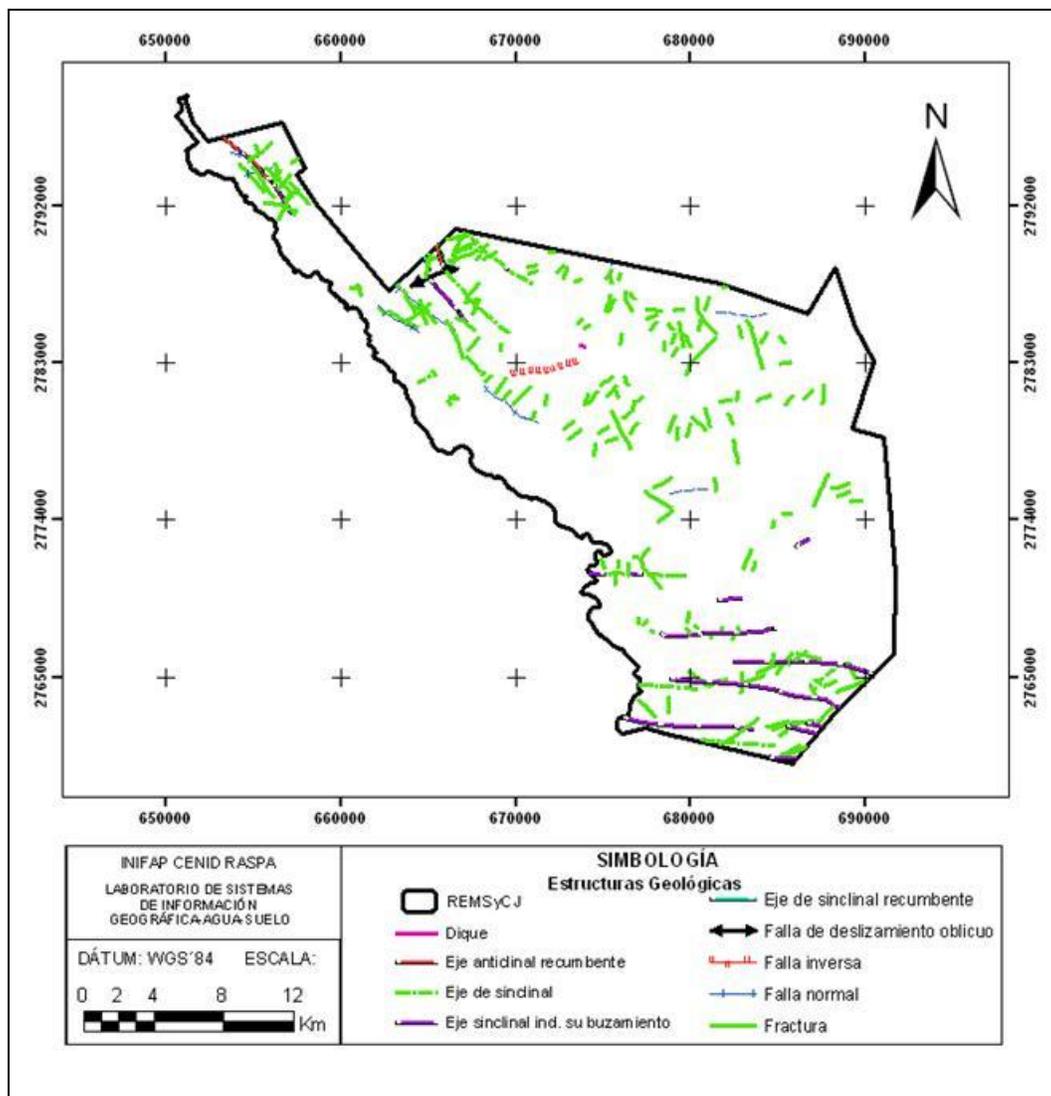
Dentro de la Reserva se presentan 15 de estos plegamientos, de los cuales sobresalen cuatro por tener una longitud mayor a los 5 km. La mayoría de estos plegamientos se localizan al sur de la Reserva, con dirección este a oeste, solo al noroeste de la Reserva van con dirección sureste-noroeste. El buzamiento es el ángulo que forma el plano a medir con respecto a un plano horizontal. Al noreste de la Reserva se presentan dos plegamientos recumbentes, con 1.1 y 1.5 Km de longitud (Figura 4.4).

### **Dique**

En el caso de la REMSyCJ se encuentra un dique que está ubicado al centro del área sobre rocas calizas de origen sedimentario, con una inclinación ligeramente al noroeste, tiene una longitud de 429.5 metros (Figura 4.4).

Los diques están constituidos de roca ígnea en forma de muro que corta las capas estratificadas de la corteza terrestre. Su espesura es generalmente mucho menor que sus restantes dimensiones y puede variar de algunos milímetros hasta muchos metros, mientras que su extensión lateral puede alcanzar muchos kilómetros. Un dique atraviesa capas o cuerpos rocosos preexistentes, lo

que implica que es siempre más reciente que la roca en la cual está contenido. Casi siempre presentan una gran inclinación o una inclinación próxima a la vertical, pero la deformación de origen tectónica puede provocar la rotación de los estratos atravesados por el dique de tal forma que este puede volverse horizontal (INEGI, 2005a).



**Figura 4.4 Estructuras Geológicas.**

## **Puntos especiales**

En esta capa se muestra información referente a localizaciones puntuales de bancos de material, manantiales, minas, catas, rumbos y echados de flojo de rocas ígneas y foliación, que puede ser de utilidad en la ubicación de áreas potenciales de contaminación de suelo y vegetación.

## **4.2. EDAFOLOGÍA**

### **4.2.1. Clases de suelos**

Existen diferentes sistemas de clasificación de suelos. En este caso para la descripción del medio físico de la REMSyCJ se utilizó el sistema de clasificación empleado por el INEGI en la elaboración de las cartas edafológicas del país, este sistema fue propuesto por la FAO/UNESCO en 1968 y modificado por el CETENAL en 1970. Este sistema fue empleado por ser de uso muy generalizado entre los distintos especialistas de suelo en México y porque permite determinar las propiedades morfológicas, físicas y químicas del área, las cuales pueden ser de mucha utilidad, en ordenamientos ecológicos, estudios agrícolas, forestales y ambientales.

Las modificaciones generales que se hicieron al sistema FAO/UNESCO (1968), por el CETENAL son las siguientes: a) agregar subunidades de suelos que se han encontrado en el país y que no son considerados en la clave de la FAO, b) castellanizar algunos nombres de unidades y subunidades e c) incluir el sistema climático modificado por Enriqueta García, para la clasificación de las unidades por clima (Bautista et al., 2005).

## Litosol eútrico

De acuerdo a la información geográfica generada en base a las distintas cartas de edafología del INEGI, se determinó que en la REMSyCJ se presentan 11 unidades y subunidades reconocidas en el Sistema de Clasificación de suelos utilizado por el INEGI. Los suelos presentes en el área se indican en el Cuadro 4.5, de los cuales el Litosol con subunidadeútrico es la que mayor presencia tiene, abrigando el 81.12% de la superficie total de la Reserva, este tipo de suelo cubre el relieve más pronunciado a un rango altitudinal de los 1,290 hasta los 3,120 msnm (Figura 4.5).

**Cuadro 4.5. Unidades y Subunidades de suelo presentes en la Reserva.**

<b>Suelos</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Litsoleútrico</b>	49,203.1	81.12
<b>Xerosolháplico</b>	3,843.6	6.34
<b>Yermosolháplico</b>	2,034.1	3.35
<b>Litosol</b>	1,204.4	1.99
<b>Xerosollúvico</b>	1,182.4	1.95
<b>Regosolcalcáreo</b>	959.6	1.58
<b>Xerosol cálcico</b>	684.4	1.13
<b>Fluvisolcalcáreo</b>	681.2	1.12
<b>Vertisol crómico</b>	521.2	0.86
<b>Rendzina</b>	210.0	0.35
<b>Yermosol cálcico</b>	122.5	0.20
<b>C. agua</b>	10.5	0.017

El nombre litosol proviene del griego lithos: piedra. Literalmente, suelo de piedra. Estos suelos son los más abundantes pues de cada 100 hectáreas ocupan 22, se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, en mayor o menor proporción en barrancas, lomeríos y en ciertos terrenos planos. Son característicos por su profundidad limitada por la

presencia de roca, tepetate o caliche endurecido menor a los 10 centímetros. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión varían de acuerdo de otros factores ambientales(INEGI, 2004).

**Eútrico:** del griego eu: bueno. Suelos ligeramente ácidos a alcalinos y más fértiles que los suelos dísticos(INEGI, 2004).

### **Xerosol háplico**

Del griego xeros: seco. Literalmente suelo seco. Se sitúan en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte de México. Su principal tipo de vegetación es de matorral y pastizal y son el tercer tipo de suelo más abundante por su extensión en el país (9.5%). Por lo general tienen una capa superficial de color claro por el bajo contenido de materia orgánica. Debajo de esta capa puede haber un subsuelo rico en arcillas, o bien, muy semejantes a la capa superficial. Muchas veces presentan a cierta profundidad manchas, aglomeraciones de cal, cristales de yeso o caliche con algún grado de dureza. Su rendimiento agrícola va en función a la disponibilidad de agua para riego. En los estados de Coahuila, Chihuahua y Nuevo León el uso pecuario es frecuente. Son de baja susceptibilidad a la erosión, salvo en laderas o si están directamente sobre caliche o tepetate a escasa profundidad (INEGI, 2004).

**Háplico:** del griego haplos: simple. Son suelos que no presentan características de otras subunidades existentes en ciertos tipos de suelos (INEGI, 2004).

En la reserva es el segundo tipo de suelo con mayor extensión superficial, cubre el 6.34 % del área total (Cuadro 4.5), parte de estos suelos se encuentran

distribuidos en las partes bajas de la reserva (1,197 a 1,240 msnm), al noreste del río Aguanaval, donde se establece la agricultura de los ejidos presentes en la reserva, el otro resto se localiza al sureste de la reserva, en los escurrimientos de la cuencas hidrográficas (Figura 4.5).

### **Yermosolháplico**

Del español yermo: desértico, desolado. Literalmente, suelo desolado. Son suelos localizados en las zonas más áridas del norte del país como los Llanos de la Magdalena y Sierra de la Giganta en Baja California Sur, Llanuras Sonorenses, Bolsón de Mapimí y la Sierra de la Paila en Coahuila. Tienen una capa superficial clara y delgada, con cantidades muy variables de materia orgánica según el tipo de textura que presenten. Muy permeables. Su uso agrícola está restringido a las zonas donde se puede contar con agua de riego. Cuando existe este recurso y buena tecnología los rendimientos son muy altos. En estos suelos es muy común la explotación de especies como la candelilla, nopal y lechuguilla (INEGI, 2004).

De acuerdo al Cuadro 4.5 y a la Figura 4.5 esta subunidad de suelo ocupa el tercer lugar al cubrir 3.35% de la superficie, se localizan a pie de cerro al suroeste de la reserva en las cárcavas formadas por los escurrimientos de las partes altas de las montañas, a una altitud baja de 1,200 a 1400 msnm.

### **Litosol**

Respecto al cuadro 5, este tipo de suelo ocupa el cuarto lugar con mayor presencia en área, arroja un total del 1.99 % de dicha área, se localiza sobre pequeñas serranías al norte de la Reserva, en un rango altitudinal 1,237 a los 1,340 msnm (Figura 4.5).

### **Xerosol lúvico**

Esta subunidad de suelo cubre el 1.95 % del área total de estudio (Cuadro 4.5), se localiza sobre los escurrimientos hidrográficos del relieve montañoso al sur de la Reserva, siguiendo su curso hasta desembocar sobre el río Aguanal, en un rango altitudinal de los 1,197 hasta 1,440 msnm(Figura 4.5).

**Lúvico:**(Del latín *luvi*, *luo*: lavar). Se caracterizan por tener un subsuelo con acumulaciones considerables de arcilla en el subsuelo. Son de color rojizo o pardo claro. En muchas ocasiones acumulan más agua que los otros Xerosoles. Pueden tener rastros de cal o de yeso, su vegetación por lo general es pastizal (INEGI, 2004).

