



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
Facultad de Ciencias Naturales  
Facultad de Ingeniería  
Facultad de Psicología  
Facultad de Filosofía  
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales  
Facultad de Química

## **MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS**

**Viabilidad del *Agave* como alternativa para controlar la desertificación de la microcuenca Laguna de Guadalupe, Gto.**

### **TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
**Maestro en Gestión Integrada de Cuencas**

#### **Presenta:**

Andrés Mandujano Bueno

#### **Dirigida por:**

M.C. Roberto Paredes Melesio

M.C. Diana Elisa Bustos Contreras

**Santiago de Querétaro, Qro., Febrero de 2013**



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
 Facultad de Ciencias Naturales  
 Facultad de Ingeniería  
 Facultad de Psicología  
 Facultad de Filosofía  
 Facultad de Ciencias Políticas y Sociales  
 Facultad de Química  
 Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**Viabilidad del Agave como alternativa para controlar la desertificación de la microcuenca Laguna de Guadalupe, Gto.**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
**Maestro en Gestión Integrada de Cuencas**

**Presenta:**

Andrés Mandujano Bueno

**Dirigido por:**

M.C. Roberto Paredes Melesio

**Co-dirigida por:**

M.C. Diana Elisa Bustos Contreras

**SINODALES**

M.C. Roberto Paredes Melesio  
 Presidente

Firma

M.C. Diana Elisa Bustos Contreras  
 Secretario

Firma

M.C. Miguel Ángel Hernández Martínez  
 Vocal

Firma

M. en GIC. Milagros Córdova Athanasiadis  
 Suplente

Firma

M. en G. Hugo Luna Soria  
 Suplente

Firma

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca  
 Director de la Facultad de Ciencias Naturales

Dr. Irineo Torres Pacheco  
 Director de Investigación y Posgrado

Camus Aeropuerto  
 Querétaro, Qro.  
 Febrero, 2013  
 México

## RESUMEN

La microcuenca Laguna de Guadalupe se localiza dentro de la franja semiárida de México que se caracteriza por la presencia de condiciones climáticas extremas con precipitación escasa y muy variable, así como una restringida calidad de suelos. La población de la microcuenca vive en situación de marginación, que se manifiesta en condiciones de pobreza, bajo nivel escolar, falta de empleo y altos índices de migración (CONAPO, 2012). La vasta superficie ocupada con Maguey mezcalero (*Agave salmiana*) de forma silvestre, es un recurso natural con que cuenta dicha microcuenca, además de plantaciones realizadas por instituciones estatales, federales y municipales con fines de conservación de suelos. Actualmente el aprovechamiento de este recurso por parte de la población se realiza de manera desordenada, siendo su principal uso como forraje para el ganado, principalmente en época de sequía; sin embargo, desde el punto de vista agroindustrial esta planta puede ser aprovechada como materia prima para la fabricación de mezcal, inulina, jarabe, fibras, etc. En el caso del mezcal el municipio donde se ubica la microcuenca posee una denominación de origen mezcal, la cual ha sido desaprovechada, corriendo el riesgo de perderla y con ello la oportunidad de detonar la economía regional así como el bienestar económico y social de la población. Actualmente existen empresas interesadas en el aprovechamiento agroindustrial del maguey mezcalero, sin embargo, es necesario evaluar las condiciones ambientales, sociales y económicas presentes en la microcuenca para determinar la factibilidad del aprovechamiento del mismo, bajo un manejo sustentable. El presente proyecto plantea realizar un diagnóstico sobre áreas potenciales para la producción de esta planta, enfocado al aprovechamiento agroindustrial y de conservación, utilizando como metodologías los diagnósticos técnico, social y regional, potencial productivo y como herramienta Sistemas de Información Geográfica enmarcados en los límites de la microcuenca, este diagnóstico consiste en el análisis sistemático de información, que permite conocer la situación ambiental, económica y social de una región.

**Palabras clave:** (Semiárido, *Agave*, Desertificación, Diagnóstico regional)

## ABSTRACT

The watershed Laguna de Guadalupe is located inside the semiarid stripe of Mexico which is characterized for the presence of extreme climatic conditions, with variable and scarce rainfall; as well as a restricted quality of soils. The population of the watershed live in marginal situations, manifested in poverty, low educational level, unemployment and high rates of migration (CONAPO, 2012). The vast area covered with Maguey mezcalero (*Agave salmiana*) of wild form, is a natural resource available to this watershed as well as plantations made by state institutions, federal and municipal purposes of soil conservation. Currently the use of this resource by the population is done in a disorderly manner, its main use as fodder for cattle, mainly in the dry season, however, from the point of view farming-industrial this plant can be utilized as raw material for the manufacture of mezcal inulin syrup, fibers, etc. In the case of mezcal the municipality where it is located the watershed has a designation of origin mezcal, which has been wasted, at the risk of losing and thus the opportunity to detonate the regional economy and the economic and social welfare of the population. Currently there are companies interested in taking advantage of the maguey mezcal agribusiness, however, is necessary to assess the environmental, social and economic present in the watershed to determine the feasibility of the use of the same, under sustainable management. This project proposes will evaluate potential areas for the production of this plant, focused on agribusiness and conservation use, using technical diagnostics methodologies, social and regional production potential and as a tool GIS boundaries framed the watershed, this diagnosis is the analysis of information, which identifies the environmental, economic and social development of a region.

**Keywords:** (Semiarid, Agave, Desertification, Regional diagnosis).

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Carolina y a mi hijo Andrés Leonardo, porque sin su apoyo y paciencia hubiera sido imposible el logro de este documento. Disculpas por esos días de ausencia física y mental, con cariño Andrés.

A mis padres por haberme regalado la fortuna de crecer a su lado y por sus enseñanzas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al M.C. Roberto Paredes Melesio, por haberme dado la oportunidad de crecer profesionalmente y como persona gracias a sus enseñanzas. Y un millón de gracias por su paciencia, consejos y la amistad que me ha brindado durante el tiempo que tengo de conocerlo.

A mis asesores, Diana, Migue, Hugo y Mily, por ayudarme a sacar adelante este trabajo, por su amistad y por la oportunidad de conocerlos más que como asesores como personas. Gracias por sus consejos y enseñanzas.