### **Regosol calcáreo**

Del griego rhegos: manto, cobija. Denominación connotativa de la capa de material suelto que cubre la roca. Se desarrollan sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina. Son suelos que se pueden encontrar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace, cuando no son profundos. Se encuentran en las playas, dunas y, en mayor o menor grado, en las laderas de todas las sierras mexicanas, muchas veces acompañado de Litosoles y de afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su uso agrícola está principalmente condicionado a su profundidad y al hecho de que no presenten pedregosidad. Son de susceptibilidad variable a la erosión (INEGI, 2004).

**Calcáreo.**(Del latín *calcareum*: calcáreo). Son suelos ricos en cal. Son los más fértiles de los regosoles (INEGI, 2004). Suelo con poca presencia sobre la REMSyCJ, arropa el 1.58 % de la superficie total de esta, se localizan sobre las laderas de las serranías al noroeste y norte de la reserva, sobre un rango altitudinal de 1,260 a los 1,427 msnm.

### **Xerosol cálcico**

Esta subunidad de suelo se localiza al sur de la Reserva, cubriendo el 1.13% de la superficie total (Cuadro 4.5),se extiende sobre una planicie al este del río Aguanaval, formada por los escurrimientos hidrográficos sobre un rango altitudinal de 1,197 hasta los 1,400 msnm en estos suelos se desarrolla la agricultura del ejido Barreal de Guadalupe (Figura 4.5).Este tipo de suelo solo presenta acumulaciones de cal en el subsuelo a diferencia de los demás Xerosoles.

### **Fluvisol calcáreo**

(Del latín *Fluvius*: río. Literalmente, suelo de río). Se caracterizan por estar formados siempre por materiales acarreados por el agua. Están constituidos por materiales desintegrados que no presentan estructura en terrones, es decir, son suelos muy poco desarrollados. Se encuentran en todos los climas y regiones de México, cercano siempre a los lagos o sierras desde donde escurre el agua a los llanos, así como en los lechos de los ríos. La vegetación que presentan varía desde selvas hasta matorrales y pastizales. Presentan muchas veces capas alternadas de arena, arcilla o grava, que son producto del acarreo de dichos materiales por inundaciones o crecidas no muy antiguas. Pueden ser someros o

profundos, arenosos o arcillosos, fértiles o infértiles, en función del tipo de materiales que lo forman(INEGI, 2004).

Este tipo de suelo se encuentra en menor proporción sobre el área, cubriendo una superficie equivalente al 1.12 % del total de dicha área (Cuadro 4.5), se distribuyen en pequeñas áreas al norte, noroeste, oeste y suroeste de la reserva, sobre las cuencas formadas por las escorrentías de agua de la sierra. Al suroeste de la reserva se encuentra un área formada principalmente por las escorrentías del Cerro Centinela al desembocar al río Aguanaval, en diferentes rangos altitudinales de 1,280 a 2,000 msnm (Figura 4.5).

### **Vertisol crómico**

Del latín *verto*: voltear. Literalmente, suelo que se revuelve, que se voltea). El material original lo constituyen sedimentos con una elevada proporción de arcillas. Son suelos que se presentan en climas templados y cálidos, en zonas en las que hay depresiones de áreas llanas o suavemente onduladas y una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural de estos suelos va desde las selvas bajas hasta los pastizales y matorrales de los climas semi-secos. Se caracterizan por las grietas anchas y profundas que aparecen en ellos en la época de sequía debido al alto contenido de arcilla expansiva conocida como montmorillonita. Son suelos muy arcillosos, frecuentemente negros o grises en Centro y Oriente de México; y cafés rojizos en el Norte(INEGI, 2004).

**Crómico:**(Del griego *Kromos*: color). Son vertisoles que se caracterizan por su color pardo o rojizo. Donde más frecuentemente se encuentran es en climas semi-secos, y generalmente son formados a partir de rocas calizas (INEGI, 2004).

Respecto a la Figura 4.5 esta subunidad de suelo se encuentra en una pequeña proporción al noroeste de la REMSyCJ, la cual cubre el 0.86 % de la superficie total de esta (Cuadro 4.5), este se encuentra en una planicie al este del río Aguanaval, utilizado para la agricultura de los habitantes de dicha área.

### **Rendzina**

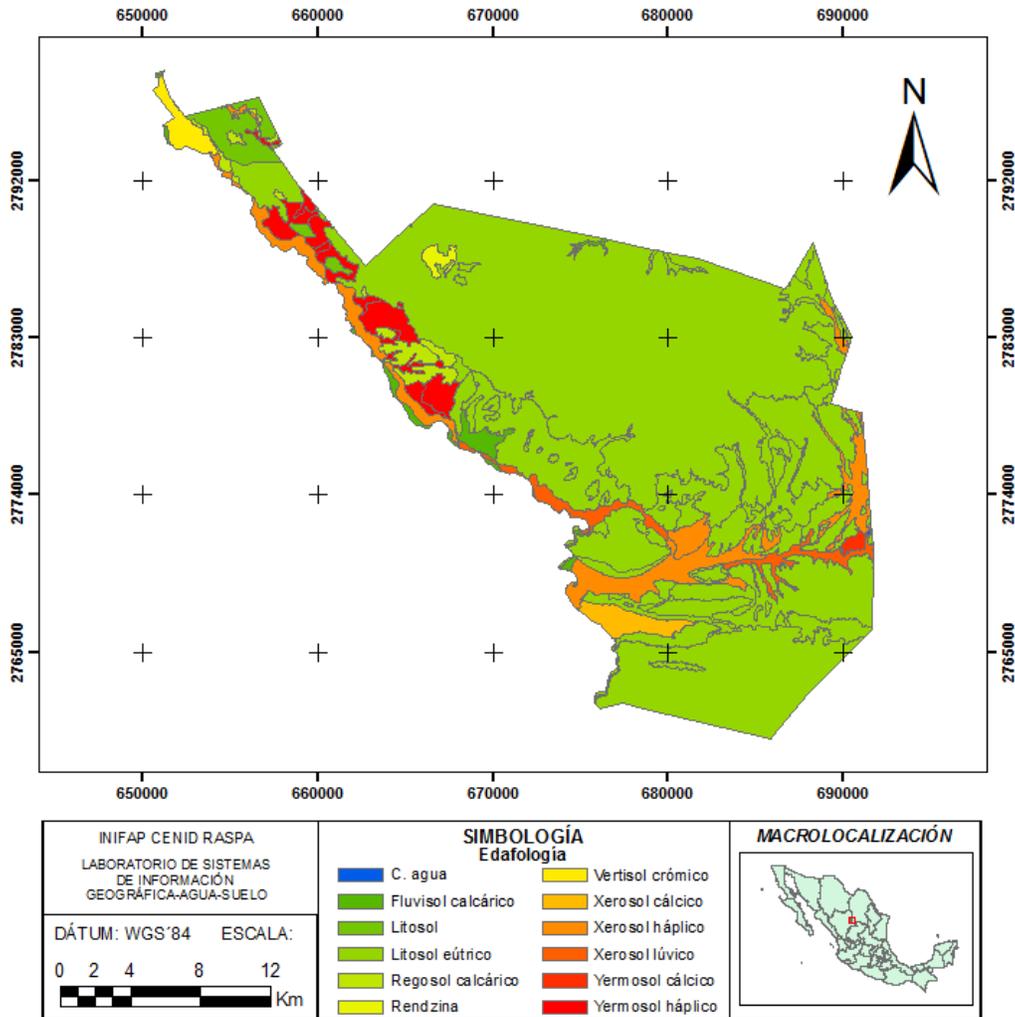
Del polaco rzedzic: ruido. Connotativo de suelos someros que producen ruido con el arado por su pedregosidad. Se forman sobre una roca madre carbonatada, como la caliza, y suelen ser fruto de la erosión. El humus típico es el mull y su pH suele ser básico. Estos suelos se presentan en climas cálidos o templados con lluvias moderadas o abundantes. Su vegetación natural es de matorral, selva o bosque. Se caracteriza por poseer una capa superficial abundante en humus y muy fértil, que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal. No son muy profundos. Son generalmente arcillosos (INEGI, 2004).

De acuerdo al Cuadro 4.5, esta subunidad de suelo tiene muy poca presencia en el área, cubre el 0.35 % del total de esta, se ubica sobre la cima de pequeños cerros al norte de la Reserva, en un rango altitudinal de 2,000 a los 2,100 msnm (Figura 4.5).

### **Yermosol cálcico**

Esta subunidad de suelo presenta acumulaciones de cal en el subsuelo, siendo la principal característica que lo distingue de los demás Yermosoles. En la Figura 4.5

se puede apreciar una pequeña superficie de este tipo de suelo al sureste de la Reserva, la cual es relativamente pequeña, debido a que cubre el 0.20 % del total de la superficie de dicha área (Cuadro 4.5), al suroeste del ejido Pozo de Calvo.



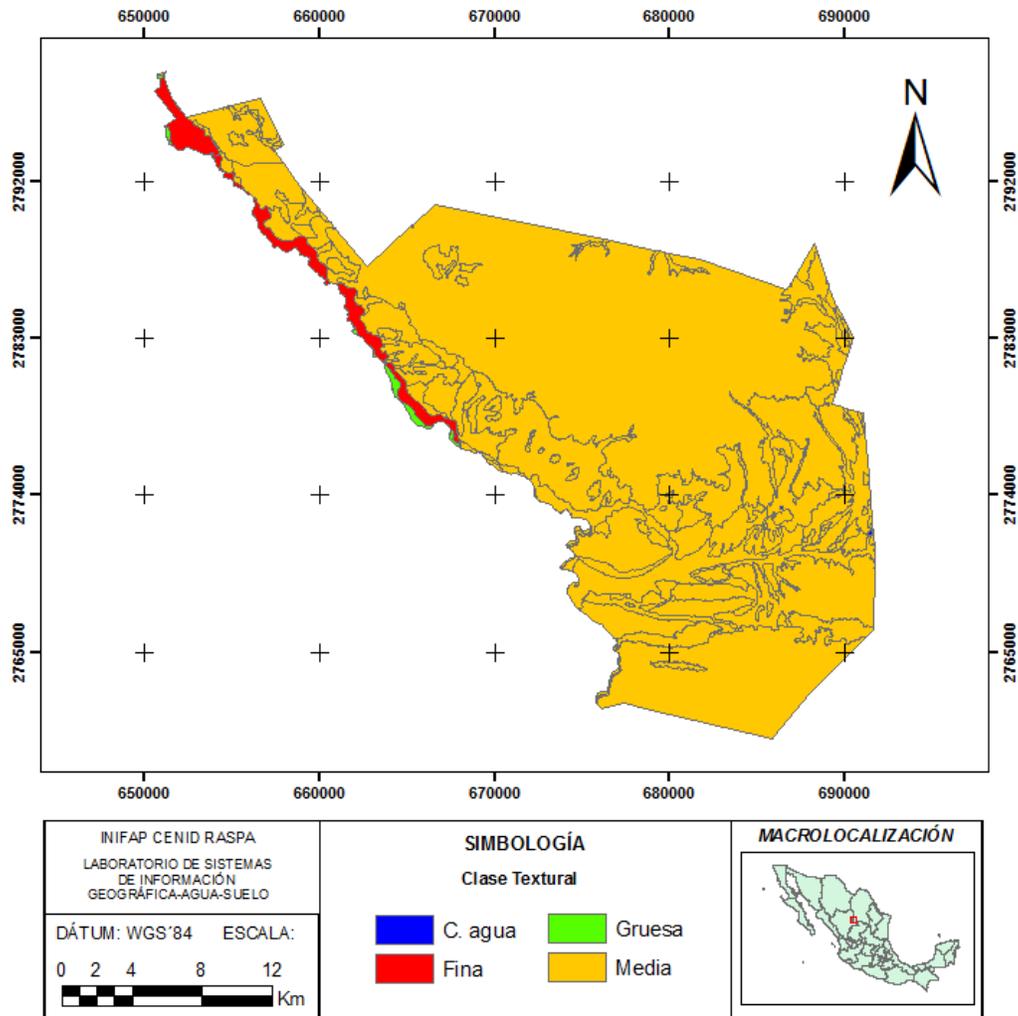
**Figura 4.5. Principales tipos de suelos presentes en la REMSyCJ**

#### 4.2.2. Clases texturales del suelo

La textura del suelo es la característica más importante y permitiente del suelo, se expresa de acuerdo al tamaño de las partículas que lo integran, en relación a la proporción relativa de arena, limo y arcilla. Relacionada con importantes

reacciones físicas y químicas para el desarrollo de los cultivos y elementales en la producción agrícola así como en la sustentabilidad del recurso edáfico (Ibarra-Castillo et al., 2008). En general la clase textural del suelo indica el tamaño de las partículas que lo conforman (INEGI, 2004).

De acuerdo a las clases texturales señaladas por el INEGI, en la REMSyCJla clase que predomina es la media. Como se aprecia en la Figura 4.6 esta clase textural se presenta prácticamente sobre todos los suelos de la reserva, cubre el 97% de la superficie total (Cuadro 4.6). Esta clase se caracteriza por tener semejanza a los limos de los ríos, presenta abundancia de limo, es la textura con menos problemas de drenaje, aeración y fertilidad, comúnmente llamados francos, equilibrados generalmente en el contenido de arena, arcilla y limo conforman (INEGI, 2004).



**Figura 4.6: Clases texturales de la REMSyCJ**

Otra de las clases textuales con mayor presencia en la Reserva es la clase fina, al estar presente en el 2.6 % de los suelos de esta área (Cuadro 4.6), situados alrededor del lecho fluvial del río Aguanaval al oeste de la Reserva (Figura 4.6). Esta clase textual está compuesta por más del 35 % de arcilla, tienen mal drenaje, poca porosidad, por lo general es dura al secarse, son susceptibles a inundarse con facilidad y son menos favorables al laboreo (INEGI, 2004).

La textura gruesa es la que menos presencia tiene en el área, está presente sobre el 0.3% de los suelos (Cuadro 4.6), localizados sobre el cauce del río Aguanaval,

al suroeste de la Reserva (Figura 4.6). Esta clase textual está constituida con más del 65% de arena, por lo que en la superficie son arenosos, con poca capacidad de retención de agua y nutrientes para las plantas (INEGI, 2004).

**Cuadro 4.6: Clases textuales presentes en la Reserva**

<b>Clase Textual</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Media</b>	58,891.3	97.1
<b>Fina</b>	1,578.7	2.60
<b>Gruesa</b>	176.6	0.29
<b>C. agua</b>	10.5	0.017

#### **4.2.3. Fases del suelo**

Una fase del suelo es cualquier obstáculo ya sea físico o químico que perturbe en el manejo apropiado del mismo.

##### **Fase química**

Característica del suelo especificado por la presencia de sales solubles y/o sodio intercambiable, que limitan o impiden el desarrollo de los cultivos, y se presentan por lo menos en una parte del suelo, a menos de 100 cm de profundidad. Se comprenden las fases salina y sódica (INEGI, 2004).

Las fases químicas presentes en la REMSyCJ son las siguientes:

**Ligeramente salino:** Se caracteriza porque en los suelos el contenido de sales no es muy alto (conductividad eléctrica de 4 a 8 mmhos) y sólo limita el desarrollo para algunos cultivos poco tolerantes.

**Ligeramente salino-sódica:** presentan ambas fases con sus características particulares.

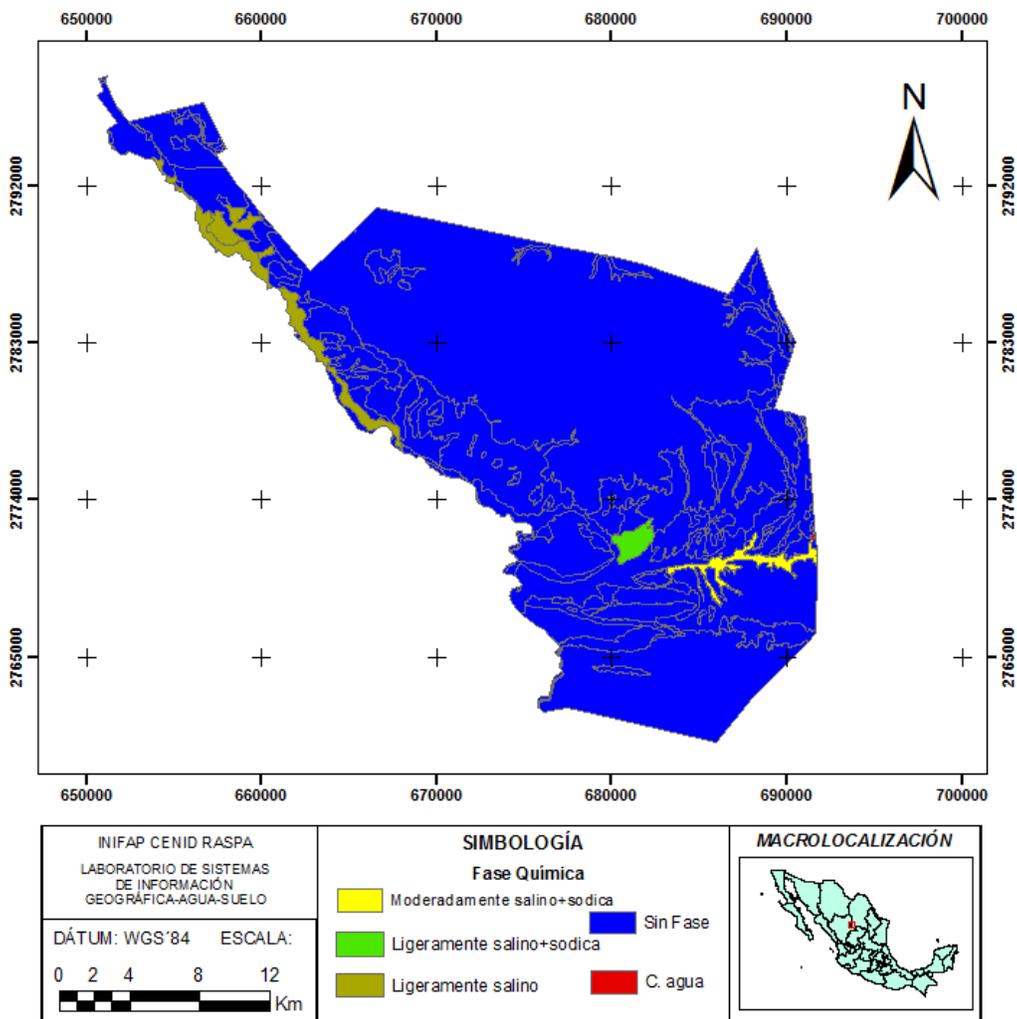
**Moderadamente salino – sódica:** Presentan ambas fases con sus características particulares. Su contenido de sales en el subsuelo es alto (conductividad eléctrica de 8 a 16 mmhos), de tal forma que la mayoría de los cultivos no se desarrollan o tienen pocos rendimientos.

**Sódica:** Se refiere a altos contenidos de álcali en el suelo, esto es, gran concentración de sodio (con saturación intercambiable de 15 a 40%), que impide o limita muy fuertemente el desarrollo de todos los cultivos.

**Cuadro 4.7: Superficie de la REMSyCJ con presencia de fase química.**

<b>Fase química</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Sin fase</b>	58,303.4	96.12
<b>Ligeramente salino</b>	1,439.7	2.37
<b>Moderadamente salino-sódica</b>	571.5	0.94
<b>Ligeramente salino-sódica</b>	332.0	0.55
<b>C. agua</b>	10.5	0.017

Las superficie que presentan estas fases químicas en el suelo se indican en el Cuadro 4.7, la mayor parte de la REMSyCJ no presentan ninguna fase química (96.1%) y solo menos del 3.9% de la superficie total de la Reserva presenta alguno de los tipos anteriormente mencionados con una distribución espacial tendiente a la parte oeste y sureste de la Reserva como se indica en el mapa de la Figura 4.7.



**Figura 4.7: Fases químicas presentes en la REMSyCJ**

### Fase física

Cualquier obstáculo de fragmento de roca y materiales cementados que impidan o limiten el uso agrícola del suelo y el empleo de maquinaria agrícola entre otros aspectos. Divididas en fases superficiales y de profundidad (INEGI, 2004).

La descripción de las fases físicas (superficiales y profundas) propuestas por el INEGI, 2004, existentes en los suelos de la REMSyCJ son las siguientes:

**Cuadro 4.8: Superficie de la REMSyCJ con presencia de fase física.**

<b>Fase física</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Sin fase</b>	41,157.2	67.85
<b>Petrocálcica</b>	16,400.6	27.04
<b>Gravosa</b>	2,765.0	4.56
<b>Pedregosa</b>	253.8	0.42
<b>Lítica</b>	70.0	0.12
<b>C. agua</b>	10.5	0.017

**Fase pedregosa:** Presencia de piedras de 7.5 cm o de mayor diámetro en la superficie o dentro de los 30 cm de profundidad.

**Fase gravosa:** Presencia de gravas menores a los 7.5 cm de diámetro en la superficie del terreno o dentro de los 30 cm de profundidad.

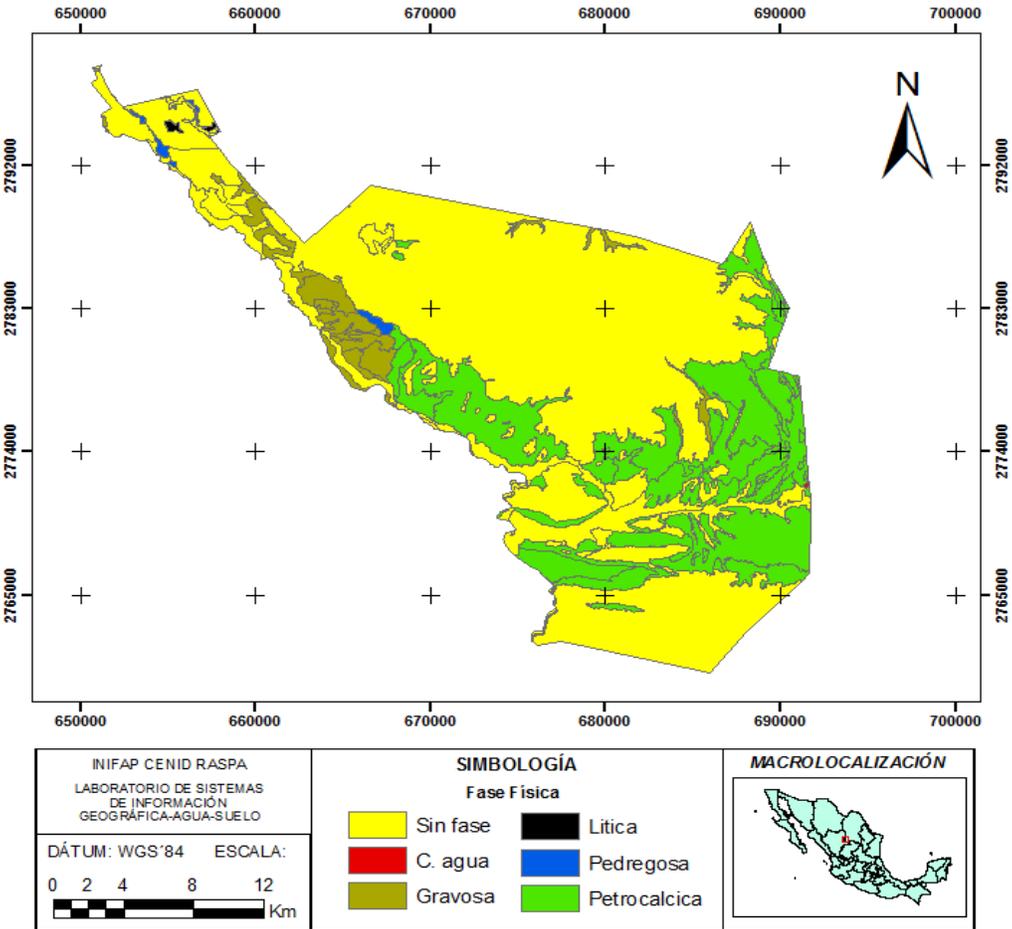
**Fase lítica (somera) y lítica profunda:** Capa de roca dura y continua o un conjunto de trozos de roca muy abundantes que impiden la penetración de las raíces.

**Fase petrocálcica(somera) y petrocálcica profunda.** Se refiere a la presencia de una capa de caliche duro. Es una capa cementada y endurecida con carbonatos.