Al M.C. Ramón Aguilar García, por tener una mente y corazón abiertos para compartir sus conocimientos, sueños, pero sobre todo gracias por su amistad.

A mis compañeros y amigos de la 9na. Generación de la Maestría en gestión Integrada de Cuencas: Gabriela Barrera, Gabriela Portugal, Ricardo Benito, Oscar Segura, Miguel Ángel Acevedo, Susana Hernández, Lourdes Guerrero, Liliana González y Sandra Montaña. Gracias por su apoyo y amistad, por esos buenos ratos al cobijo de la oración de la microcuenca.

A todas las personas de Laguna de Guadalupe que abrieron sus puertas, mente y corazón para que este trabajo fuera realidad. Gracias por compartir su conocimiento y su realidad.

Al INIFAP por darme la maravillosa oportunidad de formar parte de su plantilla y por la motivación para la continua superación.

A Dios por acompañarme cada instante de mi vida, por haber trazado este plan tan maravilloso para mi persona.



# ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ABSTRACT .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCTORIO.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.5. Organización del trabajo.....	4
1.6. Revisión de literatura.....	5
1.6.1. Marco teórico .....	5
1.6.2. Marco de referencia .....	15
1.7. Unidad básica de estudio .....	23
1.7.1. Generalidades de la microcuenca.....	23
1.7.2. Zonas funcionales.....	24
1.8. BIBLIOGRAFÍA .....	27
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	33
2.1. RESUMEN .....	33
2.2. INTRODUCCIÓN .....	33
2.3. METODOLOGÍA.....	34



2.4. RESULTADOS .....	36
2.4.1. Caracterización biofísica .....	36
2.4.2. Caracterización económica .....	61
2.4.3. Caracterización social .....	74
2.5. Principales retos que implica el uso del maguey mezcalero como estrategia para controlar la desertificación en base a su aprovechamiento agroindustrial .....	78
2.6. CONCLUSIONES.....	81
2.7. BIBLIOGRAFÍA .....	82
<b>CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO DE LA MICROCUENCA LAGUNA DE GUADALUPE, SAN FELIPE, GTO. ....</b>	<b>86</b>
3.1. RESUMEN .....	86
3.2. INTRODUCCIÓN .....	86
3.3. METODOLOGÍA.....	90
3.3.1. Direccionamiento de sitios de muestreo.....	90
3.3.2. Contenido de carbono orgánico en el suelo .....	90
3.3.3. Compactación - densidad aparente.....	91
3.3.4. Dureza del suelo - resistencia a la penetración .....	93
3.4. RESULTADOS.....	95
3.4.1 Contenido de carbono orgánico en el suelo .....	96
3.4.2. Densidad aparente.....	97
3.4.3. Resistencia a la penetración .....	98
3.4.4. Determinación y priorización de áreas críticas .....	100
3.5. CONCLUSIONES.....	101
3.6. BIBLIOGRAFÍA .....	103
<b>CAPÍTULO IV. POTENCIAL PRODUCTIVO DE ÁREAS DE LA MICROCUENCA LAGUNA DE GUADALUPE PARA LA PRODUCCIÓN DE Maguey Mezcalero.....</b>	<b>105</b>
4.1. RESUMEN .....	105
4.2. INTRODUCCIÓN .....	105
4.3. METODOLOGÍA.....	108

4.3.1. Área de estudio.....	108
4.3.2. Determinación de requerimientos agroecológicos del maguey mezcalero .....	108
4.3.3. Generación de mapas fuente .....	109
4.3.4. Calificación de zonas potenciales en mapas raster .....	110
4.3.5. Generación de mapas finales.....	111
4.4. RESULTADOS .....	112
4.4.1. Requerimientos agroecológicos del maguey mezcalero.....	112
4.5. CONCLUSIONES.....	120
4.6. BIBLIOGRAFÍA .....	121

## ÍNDICE DE CUADROS

1. Clasificación de las pendientes.....	39
2. Relación hipsométrica de la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	41
3. Superficies del uso del suelo y vegetación en la microcuenca. ....	55
4. Distribución por edad de usuarios del CCA.....	64
5. Principales cultivos en la microcuenca Laguna de Guadalupe.....	69
6. Clasificación según resistencia a la penetración del suelo.....	94
7. Muestreo de COS, DA, porosidad y dureza. ....	95
8. Zonas prioritarias en la microcuenca Laguna de Guadalupe.....	100
9 Datos obtenidos en campo de DA, pH, MO, CIC, °Brix y Robustez. ....	112
10 Requerimientos agroclimáticos del maguey mezcalero.....	115
11 Zonas aptas para el desarrollo de maguey mezcalero.....	116
12 Categorías, valores de concentración de azúcar y superficies con aptitud potencial para la producción de maguey mezcalero en la microcuenca Laguna de Guadalupe.....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

1 Comparación del empleo de especies nativas y exóticas como medios de restauración ecológica. ....	12
2. Características morfológicas de la microcuenca. ....	37
3. Características de relieve de a microcuenca. ....	38
4. Características de la red de drenaje de la microcuenca. ....	42
5. Estaciones meteorológicas aledañas a la microcuenca. ....	44
6. Principales especies de la flora en la microcuenca Laguna de Guadalupe, sus usos actuales y potenciales. ....	58
7. Valores de Densidad aparente grado de compactación de acuerdo al tipo de textura. ....	92
8 Matriz pareada de decisión .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

1 Principales causas de degradación de suelos en México, INEGI, 2003. ....	16
2 principales procesos de degradación de suelos en México, INEGI, 2003. ....	16
3 Localización de la microcuenca con respecto a las cuencas Río Verde Grande y Tamuín y al estado de Guanajuato. ....	24
4 Zonas funcionales de la microcuenca. ....	26
5 Localización de la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	36
6 Distribución de las pendientes en la microcuenca. ....	40
7 Curva hipsométrica de la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	41
8 Distribución de la precipitación media anual en la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	45
9 Distribución de la temperatura media anual en la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	46
10 Climograma. ....	47
11 Evaporación. ....	47
12 Evapotranspiración de referencia ETO. ....	49
13 Periodo libre de heladas. ....	50
14 Edafología de la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	51
15 Geología microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	54
16 Uso del suelo y vegetación. ....	56
17 Servicios básicos en Laguna de Guadalupe. ....	62
18 Comedor Comunitario. ....	63
19 Biblioteca Luis Fernando Martínez el Constituyente. ....	63
20 CCA Laguna de Guadalupe. ....	64
21 UMAPS Laguna de Guadalupe. ....	65
22 Jardín de niños Quetzalcóatl. ....	65
23 Primaria Ignacio Zaragoza. ....	66
24 Escuela Telesecundaria 173. ....	66
25 Bachillerato SABES. ....	67
26 Servicios de telecomunicación en Laguna de Guadalupe. ....	67
27 Instalaciones recreativas. ....	68
28 Bodegas y almacenes. ....	68
29 Cultivo de frijol en la microcuenca. ....	70
30 Cultivo de maíz en la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	70
31 Cultivo de trigo y cebada en la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	71
32 Maquinaria para producción agrícola. ....	71

33 Aprovechamiento de recursos forestales. ....	73
34 Extracción de recursos forestales. ....	74
35 Ex hacienda Laguna de Guadalupe. ....	75
36 Organización del territorio. ....	76
37 Puntos de muestreo. ....	90
38 Muestreo de suelo. ....	91
39 Barrena para muestreos de DA. ....	91
40 Procedimiento para la toma de muestras en campo y laboratorio para determinar densidad aparente del suelo. ....	92
41 Muestreo de dureza del suelo. ....	94
42 Carbono orgánico del suelo. ....	97
43 Grado de compactación de acuerdo a valores de DA. ....	98
44 Resistencia a la penetración del suelo a 5 cm de profundidad. ....	99
45 Resistencia a la penetración del suelo a 30 cm de profundidad. ....	99
46 Áreas prioritarias de la microcuenca Laguna de Guadalupe. ....	101
47 A) Muestreos y pruebas in situ, B) Conocimiento local. ....	109
48 Determinación de la pendiente del terreno. ....	110
49 Proceso de adición de coberturas cartográficas. ....	111
50 Concentración de azúcar (°brix) en plantas de agave mezcalero. ....	114
51 Aptitud potencial de la microcuenca para desarrollo de maguey mezcalero en base a los requerimientos ambientales de la planta. ....	116
52 Aptitud potencial de la microcuenca para el desarrollo del maguey mezcalero en base a indicadores de calidad. ....	118
53 Aptitud potencial de la microcuenca para el desarrollo de maguey mezcalero de calidad en base a tenencia de la tierra. ....	119

# CAPÍTULO I. INTRODUCTORIO

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Las cuencas son escenarios reales donde interactúan condiciones y recursos naturales: relieve, suelo, clima, flora y fauna, además de ser el espacio en el cual tienen lugar los mecanismos organizativos y de apropiación de dichos recursos por parte de la población (Cotler, 2004).

Desafortunadamente el desarrollo de muchas cuencas del país emana de una larga y compleja historia de ocupación y apropiación de los recursos naturales, donde la escasa planeación, falta de tecnologías apropiadas, procesos y políticas poco claras de producción provocan aprovechamientos poco sostenibles, que derivan en ruptura de ciclos naturales (ciclos del agua, carbono, oxígeno, etc.), pérdida de servicios ambientales y deterioro de los ecosistemas (Casillas, 2004), así como un incremento en la vulnerabilidad de la población. (Cotler, 2004). Esta es una razón fundamental para priorizar prácticas de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Uno de los recursos más expuestos a este fenómeno es sin duda la cobertura vegetal, misma que es alterada o eliminada como resultado de diversas actividades antropogénicas. En México, la pérdida de grandes extensiones de zonas con vegetación se debe, en principio, a aspectos como la deforestación, el incremento desordenado de la frontera agrícola y urbana, y la ganadería extensiva (Casillas, 2004).

En general, todo uso de suelo, que modifica el tipo y densidad de población de la vegetación original y/o que dejan al descubierto la superficie del suelo, propicia su degradación y pérdida excesiva (Cotler *et al.*, 2007), situación que altera el equilibrio de los ecosistemas, ya que, el suelo es un recurso natural de gran importancia para la estructura y funcionamiento de una cuenca.

*“Desde el punto de vista hídrico, el suelo puede considerarse como un cuerpo que capta, almacena y cede humedad a las plantas, por lo tanto hacia el suelo debemos encaminar mucho del esfuerzo para usar más eficientemente el agua y sus interacciones”* (Aguilar, 2000). En este sentido, el agua es considerada como el mecanismo integrador entre los componentes de las cuencas, sus usos y los usuarios y del correcto entendimiento de estas relaciones depende la viabilidad de cualquier acción enfocada al desarrollo económico de una región (Dourojeanni y Jouralev, 2002).

Uno de los enfoques que ha adoptado este carácter holístico para la atención de problemas ambientales relacionados con el agua y la degradación de los recursos es el manejo integrado de cuencas, que observa la cuenca como la principal unidad terrestre que capta y concentra la oferta del agua de lluvia y donde el hombre interactúa con el medio ambiente, este enfoque pretende enaltecer la armonía entre el hombre y el entorno que lo rodea al conservar y aprovechar los recursos de la cuenca en función de las necesidades y desarrollo de sí mismo.

## **1.2. Planteamiento del problema**

En la microcuenca Laguna de Guadalupe como en el resto del municipio de San Felipe, Gto., se registra uno de los índices de desertificación más altos del centro del país, estimado en el rango de 50 a 200 toneladas/hectárea/año (Serrano, 2010) y que se atribuye principalmente a fenómenos como el cambio indiscriminado en el uso del suelo sin considerar su aptitud real, la erosión hídrica y al uso inadecuado de las tierras forestales para la ganadería (IEEG, SEMARNAT, 2006).

Ante esta problemática cualquier acción que contribuya al mantenimiento de la cubierta vegetal para proteger el suelo contra la erosión del viento y del agua es una medida preventiva clave contra la desertificación y la pérdida de servicios ambientales. En este sentido en los últimos años en la microcuenca se han llevado a cabo proyectos de reforestación con especies nativas dentro de las que destacan el nopal y el maguey, sin embargo ante la falta de forraje de calidad el agave de esta



región es utilizado por los pobladores como alimento para el ganado, principalmente en años muy secos, además de ser utilizado para la producción de agua miel, como leña y para la extracción de gusano (chinicuil), sin embargo, estos aprovechamientos se realizan de forma desorganizada y desmedida lo que ha provocado la eliminación paulatina de esta planta como cobertura vegetal agudizando el problema de pérdida del suelo. Esta situación es intensificada por problemas sociales y económicos como la falta de empleo, falta de capacitación y la tenencia de la tierra ya que al tratarse de propiedades comunales no existe ninguna regulación de los aprovechamientos.