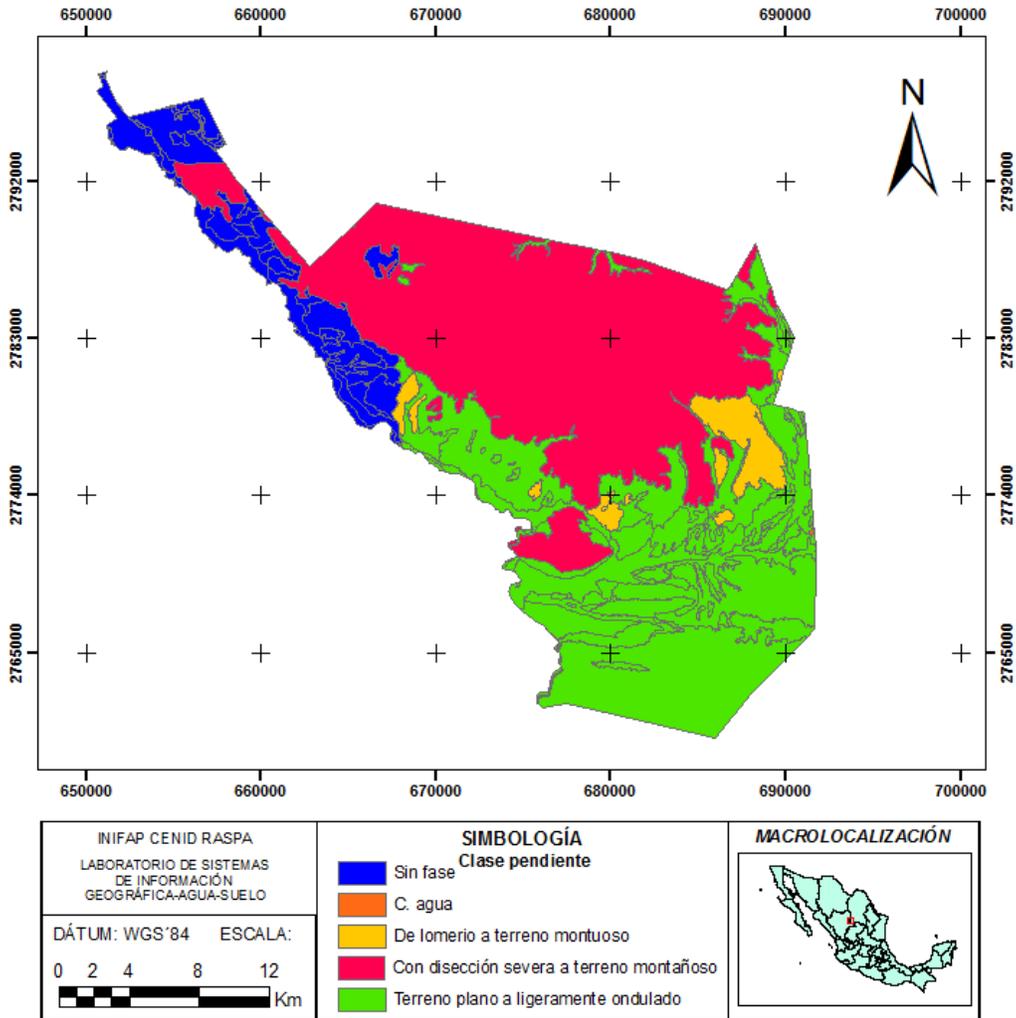
Las fases de profundidad se refieren a capas duras que se encuentran a cierta profundidad y que limitan la capacidad del suelo para las actividades humanas.

Son llamadas someras cuando se encuentran a menos de 50 cm, y profundas, cuando están entre 50 y 100 cm (INEGI, 2004).

El suelo de la REMSyCJ se presenta fases físicas en un 32.2% aproximadamente, un poco más del 67.8% no presentan ningún tipo de fase física, Cuadro 4.8. La fase con mayor extensión geográfica sobre la Reserva es la petrocálcica, así como gravosa, pedregosa y lítica. En el mapa de la Figura 4.8, se muestra la distribución geográfica de cada una de las fases físicas del suelo de la Reserva.



**Figura 4.8: Fases físicas presentes en la REMSyCJ**



**Figura 4.9: Tipos de clase pendiente en la REMSyCJ**

#### 4.2.4 Clase pendiente

De acuerdo al mapa de la Figura 4.9, en la REMSyCJ el tipo de pendiente que predomina en un 45.3% es la de terreno con disección severa a terreno montañoso, situada desde el centro al norte sobre las serranías de la Reserva, posteriormente se encuentra la clase pendiente de terreno plano a ligeramente ondulado en un 40.6% del área, al suroeste, sureste y sur del área. Al noroeste de la Reserva en un 10.3% de la superficie están los suelos que no presentan ningún tipo de clase de pendiente, el resto pertenece a la clase de lomerío a terreno

montuoso, en el Cuadro 4.9 se describen las superficies y su equivalencia en porcentajes totales cubiertos en el área por cada una de los tipos de pendiente.

**Cuadro 4.9: Superficie de la REMSyCJ con algún tipo de clase de pendiente.**

<b>Tipo de pendiente</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>De terreno con disección severa a terreno montañoso</b>	27,455.5	45.26
<b>De plano a ligeramente ondulado</b>	24,674.0	40.68
<b>Sin clase</b>	6,220.4	10.26
<b>De lomerío a terreno montañoso</b>	2,296.7	3.79
<b>C. agua</b>	10.5	0.017

### **4.3 USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN**

Desde hace aproximadamente 40 años, en México se han elaborado inventarios de la superficie bajo diferentes usos. Sin embargo, dichos estudios no pueden ser claramente comparables debido a que utilizan distintas fuentes de información (p. e. fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.) herramientas tecnológicas (p .e. mapas en papel, cartas digitales, sistemas de información geográfica, etc.) y clasificaciones diversas de los usos del suelo (SEMARNAT, 2009a).

Para la evaluación de este tema se empleó información elaborada por el INEGI, la cual se encuentra disponible en forma de cartas topográficas sobre Uso del Suelo y Vegetación. Con dichas cartas se generó un sistema de información geográfica para el caso del área de estudio.

En el Sistema de Información Geográfica que se generó, se encuentra detallada esta información en los atributos asociados a cada polígono digitalizado de las

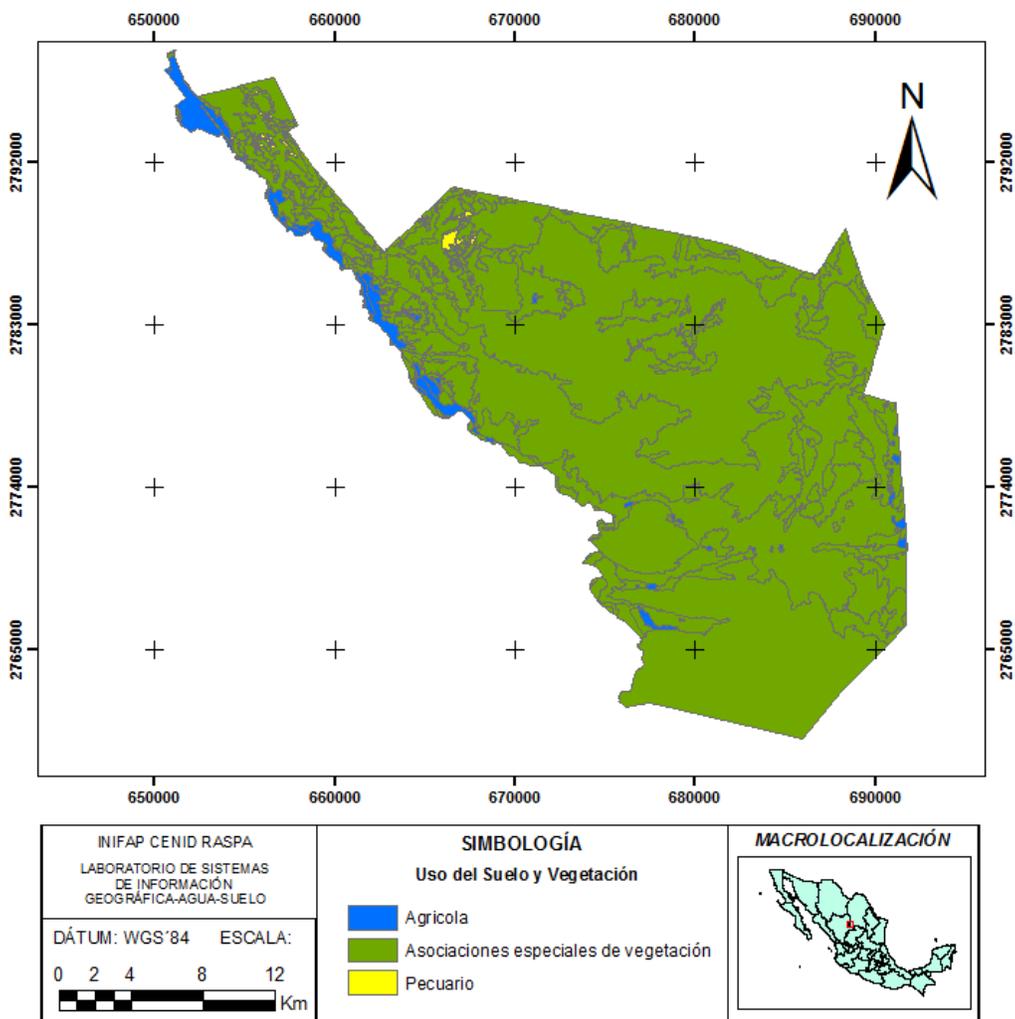
cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI escala 1:50,000. De esta información se obtuvo que en la Reserva se encuentran tres usos importantes, que vienen siendo las Asociaciones especiales de vegetación, la Agricultura y Pecuario. A continuación se detalla, en un principio, los principales usos del suelo de la Reserva y posteriormente, cada uno de estos usos predominantes, se desagrega en los distintos tipos y asociaciones de vegetación que lo integran.

#### **4.3.1 Uso del suelo**

El principal uso del suelo en la REMSyCJ son las asociaciones especiales de vegetales, este tipo de asociaciones cubren el 96.7% de la superficie de la Reserva (Cuadro 4.10). Posteriormente se encuentra la agricultura con una superficie del 3.0% del total de la Reserva, en tanto que el uso pecuario se encuentra en menor proporción debido a que solo representa el 0.3% de la superficie en el área de estudio (Cuadro 4.10). La distribución geográfica de los principales usos del suelo se muestra en el mapa de la Figura 4.10.

**Cuadro 4.10: Tipo de uso del suelo en la REMSyCJ.**

<b>Uso predominante</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Asociaciones especiales de vegetación</b>	58,648	96.7
<b>Agricultura</b>	1,835	3.0
<b>Pecuario</b>	174	0.3
<b>Superficie total</b>	60,657	100



**Figura 4.10. Distribución de los principales Usos del Suelo en la Reserva.**

### 4.3.2 Agricultura

La agricultura en la REMSyCJ se desarrolla solo en el 3% de la superficie, de acuerdo al INEGI esta se clasifica en función de la disponibilidad del agua y actividades agrícolas (INEGI, 2005c). Así, se tiene que en le Reserva se encuentran cinco tipos de agricultura que son: agricultura de riego; de temporal; de riego suspendido; de temporal nómada y con riego eventual (Cuadro 4.11). A continuación se realiza una descripción detallada de cada uno de los diferentes

tipos de agricultura presentes en la Reserva, donde por su superficie sobresale la agricultura de riego.

**Cuadro 4.11: Tipos de Agricultura presentes en la REMSyCJ.**

<b>Tipo de agricultura</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>De riego</b>	1,407	76.7
<b>De temporal</b>	295	16
<b>De riego suspendido</b>	117	6.4
<b>De temporal nómada</b>	15	0.8
<b>Con riego eventual</b>	1	0.1
<b>Total</b>	<b>1,835</b>	<b>100</b>

### **De riego**

La agricultura que se practica en la REMSyCJ de manera potencial es de riego, este tipo de agricultura se establece en el 76.7% de la superficie utilizada por esta actividad(Cuadro 4.11), en la cual en el 54.7% se establecen cultivos semipermanentes y en el resto cultivos anuales. Esta agricultura se desarrolla al oeste de la Reserva, sobre el margen del río Aguanaval, donde existen áreas ideales para desarrollar esta actividad(Figura 4.11).

Esta agricultura considera los diferentes sistemas de riego (método con el que se le proporciona agua a los cultivos, durante el ciclo agrícola), básicamente, es la manera de cómo se realiza la aplicación del agua, por ejemplo la aspersion, goteo, o cualquier otro tipo de técnica (INEGI, 2005c).