Actualmente existen agroindustrias que visualizan en la producción de mezcal y otros aprovechamientos primarios del maguey mezcalero un negocio rentable, sin embargo ante tal situación la falta de planeación y conocimiento de las capacidades del territorio pueden conducir al deterioro de los recursos de la región.

### **1.3 Justificación**

Para asegurar que el aprovechamiento del maguey mezcalero como recurso se realice de una manera ordenada, es indispensable contar con información referente a las características ambientales, sociales, políticas y económicas que permitan el establecimiento estratégico de plantaciones de agave encaminadas a disminuir la desertificación y a generar estrategias de reforestación y/o de cultivo, que contribuyan a planear su aprovechamiento agroindustrial. Generando así oportunidades de desarrollo social y económico en la región.

Con los resultados del presente estudio se espera incidir en el proceso de planificación de la agroindustria que se ha convertido en una opción para activar el desarrollo del municipio. Para ello se plantea un enfoque de manejo integral y gestión integrada de cuencas.

## **1.4. Objetivos**

### **General**

Determinar la factibilidad del uso de maguey mezcalero (*Agave salmiana*) como estrategia para controlar la desertificación en base a su aprovechamiento agroindustrial en la microcuenca Laguna de Guadalupe.

### **Específicos**

- Caracterización y diagnóstico de las condiciones biofísicas y socio-económicas prevaletientes en la microcuenca Laguna de Guadalupe, Gto.
- Determinar las condiciones de degradación del suelo como consecuencia de la explotación desmedida del maguey mezcalero.
- Determinar áreas con condiciones ambientales, económicas y sociales adecuadas para producir maguey mezcalero en la microcuenca.

## **1.5. Organización del trabajo**

Para su desarrollo el presente trabajo se estructuró en cuatro capítulos. En el primero se presenta el planteamiento del problema, los objetivos y la construcción de un marco conceptual que apoya los conceptos fundamentales para el seguimiento del proyecto y un marco de referencia, que presenta estudios anteriores, con resultados relevantes para este trabajo.

El segundo capítulo consiste en la caracterización general de las condiciones biofísicas, económicas y sociales de la microcuenca.

En el tercer capítulo se presenta la evaluación de la condición actual del suelo y su degradación por procesos de reducción de carbono orgánico en el suelo (COS), compactación y endurecimiento del suelo para determinar áreas prioritarias de intervención ante el problema de desertificación.

En la cuarta parte se llevó a cabo un análisis de las características naturales,

económicas y sociales del territorio para determinar las áreas con aptitud potencial para el establecimiento de maguey mezcalero en la microcuenca, empleando información resultante del diagnóstico. Se utilizó la sobreposición y álgebra de mapas, mediante algunas de las librerías del SIG ArcGis 9.3.

## **1.6. Revisión de literatura**

### **1.6.1. Marco teórico**

#### **1.6.1.1 Problemas socio-ambientales**

La crisis ambiental junto con la pobreza, son los desafíos más importantes a los que se enfrenta la humanidad; estos grandes retos existen en todos los países, sin embargo se acentúan en países en vías de desarrollo (WECD, 1987). Existe un amplio consenso en cuanto a que la degradación de los recursos es consecuencia de la errónea intervención antrópica y de factores como el modelo económico industrial, la mitificación del consumo, la creencia en la capacidad ilimitada de crecimiento del actual sistema y, del modelo social desigual que genera una "estratificación" de las consecuencias de los problemas ambientales (Bell, 1998). En este sentido, en la región de América Latina y El Caribe, se han identificado como las principales fuerzas motrices y presiones que provocan el cambio ambiental, los cambios demográficos, la demanda de materias primas, el comercio, la creciente globalización, el cambio climático, el desarrollo tecnológico y aspectos sociopolíticos e institucionales (PNUMA, 2010). Debido a esto el desarrollo de la región demanda un progreso simultáneo y balanceado entre sociedad, economía y ambiente, a la vez que se plantea la recuperación y potenciación de los usos y costumbres, junto con el patrimonio y la cultura (PNUMA, 2010).

#### **1.6.1.2. Manejo y gestión integrada de cuencas**

El manejo y la gestión integrada de cuencas "*es una de las bases fundamentales para lograr el desarrollo sustentable*", que considera entre otros, aspectos ambientales, económicos, sociales, políticos, financieros, legales y

organizacionales. Además “*está íntimamente vinculado a las propuestas de descentralización y regionalización y sobre todo a los nuevos roles que le corresponden a los actores locales o comunales en relación a alcanzar metas de desarrollo sustentable*” (CEPAL, 1994). Esta visión global y sistemática del territorio posibilita la determinación de acciones prioritarias dirigidas al control de externalidades negativas, aprovechando la participación informada y organizada de la población (Cotler y Caire, 2009). Por esta razón, en los últimos años, en varios países, las cuencas han sido utilizadas por diversos grupos de trabajo del sector público y privado, como unidad funcional de planeación ambiental, como eje conductor e integrador de procesos ecológicos y sociales, obteniendo como resultado aprendizajes propios en torno a dichos procesos y funciones que tiene una cuenca y su disponibilidad natural de recursos hídricos, las causas de su deterioro y la importancia de protegerlas en función de los servicios ambientales que prestan a la sociedad urbana y rural (Dourejeanni *et al*, 2002).

#### **1.6.1.3. Las cuencas del semiárido**

Las cuencas que se localizan dentro de las regiones semiáridas se caracterizan por ser territorios que presentan condiciones climáticas extremas, con precipitación escasa y muy variable, temperaturas elevadas (o muy bajas y restringida calidad de suelos (Terrones, 2000). “*En regiones semiáridas un recurso abundante es la energía del sol, sin embargo, el agua es limitada y la lluvia como fuente primaria es incontrolable*” (Aguilar, 2000).

De acuerdo con la FAO (2002) las tierras áridas se definen por el índice de aridez que representa la relación de la precipitación con la evapotranspiración potencial (P/PET) con valores <0.05 para tierras hiperáridas, <0.20 para tierras áridas y de 0.20 a 0.50 para tierras semiáridas; bajo estas condiciones la vegetación debe desarrollar mecanismos no sólo para resistir la sequía, sino también para capturar y almacenar el agua aportada por los escasos eventos torrenciales. Estos mecanismos pueden tener un componente individual que puede ser la concentración de la escorrentía cortical, tejidos suculentos, sistemas de doble raíz, hojas pilosas y

cerosas, raíces pivotantes profundas, etc. (Tongway *et al.*, 2004), o bien pueden ser el resultado de interacciones bióticas y abióticas a escala de paisaje (Noy, 1981).

A estos sistemas su baja productividad y ecología compleja les confieren una gran fragilidad ante el impacto humano de gran escala. A menudo las poblaciones localizadas en ellos, están expuestas socialmente a la marginación social y política, debido al empobrecimiento y lejanía con los centros de toma de decisiones. Como característica general diseñan estrategias de sobrevivencia que incluyen actividades agropecuarias de temporal con alta siniestralidad y reducidos márgenes de utilidad, sobrepastoreo de extensas áreas, migración hacia otras regiones en busca de empleo y mejores expectativas de vida (Bustos y Tapia, 2000).

#### **1.6.1.4. La desertificación**

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, define a ésta, como: “*la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas*” (Reynols *et al.*, 2005). A su vez, la degradación de la tierra se define como la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras secas (Reynols *et al.*, 2003).

El nivel de degradación del suelo describe el nivel de deterioro que presenta un área determinada donde los agentes más influyentes son: 1) la degradación de la cubierta vegetal, 2) erosión hídrica, 3) erosión eólica, 4) salinización, 5) reducción de la materia orgánica, 6) encostramiento y compactación, y 7) acumulación de sustancias tóxicas (FAO, 2008).

De los anteriores procesos, la erosión del suelo, tanto hídrica como eólica, representan la forma más importante del proceso de degradación del suelo y afectan a más de 1,000 millones de hectáreas en todo el planeta (SEMARNAT, 2002). La pérdida de suelo varía, por lo general, entre 1 y 10 t/ha/año, llegando en algunos casos hasta 200 t/ha/año. (Dixon, 1995). Sin embargo los efectos de este tipo de

erosión dependen en diferente medida de la composición del área y tiene que ver con la conformación del paisaje, donde intervienen el grado de aridez, tipo de roca y suelo, la pendiente, el clima y el tipo de vegetación presentes, mismos que acentúan o disminuyen los procesos erosivos (Andel *et al.*, 2005).

Por otro lado el estudio más conocido sobre degradación del suelo es la Evaluación Mundial de la Degradación del Suelo GLASOD realizado en 1991, estimó que un 20% de las tierras secas (sin incluir las áreas hiperáridas) sufrían de una degradación del suelo de origen antropogénico (Zafar *et al.*, 2005). De acuerdo con estas estimaciones, el área total afectada por la desertificación está entre 6 y 12 millones de kilómetros (Andel *et al.*, 2005).

#### **1.6.1.5. La erosión como antesala de la desertificación**

Dentro de las funciones vitales que al suelo se le reconocen podemos encontrar que constituye el sustrato fuente de nutrientes, reservorio de humedad, indispensable para especies de bacterias, hongos, protozoarios e invertebrados, así como de la mayoría de las especies de plantas, también influye indirectamente en los patrones de distribución de la fauna y es el medio que posibilita el filtrado del agua y la recarga de los mantos acuíferos. Al mismo tiempo, el suelo constituye un recurso socioeconómico fundamental para el desarrollo de sus habitantes ya que es la base de actividades como la agricultura, ganadería y silvicultura (Cotler *et al.*, 2007).

Desde el punto de vista biofísico, la desertificación comienza con la pérdida o degradación de la vegetación y el suelo. Estas pérdidas tienen un 'efecto en cascada' sobre otros componentes y procesos bióticos que llevan a un deterioro progresivo de la estructura y funcionamiento del ecosistema (Reynolds *et al.*, 2005). Lo anterior indica que el ser humano, es sin duda, el principal agente transformador de los ecosistemas (Vitousek *et al.*, 1997).

Como resultado principal de los procesos de deforestación y degradación de la vegetación provocados por el hombre, en México, estimaciones del Inventario

Nacional de Suelos de 1999 declara que el 54.84% del territorio presenta problemas de erosión, 40% debida a erosión hídrica, y 14.84% a la erosión eólica. De las superficies degradadas por la erosión hídrica, el 29% llegaba a tal grado de afectación que el terreno había sido deformado en cárcavas (SEMARNAT, 2002). En conclusión, la erosión hace que disminuya la calidad y capacidad productiva de la mayor parte de los suelos de secano, y además está asociada a intensos procesos de desertificación y problemas de pobreza rural.

#### **1.6.1.6. Técnicas para el control de la erosión**

Atendiendo la urgente necesidad de controlar la erosión y con ello prevenir la desertificación diferentes instituciones han diseñado y adoptado diversos mecanismos, considerando las condiciones socio-ambientales y económicas particulares de las regiones atendidas y haciendo uso de los recursos disponibles.

Con el avance tecnológico en materia de ingeniería civil e hidráulica se ha adecuado el uso de materiales inertes como el cemento y el acero para la construcción de obras de conservación de agua y suelo, donde se han aprovechado bondades como la “resistencia y durabilidad” de estos materiales. Sin embargo las técnicas más antiguas para controlar la erosión son las que utilizan la vegetación.

Los esfuerzos encaminados al control de la erosión se pueden clasificar en tres grupos: A) Agronómicas, que se distinguen por proteger el suelo empleando para ello la vegetación, se pueden dividir en prácticas de biotecnología y bioingeniería. Las primeras se refieren al uso conjunto de vegetación viva con estructuras de retención y revestimientos; también combinan el uso de la vegetación con elementos mecánico-estructurales. La segunda opción aprovecha las características fisiológicas, fenológicas y morfológicas de las plantas como elementos mecánicos y estructurales para la protección del suelo (Gray y Sotir, 1996); B) Mecánicas o físicas que se relacionan con la aplicación de la ingeniería y que incluyen prácticas que van desde modificaciones a la topografía hasta la construcción de terrazas, cortavientos y encauzamientos de agua o aire; C) De

manejo que acondicionan el suelo para mejorar su estructura y calidad que favorecen el desarrollo de la vegetación (Morgan, 1997).