## **De Temporal**

Este tipo de agricultura se desarrolla al sur y sureste de la Reserva (Figura 4.11), sobre el 16 % de la superficie utilizada por esta actividad (Cuadro 4.11). En este tipo de agricultura los cultivos que se establezcan únicamente dependen del agua de lluvia, sea independiente del ciclo vegetativo del cultivo establecido en el suelo, de una año o más de diez como los frutales (INEGI, 2005c).

## **De riego suspendido**

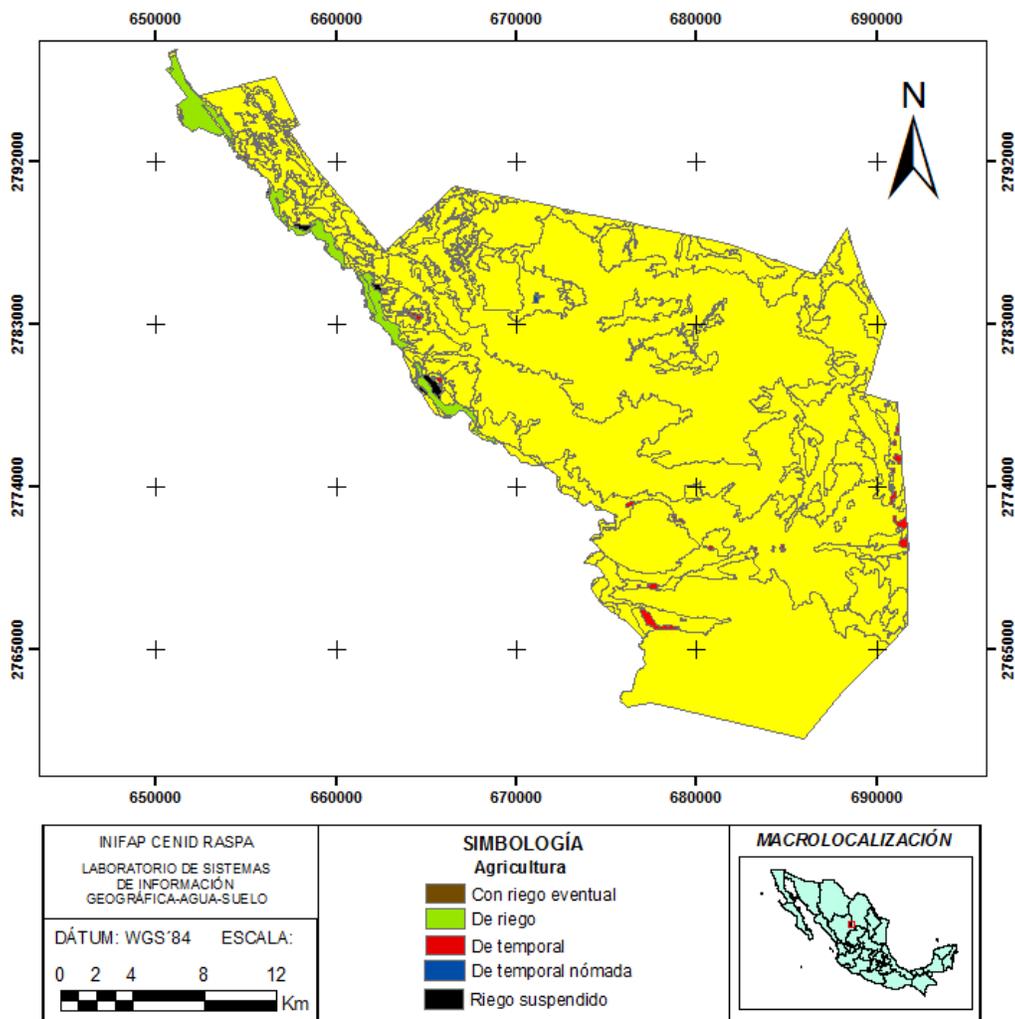
Son áreas en cuales anteriormente se desarrollaba algún tipo de agricultura de riego, pero en la actualidad no reciben riego; esto se debe principalmente por falta de agua o que se abandonó la infraestructura hidráulica por los altos costos, por el abatimiento de los pozos o bien, por mala calidad del agua o acumulación de sales en el suelo que no permitan el desarrollo de la agricultura (INEGI, 2005c). En la REMSyCJ se encuentran pequeñas áreas al noroeste y oeste (Figura 4.11), que se dejaron de regar, por algún tipo de problema antes mencionado. Son áreas pequeñas que juntas cubren en el 6.4% de superficie utilizada por la actividad agrícola (Cuadro 4.11).

## **De temporal nómada**

Este tipo de agricultura se practica en un área relativamente pequeña al centro de la Reserva (Figura 4.11), solo se practica en el 0.8% de la superficie utilizada por la actividad agrícola (Cuadro 4.11). Este tipo de agricultura se desarrolla en áreas que se cultivan por periodos de 1 a 5 años y que después, son abandonadas principalmente por pérdida de fertilidad del suelo.

## Con riego eventual

Dentro de la Reserva se encuentran pequeñas áreas que son utilizadas para la agricultura de riego eventual, estas se encuentran al oeste del área de estudio (Figura 4.11) y solo representan el 0.1% de superficie total utilizada por la agricultura de la Reserva (Cuadro 4.11). Se le llama así a las áreas donde la irrigación es parcial durante el ciclo vegetativo de los cultivos; es decir cuando el agua no está asegurada totalmente.



**Figura 4.11. Tipos de agricultura en la Reserva.**

### 4.3.3 Actividad pecuaria

En la REMSyCJ esta actividad se desarrolla en pequeñas áreas de pastizales (0.3% de superficie total de la Reserva), al noroeste de dicha área. En esta área se localizan dos principales tipos de pastizales.

Los pastizales se caracterizan por la dominancia de gramíneas (pastos o zacates) o gramínoideas, y que en condiciones naturales se desarrollan bajo la interacción del clima, suelo y biota. Existen habitualmente por todas partes del país, pero son mucho más extensos en las regiones semiáridas y de clima más bien frescos. También cabe mencionar que en general, son más comunes observarlos en zonas planas o de topografía ligeramente ondulada y con menos frecuencia se presentan sobre declives pronunciados (INEGI, 2009b).

#### Pastizal natural

Este tipo de pastizal es el más utilizado para el sistema pecuario, ya que se encuentra en mayor proporción dentro del área de estudio, se distribuyen al noroeste de la Reserva (Figura 4.12), en una superficie aproximada del 92% de la superficie utilizada por este sistema (Cuadro 4.12).

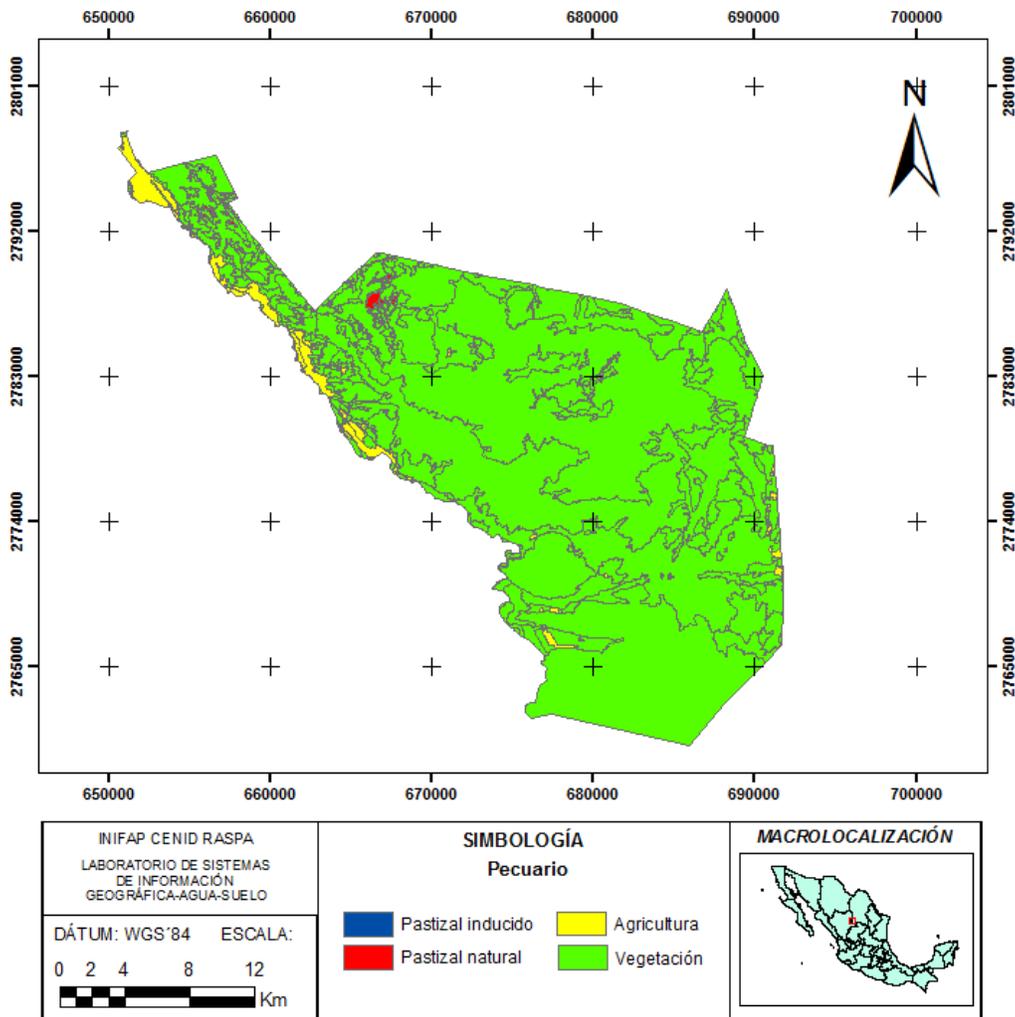
**Cuadro 4.12: Vegetación utilizada por el sistema pecuario en la REMSyCJ.**

<b>Vegetación</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Pastizal natural</b>	160	92
<b>Pastizal inducido</b>	14	8
<b>Total</b>	174	100

Los pastizales naturales son considerados principalmente como un producto natural de la interacción del clima, suelo y biota de una región. Es una comunidad dominada por especies de gramíneas, en ocasiones acompañadas por hierbas y arbustos de diferentes familias, como son: compuestas, leguminosas etc. su principal área de distribución se localiza en la zona de transición entre los matorrales xerófilos y la zona de bosques (INEGI, 2009b).

### **Pastizal inducido**

Este tipo de pasto surge cuando es eliminada la vegetación original. Puede aparecer como consecuencia de desmontes de cualquier tipo de vegetación; también se puede establecer en áreas agrícolas abandonadas o como producto de áreas que se incendian con frecuencia (INEGI, 2005c). En el caso de la Reserva este tipo de vegetación se encuentra distribuida al noroeste (Figura 4.12), en pequeñas áreas que son utilizadas para el sistema pecuario, cubren una superficie del 8 % del total de la superficie utilizada por este sistema (Cuadro 4.12).



**Figura 4.12. Tipos de pastizales utilizados para el sistema pecuario en la Reserva.**

#### 4.3.4 Tipos de Vegetación del área de estudio

A nivel nacional la vegetación ha sido conceptualizada bajo distintos criterios, como es el caso de (Rzedowski, 1978) que hace un análisis de la clasificación propuesta por (Leopold, 1950) así como (Miranda y Hernández, 1963), (Flores et al., 1971), las cuales se basan en la fisonomía y la forma de vida de las especies dominantes. En cuanto al grado de especificación, la clasificación de Rzedowski permite distinguir más detalladamente los diferentes tipos de vegetación, por dicha

razón el INEGI realiza una descripción de los distintos tipos de vegetación de México, basándose en la clasificación propuesta por Rzedowski(INEGI, 2005c). Con base a estos criterios y de acuerdo a la información obtenida del INEGI al digitalizar las cartas de Uso del Suelo y Vegetación, se obtuvo que las asociaciones especiales de vegetación son las que predominan en el área, a continuación se hace una descripción de los diez tipos de vegetación presentes en la REMSyCJ:

**Cuadro 4.13: Tipos de vegetación presentes en la REMSyCJ.**

<b>Vegetación</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Crasi-rosulifolios espinosos</b>	28,393	48.4
<b>Chaparral</b>	14,412	24.6
<b>Matorral subinorme</b>	7,390	12.6
<b>Matorral desértico resetófilo</b>	2,810	4.79
<b>Matorral desértico micrófilo</b>	1,716	2.93
<b>Matorral inorme</b>	1,513	2.58
<b>Matorral submontano</b>	1,224	2.08
<b>Matorral espinoso</b>	932	1.58
<b>Vegetación halófila</b>	230	0.39
<b>Áreas sin vegetación aparente</b>	28	0.05
<b>Vegetación total</b>	<b>58,648</b>	<b>100</b>

## **Crasiosulifolios espinosos**

Esta vegetación es la que más predomina en el área de estudio, debido a que cubre el 48.4% de la superficie cubierta por las asociaciones especiales de vegetación del área (Cuadro 4.13), su distribución es prácticamente por toda el área, pero con mayor dominancia en los alrededores o sobre las faldas de las serranías, a una elevación que va desde los 1,300 hasta los 2,000 msnm (Figura 4.13).