Es de señalar que la eficiencia de las prácticas de conservación de suelos dependerán de la manera en cómo las técnicas son implementadas y de las condiciones del lugar, por lo que en la mayoría de las ocasiones es necesario combinarlas para contrarrestar los diferentes efectos de la erosión.

#### **1.6.1.7. Funcionalidad de la vegetación para el control de la erosión**

La vegetación de una región es el conjunto de plantas que viven en ella, al asociarse entre sí plantas con necesidades similares en cuanto a su hábitat, se forman comunidades. Además de las funciones estética y económica la vegetación desempeña papeles ecológicos complejos y trascendentes, aunque sutiles y difíciles de detectar a simple vista o en un corto espacio de tiempo.

En primer lugar la vegetación es el eslabón que une al mundo inorgánico o inerte con el biológico, vivo, ya que extraen del suelo minerales y agua, y los aprovecha junto con la energía del sol para realizar la fotosíntesis, proceso mediante el que liberan Oxígeno, que es vital para la respiración de todos los seres vivos; son responsables de la regulación de los flujos hidrológicos, al apoyar la entrada y salida de agua al ecosistema; son constructoras de suelo al disgregar la roca madre y por medio de los mantillos de hojas y residuos; además las plantas apoyan el control de la erosión (Domínguez y Puente, sin año). Hablando del último punto el papel de la vegetación en el control de la erosión hídrica se debe a cuatro importantes funciones (Moss y Green, 1987; Gray y Sotir, 1996):

1. Intercepción: El follaje denso, los multiestratos formados por hierbas, arbustos y árboles, junto con el material vegetal depositado sobre el suelo, contribuyen a la reducción del volumen de precipitación que llega a éste, y por lo tanto de la energía cinética en el agua capaz de promover la remoción de materiales.



2. Retención: El sistema de raíces sujeta mecánicamente las partículas del suelo de forma subterránea, mientras que en la superficie filtra el agua impidiendo el arrastre de una parte de los sedimentos.
3. Interferencia: Los tallos y hojas en el suelo incrementan la “rugosidad” de la superficie, de modo que disminuyen la velocidad de la escorrentía.
4. Infiltración: Las plantas y sus residuos ayudan a mantener la porosidad del suelo y la permeabilidad, aumentando la infiltración del agua y retardando el inicio de la formación de corrientes. Además, la extracción del agua por las plantas a través de la transpiración incrementa la capacidad de penetración del agua en el suelo.

#### **1.6.1.8. Aprovechamiento de la vegetación nativa en el control de la erosión**

La reforestación es una acción enfocada a la restauración ecológica, que tiene como objetivo proteger, conservar y restaurar las funciones del ecosistema, en especial del suelo, la vegetación y el agua (García, 2008). Al establecer o incrementar la cobertura vegetal se hace uso de especies tanto “exóticas o alóctonas” como “nativas o autóctonas”, según la definición del Convenio sobre Diversidad Biológica el término "especie exótica" se refiere a las especies, subespecies o taxón inferior, introducidas fuera de su área de distribución natural (ONU, 1992). Sin embargo la utilización de especies exóticas ha sido una actividad frecuente en este tipo de acciones. En la Tabla 1 se describen los beneficios y desventajas de la utilización de especies nativas como exóticas para la reforestación.

**Tabla 1** Comparación del empleo de especies nativas y exóticas como medios de restauración ecológica.

<b>Factor</b>	<b>Vegetación Nativa</b>	<b>Vegetación Exótica</b>
<b><i>Adaptación ambiental</i></b>	Alta, debido a los procesos evolutivos a lo largo del tiempo.	Baja, por ser una especie introducida.
<b><i>Velocidad de crecimiento</i></b>	De mediana a baja, ya que se adapta a las condiciones y disponibilidad de recursos.	Alta, esta seleccionada para extraer la mayor cantidad de recursos.
<b><i>Características económicas deseables</i></b>	De mediana a alta, depende de los propósitos de la población.	Alta, regularmente la población conoce los beneficios económicos.
<b><i>Disponibilidad comercial de semilla</i></b>	Baja, con regularidad por la falta de capacitación.	Alta, existen compañías que se dedican al incremento de semillas.
<b><i>Conocimiento sobre sus usos</i></b>	Alta, la sociedad aprovecha sus recursos disponibles.	Baja, por ser una especie nueva.
<b><i>Aceptación de la población</i></b>	Alta, la gente ya conoce sus usos y beneficios.	De mediana a baja, depende de la forma en cómo se determine la nueva especie.
<b><i>Adaptación a las necesidades de la fauna</i></b>	Alta, al igual que la población la aprovecha el recurso disponible.	Baja, por ser una nueva especie en el ecosistema.
<b><i>Protocolos para su producción en vivero</i></b>	De mediana a baja, actualmente algunas instituciones han generado documentación referente a especies vegetales de interés para la población.	De mediana a alta, es más probable que exista documentación sobre especies con alto valor económico.

<b>Factor</b>	<b>Vegetación Nativa</b>	<b>Vegetación Exótica</b>
<b>Costos para su establecimiento</b>	Bajos, regularmente el costo no va más allá de la mano de obra y herramientas.	Altos, debido al costo de la semilla, establecimiento, traslado, etc.
<b>Ataque de plagas y enfermedades</b>	De medianos a bajos.	De medianos a altos.
<b>Conocimientos sobre el manejo de la plantación</b>	Alto, el conocimiento local sobre el manejo de los recursos es de generación a generación.	Bajo, es necesario un agente externo que cuente con el conocimiento requerido para el manejo.
<b>Utilización de mayor cantidad de agua y recursos, así como manejo</b>	Bajos, la panta está adaptada a las condiciones del lugar.	De medianos a altos, considerando que son especies que demandan mayores cantidades de recursos.

\* Fuente: Elaboración propia, con datos de Sanaphre, 2007, Maglianesi, 2010 y Budowsky, 2002

Basados en el Tabla anterior podemos afirmar que la selección de especies con el fin de controlar la erosión, además de depender de las condiciones del suelo y condiciones climáticas, depende de las características morfológicas de las especies y de su capacidad de reproducción y establecimiento, así como del conocimiento y objetivos de la reforestación, por lo que las especies a utilizar preferentemente deben ser nativas.

Una vez determinada la viabilidad del empleo de una especie vegetal nativa o exótica, para el control de la erosión se deben evaluar sus características morfológicas y fisiológicas, que pueden resumirse en: A) Ser de fácil propagación; B) Presentar resistencia a condiciones limitantes, como baja fertilidad, sequía, suelos compactados, pH alto o bajo, salinidad, etc.; C) Tener crecimiento rápido y buena producción de materia orgánica como hojarasca, de preferencia con una relación alta de Carbono/Nitrógeno; D) Tener alguna utilidad adicional a su efecto restaurador: por

ejemplo, producir leña, carbón, forraje nutritivo, vainas comestibles, madera o néctar y E) Nula tendencia a convertirse en maleza que pueda desplazar especies nativa (Vázquez y Cervantes, 1993).

#### **1.6.1.9. El maguey como especie para el control de la erosión**

Por sus características fisiológicas, los magueyes son de las plantas que presentan mayor eficiencia en el uso del agua y en la captación de CO<sub>2</sub> atmosférico que se conocen (Nobel, 1994).

Dentro de las ventajas ambientales que proveen los agaves, podemos encontrar que sus características de raíces y hojas permiten utilizarlos en multitud de sistemas agrícolas para captar humedad atmosférica y lluvia, así como para mantener el suelo en terrenos con alta pendiente (Colunga-García Marín, 1999), además, estas plantas son caracterizadas por su alta productividad de biomasa en áreas limitantes, especialmente de agua, mantienen relaciones biológicas y ecológicas complejas entre ellas y otras especies vegetales y animales, abasteciendo múltiples servicios ambientales, como el mantenimiento del suelo y de las poblaciones de polinizadores importantes como los murciélagos (Colunga-García Marín, 2009).

Dentro de los principales usos productivos del *Agave*, encontramos su aprovechamiento como alimento humano, bebidas fermentadas, bebidas destiladas (mezcal), fibra y forraje (García, 2007).

#### **1.6.1.10. Distribución geográfica y ecológica de los agaves mezcaleros**

La distribución de los agaves mezcaleros en el país está determinada por las condiciones ambientales peculiares presentes en distintas regiones.

Esto puede incluir intensidad de luz, amplitud de temperaturas, pH y fertilidad del suelo, disponibilidad de agua, etc. También son importantes las relaciones entre organismos del mismo o diferente nivel trófico, esto es, las interacciones de

depredación, mutualismo o competencia que se establecen entre los organismos que coexisten en una comunidad.

Aunque es difícil caracterizar por completo los requerimientos físicos y bióticos de una especie; en general lo que se realiza es señalar patrones de distribución y discernir luego el o los factores que más se relacionan con ella y definir así la amplitud de tolerancia y el óptimo de la especie para dichos factores. Luego, conociendo las características del medio, es posible señalar en qué lugares se pueden encontrar ciertas especies (Aguirre *et al.*, 2001).

De todos los Agaves el *salmiana* en sus diferentes variantes ha sido la especie más importante en la historia del país; en particular el aprovechamiento de su aguamiel o fermento. Esta especie en México se encuentra distribuida en su mayoría en la región de Pinos Zacatecas, y el Altiplano Potosino (Rodríguez, 2002).

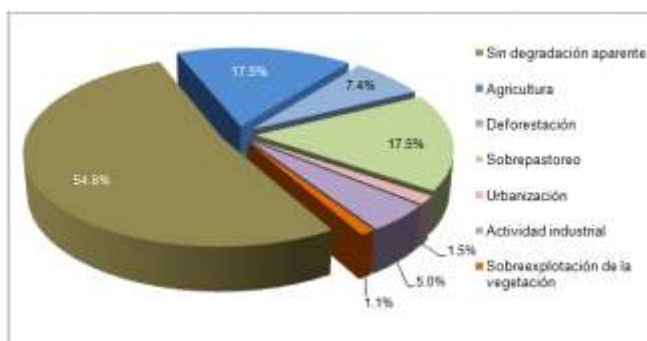
## **1.6.2. Marco de referencia**

### **1.6.2.1. Desertificación en México y el mundo**

Según el secretario general de la ONU, más de 110 países sufren problemas relacionados con la desertificación y la sequía debido a malas prácticas de gestión del suelo y al cambio climático; cada año se pierden más de 12 millones de hectáreas de suelo productivo a causa de la desertificación. “Las tierras áridas abarcan el 40% del suelo de nuestro planeta y son ocupadas por las personas más pobres y vulnerables al hambre del mundo”.

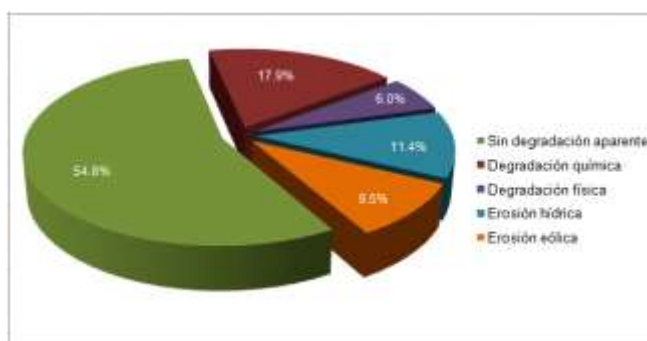
En México la desertificación es un problema que se considera de carácter nacional, que afecta zonas agrícolas, forestales y pecuarias; cerca del 64% de los suelos nacionales presentan afectación por algún proceso físico o químico de degradación. Se calcula que alrededor de 48 millones de mexicanos padecen las consecuencias de la sequía en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Es

una cuestión de pobreza y bienestar humano, así como de la preservación del medio ambiente. Los problemas sociales y económicos, de seguridad alimenticia, migraciones y la estabilidad política, están estrechamente relacionados con la degradación de suelos y con otras cuestiones ambientales como son, el cambio climático, la diversidad biológica y el abastecimiento de agua potable. Los principales factores causantes de la degradación del suelo, en el país, son la deforestación, el cambio de uso de suelo y el sobrepastoreo, Figura 1.