La vegetación crasiosulifolia son asociaciones de plantas con hojas dispuestas en rosetas, carnosas y espinosas como: *Agave spp.* (Magueyes), *Hechtia spp.* (Guapillas), *Agave lechuguilla* (Lechuguilla), *Agave striata* (Espadín), *Dasylirops spp.* (Sotoles, Cucharillo), etcétera (INEGI, 2005c).

## **Chaparral**

Esta vegetación se localiza sobre las serranías más altas al centro de la Reserva (Figura 4.13), son parte importante al cubrir las simas del cerro Centinela, aparecen por arriba de la vegetación crasiosulifolia espinosa, a una elevación de 2,000 a los 3,120 msnm, cubriendo una superficie del 24.6% de la superficie utilizada por la vegetación (Cuadro 4.13), para el caso de la REMSYCJ esta vegetación es la más importante debido a que está mezclada con bosque natural, siendo el pino una de las especies decretada como especie prioritaria a conservación de la zona núcleo A de la REMSYCJ (Ayuntamiento Torreón, 2003).

La especie de pino presente en la REMSYCJ es el *Pinus cembroides* spp., distinguido por ser un árbol generalmente bajo, de 4 a 15 m de altura, de 20 a 60

cm de D.A.P.; ramas ascendentes, irregularmente distribuidas formando una copa abierta y en los arboles maduros de forma redondeada, a veces ampliamente cónica y las ramas descendentes o curvadas hacia abajo, en los árboles jóvenes las ramas son ascendentes, regularmente espaciadas, cubriendo el 70 a 90 por ciento del fuste y formando una capa densa, redondeada o cónica. Corteza lisa y de color gris claro sobre las ramas, delgada y en pequeñas placas sobre el fuste de árboles jóvenes, de color gris, a veces con tintes rosados, formando placas escamosas irregulares de forma geométrica divididas por surcos profundos longitudinales y horizontales en las partes bajas del tronco en árboles viejos. Madera suave y poco resinosa. Se distribuye ampliamente desde el suroeste de los Estados Unidos (Arizona, Nuevo México y Texas) hasta el centro de México. En áreas de clima templado seco o semiseco, en laderas y planicies entre los 1,800 y 2,600 m de altitud. Con frecuencia se asocia con *Quercus grisea*, *Q. arizonica*, *Q. eduardii*, *Q. emoryi*, *Juniperus* y *Yucca*, formando bosques bajos y abiertos (García y González, 1998).

Los chaparrales son asociaciones generalmente densas, de arbustos resistentes al fuego, que se desarrollan sobre todo en las laderas de los cerros por arriba del nivel de los matorrales de zonas áridas y semiáridas de pastizales naturales y en ocasiones se encuentra mezclada con los bosques de pino y encino. Está constituida por especies arbustivas de *Quercus* spp. (Encinillo, Charrasquillo), *Adenostoma* spp. (Chamizos), *Arctostaphylos* spp. (Manzanita), *Cercocarpus* spp. (Rosa de castilla), etc. (INEGI, 2005c).

### **Matorral Subinerme**

En la REMSyCJ este tipo de vegetación se distribuye principalmente al sureste (Figura 4.13), sobre los escurrimientos pluviales de las serranías que desembocan al río Aguanaval, están presentes a partir de los 1,300 a 1460 msnm por debajo de los crasirosulifolios espinosos, cubren una superficie del 12.6% de la vegetación de la Reserva (Cuadro 4.13).

El matorral subinerme está formado por comunidades de plantas espinosas e inermes, cuya proporción de unas con otras es mayor de 30% y menor de 70% (INEGI, 2005c).

### **Matorral desértico rosetófilo**

Esta vegetación en el área de estudio se encuentra por arriba de la vegetación micrófila y por debajo de los Crasi-rosulifolios espinosos, a una elevación de 1,260 a los 1,380 msnm. Su distribución geográfica esta al noroeste de la reserva (Figura 4.13), y representan el 4.79% de la vegetación en la Reserva (Cuadro 4.13).

Este tipo de matorral es dominado por especies con hojas en roseta, con o sin espinas, sin tallo aparente o bien desarrollado. Generalmente se encuentra sobre xerosoles de laderas de cerros de origen sedimentario, en las partes altas de los abanicos aluviales o sobre conglomerados en casi todas las zonas áridas y semiáridas de centro, norte y noroeste del país. Algunas de las especies con de mayor importancia económica de las regiones áridas son: *Agave*

*lechuguilla*(Lechuguilla), *Euphorbiaantisiphylitica* (Candelilla),  
*Partheniumargentatum* (Guayule), *Yuccacarnerosana* (Palma samyoca) (INEGI,  
2005c).

### **Matorral desértico micrófilo**

En la Reserva esta vegetación empieza aparecer después de los suelos utilizados para la agricultura pero debajo de la vegetación rosetófila a una elevación de los 1,200 a 1,260. Esta vegetación representa el 2.93% del total de la vegetación en la Reserva (Cuadro 4.13), su distribución geográfica se muestra en el mapa de la Figura 4.13.

Es te tipo de matorral de zonas áridas y semiáridas es formado por arbustos de hoja o foliolo pequeño. Se desarrolla sobre terrenos aluviales más o menos bien drenados y puede estar constituida por asociaciones de especies sin espinas, con espinas o mezclados; también pueden estar su composición otras formas de vida, como cactáceas, izotes o gramíneas(INEGI, 2005c).

### **Matorral Inerme**

En el área de estudio dicha vegetación se encuentra distribuida en pequeños manchones al sureste y suroeste de la Reserva (Figura 4.13), la superficie que representa esta vegetación es del 2.58% de la superficie total utilizada por la vegetación(Cuadro 4.13),se encuentra en terrenos con poca inclinación altitudinal que van desde los 1,506 a 1,512 msnm.

Este tipo de matorral está formado por más del 70% de plantas sin espinas, como los matorrales de *Larrea tridentata* (Gobernadora), *Flourensiacernua* (Hojasén), *Cordiagreggi* (Nagua blanca o Trompillo), *Franseriadumosa* (Hierba del Burro) (INEGI, 2005c).

### **Matorral submontano**

Dentro de la Reserva se encuentran suelos cubiertos por este tipo de vegetación, en un rango altitudinal de 1,559 a los 2,000 msnm. Se distribuyen al noroeste del área de estudio (Figura 4.13), sobre las laderas de las serranías, entre la vegetación rosetófila y crasirosulifolia. La superficie cubierta por esta vegetación es del 2.08% de total de vegetación de la Reserva (Cuadro 4.13).

Los matorrales submontanos, son comunidades arbustivas a veces densas, constituidas por especies inermes o a veces espinosas, caducifolias por un breve periodo del año, se desarrollan entre los matorrales áridos y los bosques de Encino y la Selva Baja Caducifolia a altitudes de 1,500 a 1,700 msnm, principalmente sobre las laderas bajas de ambas vertientes de la Sierra Madre Oriental (INEGI, 2005c).

### **Matorral Espinoso**

Este tipo de vegetación se encuentra desde el oeste hasta el suroeste de la Reserva sobre el margen del cauque del río Aguanaval, al sur dos áreas que van del centro al este y oeste de la Reserva (Figura 4.13), la superficie que cubre esta vegetación es del 1.58 % del total de la vegetación de la Reserva (Cuadro 4.13).

Este tipo de matorral está constituido por más del 70% de plantas espinosas. Dentro de estos tipos de matorrales son frecuentes los de *Acacia farnesiana*(Huizache), *Prosopisspp.* (Mezquite), *Mimosa spp.* (Uña de gato), *Acacia amentácea*, *Cacaciafarnesiana*, *Acacia vernicosa* (Chaparro prieto).

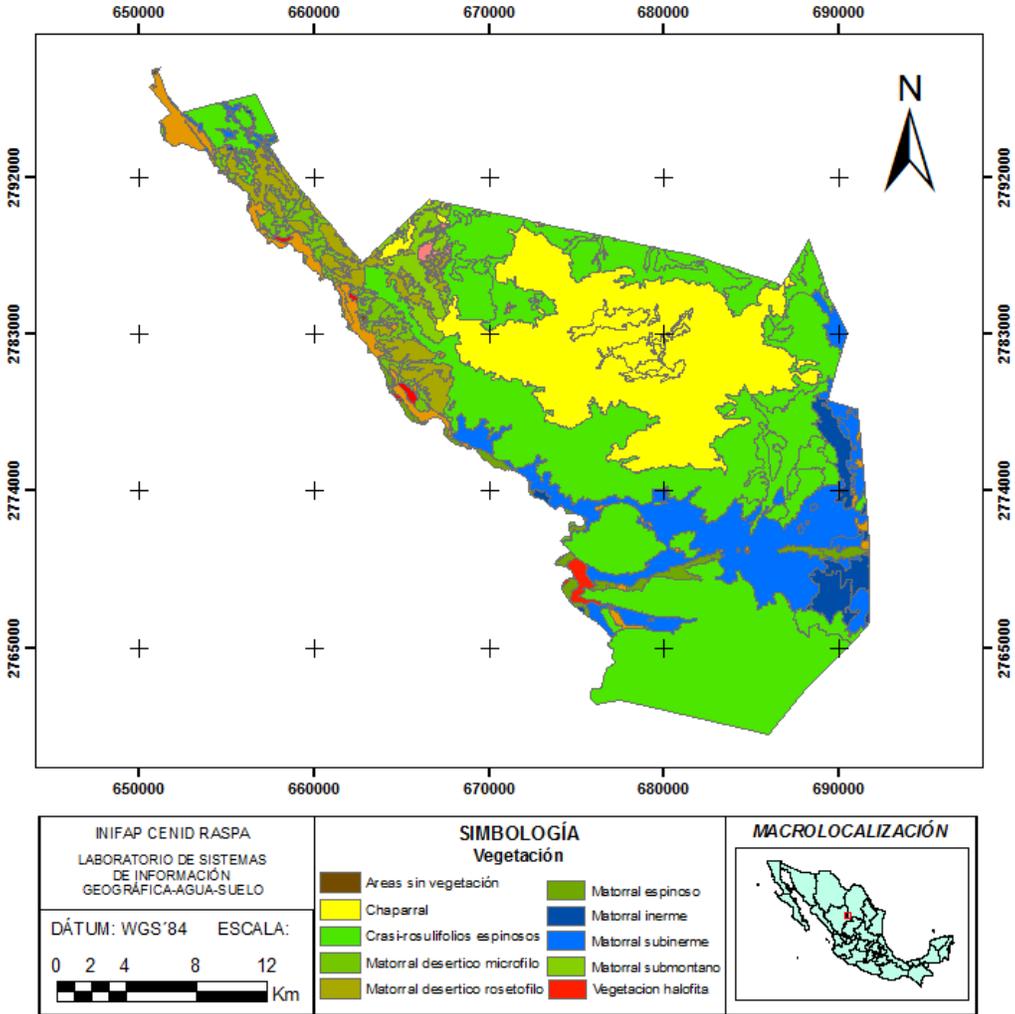
### **Vegetación halófila**

Esta vegetación se encuentra al sur de la Reserva (Figura 4.13), representa el 0.39% de la vegetación presente en el área (Cuadro 4.13). Esta vegetación es caracterizada por la dominancia de especies herbáceas y arbustivas de escasa cobertura. Se desarrolla sobre suelos con alto contenido de sales, en áreas próximas a las costas entre 0 50 msnm, en partes bajas de las cuencas cerradas de las zonas áridas y semiáridas, también suele encontrarse en áreas de marisma. Las especies dominantes corresponden estrictamente a halófitas como Chamizo (*Atriplespp.*), romerito (*Suaedaspp.*), vidrillo (*Batis marítima*), hierva reuma (*Frankeniaspp.*), alfombrilla (*Abronia marítima*), y lavanda (*Limonium spp.*). Otras de las especies capaces de soportar estas condiciones son verdolaga (*Sesuvium spp.*), zacate toboso (*Hilaria spp.*), zacate (*Eragrostis obtusiflora*), entre otras (INEGI, 2005c).

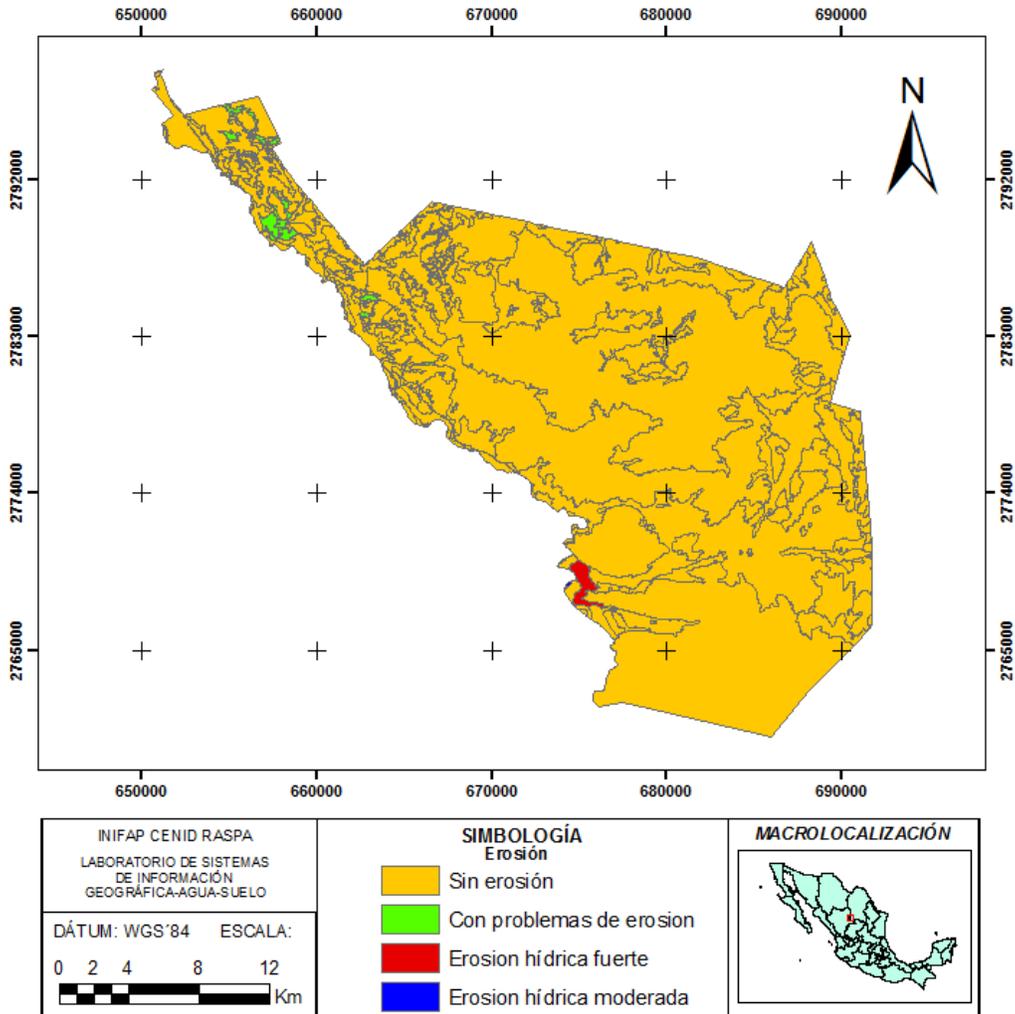
### **Áreas sin vegetación aparente**

Dentro de este tema se incluyen los depósitos litorales, jales, dunas y bancos de ríos que se encuentran desprovistos de vegetación o que dicha vegetación no es aparente, y por esta razón no se le pudo considerar bajo alguno de los conceptos de vegetación (INEGI, 2005c).

En el caso de la REMSyCJ hay pequeñas áreas desprovistas de vegetación natural, se estima que solo el 0.05% de la superficie de la Reserva se encuentra sin algún tipo de vegetación aparente (Cuadro 4.13), estas pequeñas áreas se distribuyen al noroeste del área de estudio (Figura 4.13).



**Figura 4.13: Tipos de Vegetación presentes en la Reserva**



**Figura 4.14: Suelos con algún tipo de erosión en la Reserva**

#### 4.3.5 Erosión

La erosión es considerada como la degradación del suelo por desgastes del mismo. Se considera únicamente a procesos de erosión favorecidos por actividades humanas y naturales. En el área de la REMSyCJ solo el 1.11% de los suelos presentan este problema. De los cuales el 0.4% son los más degradados por presentar erosión hídrica de manera fuerte (Cuadro 4.14), estos suelos con algún tipo de erosión se localizan al noroeste y suroeste de la Reserva, siendo su principal causa los escurrimientos pluviales de las serranías (Figura 4.14).

**Cuadro 4.14: Superficie dañada por la erosión.**

<b>Erosión</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Total (%)</b>
<b>Con problemas de erosión</b>	432	0.7
<b>Erosión hídrica fuerte</b>	223	0.4
<b>Erosión hídrica moderada</b>	7	0.01
<b>Sin problema de erosión</b>	59,995	98.88

## V. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en el presente trabajo de tesis se relacionan con una descripción detallada de la información que en diferentes temas (Geología, Edafología, Hidrología, etc.) tiene el INEGI a la escala 1:50,000.

Para ello, se estructuró e integró un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco. En este SIG se integró la información detallada de los temas: Uso del Suelo y Vegetación, Geología, Edafología, Topografía y los Modelos Digitales de Elevación.

En el tema de Geología, los resultados mostraron que más del 50% de la superficie de la Reserva es material de origen calcáreo, en tanto que los conglomerados, es decir aquel material formado por arrastre fluvial, representan el 16% de la superficie. Otras formaciones geológicas de menor importancia se cuantificaron y se ubicaron geográficamente dentro del área. En relación al origen de los suelos, predominan aquello de origen aluvial, ocupando poco más del 27% de la superficie de la Reserva, en tanto que los originados de piedemonte, representan el 0.8%. Otro de los aspectos asociados a la Geología fue el de las estructuras geológicas. Así, se detallan las ubicaciones de las principales fracturas y fallas geológicas, haciendo la diferenciación entre los plegamientos, ejes sinclinal y anticlinal, como el tipo de buzamiento. La utilidad de esta información se relaciona con la hidrología del área, ya que en este tipo de fallas la infiltración del agua es de mayor magnitud.

En el tema de Edafología, se determinó que en la Reserva se presentan 11 unidades y subunidades reconocidas por el INEGI. De los diferentes tipos de suelo en el área, el Litosol con subunidad eútrico es la que mayor presencia tiene, abarcando el 81.12 % de la superficie total de la Reserva. Su distribución ocurre en el relieve más pronunciado, en un rango altitudinal que va de los 1,290 hasta los 3,120 msnm. En menor proporción, pero ocupando poco menos del 10% de la superficie, se encuentran los suelos Xerosol y Yermosol háplico, con 6.3 y 3.3% respectivamente. Por su parte, la textura del suelo que cubre el 97% de la Reserva, es de clase media de acuerdo a la clasificación del INEGI, en tanto que solo el 2.6% es considerada fina y el resto del suelo con textura gruesa. De igual forma, las fases de los suelos explican en gran medida sus posibles usos o condición en la que se encuentran. No obstante, el 96% de la superficie no presenta fase química, aunque poco más de 1,400 ha se reconocen con una condición ligeramente salina (2.3%), y en 570 ha (1.0%), es considerada moderadamente salino sódica. En relación a la fase física de los suelos, en el 68% del área no se presenta este tipo de fase, en tanto que en el 27% se presenta la fase petrocálcica, es decir la presencia de una capa cementada y endurecida de carbonatos llamada caliche. Finalmente, en relación a la información analizada de la orografía o pendiente del terreno, se pudo contabilizar que el 45% de la superficie es de tipo montañoso, con pendiente pronunciada y de tipo escarpado, el cual corresponde a la mayor parte de la Sierra de Jimulco, en tanto que el 40% es del tipo ondulado a plano.

Para el caso del tema del Uso del Suelo y Vegetación, se tiene que alrededor del 3% de la superficie de la Reserva es de uso agrícola, el 0.3% de uso pecuario y el resto corresponde a las diferentes asociaciones de vegetación. De las 1,800 ha que corresponden a la agricultura, el 76% es de riego y el 6% de medio riego. En relación a la vegetación, la Crasi-rosulifolios es la que más predomina en el área de estudio, ya que cubre el 48.4% de la superficie cubierta por las asociaciones especiales de vegetación. Se distribuye prácticamente por toda el área, pero con mayor dominancia en los alrededores o sobre las faldas de las serranías, a una elevación que va desde los 1,300 hasta los 2,000 msnm. Este tipo de asociación de plantas presenta hojas dispuestas en rosetas, carnosas y espinosas tales como: *Agave spp.* (Magueyes), *Hechtiaspp.* (Guapillas), *Agave lechuguilla* (Lechuguilla), *Agave striata* (Espadín), *Dasyilirionspp.* (Sotoles, Cucharillo). El segundo tipo de asociación presente en la Reserva es el Chaparral, el cual se localiza sobre las serranías más altas al centro de la Reserva. Son parte importante al cubrir las simas del cerro Centinela, apareciendo en altitudes mayores a la vegetación crasirosulifolia espinosa, a una elevación de 2,000 a los 3,120 msnm. Su distribución cubre una superficie del 24.6% de la superficie de la Reserva, siendo esta vegetación la más importante debido a que se encuentra mezclada con bosque natural, donde el pino es una de las especies decretada como especie prioritaria a conservación de la zona núcleo de la Reserva. Otro tipo de asociaciones también son de importancia para la Reserva sobre todo por su cobertura, sobresaliendo la de Matorral subinerme, el Matorral desértico rosetófilo y el Matorral desértico micrófilo con el 12.6, el 4.7 y el 2.9% respectivamente.

De esta forma, y en base a lo anteriormente presentado, se puede apreciar la utilidad que tienen los Sistemas de Información Geográfica aplicados a casos específicos como la caracterización de la Reserva Ecológica. Para ello, en este trabajo de tesis se presenta la metodología así como los diferentes procesos involucrados en el manejo de la información espacial en temas de relevancia para la conservación y manejo de los recursos naturales. Más allá de la utilidad que pueda representar la conformación del SIG para el área de la Reserva, en este trabajo de tesis se trató de plasmar los aspectos metodológicos así como los alcances que se pueden lograr a través de la aplicación de este tipo de herramientas. En el área de Agroecología, es importante el uso de los SIG, sobre todo cuando se trata de identificar zonas con potencial productivo, en cuyo caso la contribución de esta tesis también pudiera ser de utilidad.

## **CARTOGRAFÍA CONSULTADA**

### **Topográficas**

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica G13D56. 1972. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica G13D46. 1989. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica G13D35. 1998. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica G13D45. 2001. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos.

### **Edafología**

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Edafológica G13D35. 1978 Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Edafológica G13D45 1978 Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Edafológica G13D46 1972 Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Edafológica G13D56 1972 Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

### **Uso del suelo y Vegetación**

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Uso de suelo y vegetación G13D46. Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. Estados Unidos Mexicanos.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Uso de suelo y vegetación G13D56. Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. Estados Unidos Mexicanos.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1978. Carta Uso de suelo y vegetación G13D35. Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. Estados Unidos Mexicanos.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1978. Carta Uso de suelo y vegetación G13D45. Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. Estados Unidos Mexicanos.

### **Geología**

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Geológica G13D46. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1972. Carta Geológica G13D56. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1976. Carta Geológica G13D35. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1977. Carta Geológica G13D45. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000.

## VI LITERATURA CONSULTADA

- Alonso, F. 2004. SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos. In Métodos y técnicas de análisis de riesgos climáticos II curso de verano de la asociación Española de climatología, 70.
- Ayuntamiento Municipal de Torreón 2002. Ordenamiento ecológico del territorio.
- Ayuntamiento Torreón 2003. Reglamento de la Reserva Ecológica Municipal "Sierra y Cañón de Jimulco" (Torreón Coahuila).
- Bautista, F., Palma-López, D., Huchin-Malta, W., 2005. Actualización de la clasificación de los Suelos del estado de Yucatán. 105-122.
- Blanco, E. 2003. Plan de manejo de la Reserva Ecológica y Sierra de Jimulco (Torreón, Coahuila, Bideser, A.C., WWF, FAZ-UJED, UAAAN-UL, R. Ayuntamiento de Torreón y XIMOLCUX A. C.), 145.
- Briones, M. 2008. La riqueza de Jimulco y de Torreón. In El Silgo de Torreón (Torreón, Coahuila).
- Buzai, G.D., Robinson, D.J., 2010. Sistemas de Información Geográfica en América Latina (1987-2010). Un análisis de su evolución académica basado en la CONFIBSIG. 1-18.
- CEMDA 2011. México segundo lugar del Mundo en cantidad de especies en peligro (Centro Mexicano de Derecho Ambiental).
- CNA, 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Comisión Nacional del Agua, México, D. F., 181 p.

- CONABIO-IMAE-UAA 2008. La Biodiversidad en Aguascalientes: Estudio de Estado (México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE) Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA)).
- CONABIO, 2009. Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿par qué? Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F., 87 p.
- CONABIO 2012. CONABIO Dos Décadas de historia 1992-2012 (México, D. F., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), 102.
- CONABIO, CONANP, TNC, PRONATURA, FCF, UANL, 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Prograga México, Pronatura, A. C., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México., México, 127 p.
- CONAFOR 2010. Los bosques de México frente al cambio. In Comisión Nacional Forestal (México), 11.
- CONANP 2010. Logros 2010. 10 años sembrando semillas, cosechando logros (México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 250.
- Cruz, M.R. 2005. Cartografía en el aula de informática: el uso de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica. In IV Encuentro de Educadores en Ciencia y Tecnología. Dirección de Cultura y Educación (San Bernardo).

- Domínguez, J., 2000. Breve introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), Madrid, España, 38 p.
- Estrada-Ávalos, J., Orona-Castillo, I., Trucíos-Caciano, R., Rivera-González, M., 2009. Integración de un SIG en la cuenca baja del río nazas: enfoque y metodología. AGROFAZ9, 99-103.
- Fadil, A., Rhinane, H., Kaoukaya, A., Kharchaf, Y., Bachir, O.A., 2011. Hydrologic modeling of the Bouregreg watershed (Morocco) using GIS y SWAT model. Scientific Research3, 279-289.
- FAO 2009. Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina (Roma, Italia), 125.
- Flores, G., Jiménez, J., Madrigal, X., Moncayo, F., Takaki, F. 1971. Memoria del mapa de tipos de vegetación de la Republica Mexicana. In Secretaría de Recursos Hidráulicos (México, D. F.).
- García, A., y González, S., 1998. Pinaceas de Durango. Instituto de Ecología, Durango, Dgo., 179 p.
- García, C., 2009. Diversidad y distribución de la herpetofauna de la Sierra de Jimulco en la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco, Torreón, Coahila. UJED.
- Glennon, R., Booth, B., Shaner, J., MacDonald, A., Sanchez, P. 2004. Editing GIS Features Tutorial, Enviromental System Research Institute, I.E., ed. (United States of America).
- Gob. Coahuila, Z. 2002. Estudio previo justificativo para la protección de la Sierra de Jimulco como Reserva Ecológica Sierra de Jimulco.

- GreenFacts, IUCN, UNEP, WCMC 2006. Consenso Científico sobre la biodiversidad y bienestar humano, 88.
- Guerra, J.A., 2000. Análisis de los parámetros técnicos en la aplicación de los sistemas de información geográfica a la integración regional de las energías renovables en la producción descentrada de electricidad. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Gutiérrez Puebla, J., 2000. Sistemas de información geográfica: funciones, aplicaciones y perspectivas en Mato Grosso do Sul. Revista Internacional de Desarrollo Local1, 41-48.
- Harlow, M., y Vienneau, A. 2003. ArcCatalogo Tutorial (United States of America, Enviromental System Research Institute, Inc. (ESRI)), 29.
- Huete, A.R., Miura, T., Gao, X., 2003. Land cover conversion y degradation analyses through coupled soil-plant biophysical parameters derived from Hyperspectral EO-1 Hyperion. IEEE Transactions on Geoscience y Remote Sensing41, 1268-1276.
- IMTA, 2009. ERIC III, Extractor Rápido de Información climatológica. Información climatológica de la red de estaciones climatológicas existentes en el país. Programa desarrollado por el Instituto Maxicano de la Tecnología del Agua. México.
- Ibarra-Castillo, D., Ruiz-Corral, J.A., Gonzáles-Eguiarte, D.R., Flores-Garnica, J.G., 2008. Clasificación espacial de la textura de los suelos agrícolas de Zapopan Jalisco. XIX Semana Nacional de la Investigación Científica, 37-47.

- INEGI 2001. Diccionario de datos edafológicos escala 1:50, 000 (alfanumérico). (Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 48.
- INEGI 2002. Guía de proyecciones cartográficas (Aguascalientes, Ags., Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 223.
- INEGI 2004. Guía para la interpretación de cartografía Edafología (Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 28.
- INEGI 2005a. Guía para la interpretación de cartografía Geología (Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 21.
- INEGI 2005b. Guía para la interpretación de cartografía Topografía (Aguascalientes, Ags, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 21.
- INEGI 2005c. Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y vegetación (Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 85.
- INEGI 2009a. Diccionario de datos edafológicos. Serie II (Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 35.
- INEGI 2009b. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación, esc. 1:250 000. Serie III. (Aguascalientes, Ags. México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 77.
- INEGI 2011. ¿Qué es un modelo digital de elevación (MDE)? In Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Aguascalientes, México), 1-11.
- Keesing, F., Belden, L.K., Daszak, P., Dobson, A., Harvell, C.D., Holt, R.D., Hudson, P., Jolles, A., Jones, K.E., Mitchell, C.E., Myers, S.S., Bogich, T.,

- Ostfeld, R.S., 2010. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*468, 647-652.
- Leopold, A.S., 1950. Vegetation zones of Mexico. *Ecology*31, 507-517.
- LGEEPA 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Liria, J., 2008. Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*79, 281-284.
- Miranda, F., Hernández, X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. (*Boletín de la Sociedad Botánica de México*), 28-73.
- Molina, I., 2001. Los sistemas de información geográfica en epidemiología. *RESPYN*2, 6.
- Nájera, O., Bojórquez, J.I., Cifuentes, J.L., Maceleño, S., 2010. Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Bíociencias*1, 19-29.
- Negrón, P., Séguin, A.M., Aparicio, P. 2007. Manual de lectura y elaboración de mapas (Canada, Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI)), 30.
- Nieto, H., Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., García, M., Salas, J., Martín, M.P., Vilar, L., Martínez, J., Padrón, D., Martín, S., 2008. Propuesta de un sistema espacialmente explícito para evaluar el peligro de incendios. *Serie Geográfica*14, 109-130.
- NOM-059-SEMARNAT-2010. Norma Oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna

silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión,  
exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo

Oropeza-Orozco, O. 2010. Pendiente del terreno, In: Mendoza-Cantú, A., Cram, S., Sommer, I., Oropeza-Orozco, O. (Eds.) Atlas regional de impactos derivados de las actividades petroleras en Coatzacoalcos, Veracruz.México.

PROA, GTZ, Monualcos, A., MOP, VMVDU 2008. Aplicación de los Sistemas de Información Geográficos en la región la Paz. proyecto PROA, desarrollo territorial la Paz (San Salvador), 32.

Quiñonero, J.M., Alonso, F., 2007. Modelación de la dinámica hidrológica y erosiva en barrancos de la cuenca del río quípar (sureste de España) con GRASS. Geofocus7, 188-215.

Ramírez, L., 2005. Las tecnologías de la información geografica aplicadas a la planificación territorial sanitaria. Serie Geográfica12, 57-82.

Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México.

Samper, J., García-Vera, M.A., Pisani, B., Alvares, D., Varela, A., Losada, J.A., 2005. Modelos hidrológicos y sistemas de información geografica para la estimación de los recursos hídricos: aplicación de GIS-Balan a varias cuencas Españolas. VII, 269-274.

Saucedo, N., 2011. Cambio de uso de suelo de los modulos IX y XV del distrito de riego 017 de 1995 a 2009. Universidad Autonoma Chapingo, Bermejillo, Dgo.

SEMARNAT-SNIARN-PNUD, 2010. Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales Edición 2010México.

- SEMARNAT 2009a. El medio ambiente en México 2009: en resumen (México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), pp. 52.
- SEMARNAT 2009b. Informe de la situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de estadísticas ambientales (México), pp. 358.
- SEMARNAT 2010. Aspectos relevantes de la gestión Ambiental en México 2007-2009 (México, D. F., Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), pp. 98.
- SEMARNAT 2011a. Quito Informe de Labores (México, D. F., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), pp. 260.
- SEMARNAT, 2011b. Serie ¿Y el medio ambiente? Biodiversidad Conocer para conservar, Primera Edición Edition. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Tlalpan, México, D. F., 210 p.
- Sillero, N., Martín, S., Celaya, L. 2002. Capítulo X: La metodología cartográfica y el empleo de los sistemas de información geográfica en la distribución y análisis de la herpetofauna, In: Pleguezuelos, J.M., Márquez, R., Lizana, M. (Eds.) Atlas y libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española, Madrid, 535-547.
- Sitjar, J., 2009. Los sistemas de Información Geográfica al servicio de la sociedad. tecnologías de la información geográfica, 9.
- Torreón, C., Bidesert, Jimulco s/f. Biodiversidad de la Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco: Cuadernillo informativo sobre los Recursos Naturales de Jimulco. Compromiso por conservar los

ecosistemas y la biodiversidad del desierto Chihuahuense (Torreón, Coahuila), 23.

Trucíos-Caciano, R., Estrada-Ávalos, J., Paredes-Melesio, R., González, J.L., Valenzuela, L.M. 2010a. Sistemas de Información Geográfica, In: Estrada-Ávalos, J., Trucíos-Caciano, R., Villanueva-Díaz, J., González-Barrios, J.L., Flores-Lui, L.F. (Eds.) Manejo sustentable de los recursos naturales: Sierra de Lobos, León, Guanajuato. CENID-RASPA INIFAP, Gómez Palacio, Durango, 1-34.

Trucíos-Caciano, R., Estrada-Ávalos, J., Rivera-González, M., Delgado-Ramírez, G. 2010b. Compilación y edición de cartografía temática para la conformación de sistemas de información geográfica: Caso de estudio León, Guanajuato (Gómez Palacio, Dgo., CENID-RASPA INIFAP), 50.

Trucíos-Caciano, R., Estrada-Ávalos, J., Rivera-González, M., Guerra-de la Cruz, V., Orona-Castillo, I. 2010c. Sistemas de información geográfica de la cuenca del río Zahuapan, En: Estrada-Ávalos, J., Trucíos-Caciano, R., Villanueva-Díaz, J., Rivera-González, M., Flores-Lui, L.F. (Eds.) Manejo sustentable de los recursos naturales en el Río Zahuapan, Tlaxcala. CENID-RASPA, INIFAP, Gómez Palacio, Dgo., 1-31.

Trucíos-Caciano, R., González-Barrios, J.L., Muñoz-Villalobos, A., Valenzuela-Núñez, L.M., Rivera-González, M., Estrada-Ávalos, J., 2008. Conformación de un sistema de información geográfica para estudios de manejo de recursos naturales. AGROFAZ8: 109-120.

- Trucíos-Caciano, R., Rivera-González, M., Estrada-Ávalos, J., Orona-Castillo, I., 2009. Análisis temporal del cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo en el norte de León, Guanajuato. AGROFAZ9, 105-113.
- Urrutia, J. 2005. Curso de cartografía y orientación, 218.
- Valenzuela-Núñez, L.M., y Estrada-Ávalos, J., 2007. Estado actual de la vegetación natural y usos del suelo en el sur de la sierra de lobos, Guanajuato. AGROFAZ7, 117-124.
- Villarreal, J.A., Encina, J.A., 2005. Plantas vasculares de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. Acta Botanica Mexicana, 1-46.
- Yáñez-Mondragón, C.F. 2007. Las Áreas Naturales Protegidas en México, criterios para su determinación. Caso estudio: Sierra Tarahumara, estado de Chihuahua (México, D.F.), 65.
- Zamorano, P., 2009. La flora y fauna silvestres en México. Estudios Agrarios, 159-167.