**Figura 1** Principales causas de degradación de suelos en México, INEGI, 2003.

Este problema afecta a dos de cada tres hectáreas, resultando en una pérdida del 10% del Producto Interno Bruto (PIB) de manera anual. Los principales procesos de degradación de los suelos en México son: la degradación química, la erosión hídrica y la eólica, responsables en conjunto del 87% de la superficie afectada, con 34.9, 23 y 18.5 millones de hectáreas, respectivamente (INEGI, 2012), Figura 2



**Figura 2** principales procesos de degradación de suelos en México, INEGI, 2003.

### 1.6.2.2. Marco jurídico Mexicano para contrarrestar la desertificación

En México la atención de la desertificación se remonta a la década de los 70s,

con la creación de la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA). Sin embargo fue hasta 1995 que se instala el instrumento jurídico legal, mediante la ratificación de México como miembro de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), cuyo objetivo central es el de “*luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía en los países afectados por sequía grave o desertificación*” mediante la adopción de medidas eficaces en todos los niveles, apoyadas por acuerdos de cooperación y asociación internacionales, en el marco de un enfoque integrado acorde con el Programa 21, para contribuir al logro del desarrollo sostenible en las zonas afectadas”. Para lograr este objetivo la comisión requiere a los firmantes que establezcan estrategias y prioridades en el marco de sus planes y políticas nacionales de desarrollo sostenible, para luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía. Para tal efecto surge la Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras, la cual mediante la Ley de Desarrollo Rural Sustentable establece nueve sistemas que son la base legal para fomentar el desarrollo de la sociedad rural en nuestro país y dentro de los que se encuentra el Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES).

El SINADES es un mecanismo de concurrencia y coordinación de las funciones de las diversas dependencias e instancias públicas y privadas, en donde cada una de ellas participa de acuerdo con sus atribuciones y competencia para lograr los siguientes objetivos:

- Contener y revertir la desertificación y la degradación de las tierras, a través de programas integrales de recuperación e impulso a la producción sustentable.
- Promover que los productores adopten sistemas y prácticas productivas que preserven y mejoren los recursos naturales.
- Coordinar los esfuerzos contra la desertificación y la degradación de los recursos naturales, en el que participen el Gobierno Federal, los otros órdenes de Gobierno y organizaciones de la sociedad civil.

- Promover la creación y fortalecimiento de una conciencia ambiental acentuando la atención de la sociedad a los problemas de la desertificación y la degradación de los recursos naturales.

Se encomendó a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la coordinación de este sistema, en el que actualmente participan SEMARNAT, SAGARPA, SRA, SEDESOL, INEGI, INE y CONAFOR, como instancias públicas; Riod-Mex, Confederación Nacional Campesina, Confederación Nacional de Propietarios Rurales y un representante del Consejo Consultivo Nacional para el Desarrollo Sustentable, como instancias sociales y Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el Centro de Calidad Ambiental del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey como instituciones educativas (SEMARNAT, 2011).

#### **1.6.2.3. Programas de reforestación y revegetación**

El programa Proárbol en México *“busca disminuir los índices de pobreza y marginación en áreas forestales, mediante la inducción a un manejo y uso adecuado de sus recursos naturales; generar desarrollo y expansión económica a partir de la valoración, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos de los bosques, selvas y la vegetación de las zonas áridas; impulsar la planeación y organización forestal, incrementar la producción y productividad de los recursos forestales, su conservación y restauración, así como elevar el nivel de competitividad del sector para contribuir a mejorar la calidad de vida de los mexicanos”* (CONAFOR, 2012). Dentro de los apoyos que brinda este programa se encuentran los recursos no maderables dentro de los que se puede encontrar al Agave en sus diferentes especies. Esta institución reporto que utilizó nopal forrajero, tunero y Agave entre otras especies en áreas afectadas por la erosión y deforestación. Por ejemplo se reforestó con nopal entre otras especies en los siguientes estados: Zacatecas, Chihuahua, Aguascalientes, Nuevo León, Durango, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luís Potosí y Tamaulipas. Según CONAFOR en 2010se utilizó maguey en los estados de: Chihuahua, Nuevo León, Durango, Querétaro, San Luís Potosí,



Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Sonora y Tlaxcala, donde se reportan tasas de sobrevivencia para el Agave de 87.7 a 90.1% incluso superiores a las del nopal que estuvo entre 65.2 y 69.9%, lo que sugiere que el maguey tiene mejores posibilidades de sobrevivir bajo condiciones severas de sequía y altas temperaturas (Vázquez *et al.*, 2010).

#### **1.6.2.4. El caso del municipio de San Felipe Gto.**

El municipio de San Felipe se ubica en la región norte del estado de Guanajuato, el clima de la mayor parte de este municipio es semiárido, factor que confluye con condiciones de suelo, topografía y socioeconomía, que propician la intensificación de los procesos de degradación del suelo que conducen a la desertificación, que aparece en la región entre los desafíos ambientales más grandes de la actualidad y es un impedimento importante para satisfacer las necesidades humanas básicas en este tipo de regiones.

Dentro de los recursos naturales con que cuenta el municipio se encuentra gran cantidad de *Agave* tanto silvestre como de plantaciones, impulsadas por instancias federales y estatales como: Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado de Guanajuato (SDA).

Los aprovechamientos más comunes por parte de los propietarios de las superficies donde crece el agave son su uso como forraje (pastoreo), la fabricación de artesanías y la elaboración de mezcal.

En lo referente a la producción de mezcal, la mayor parte de la producción de esta bebida se realiza de manera artesanal y la materia prima utilizada para ello es recolectada (proviene de magueyeras con escasos o nulos manejos), pese a esto el municipio produce 20 mil toneladas de agave (6% de la producción total del país) y cuenta con una capacidad para producir mezcal de 400,000 litros al año, lo anterior, considerando las distintas variedades empleadas y las condiciones agroecológicas

de la región (SAGARPA, 2009).

Es de resaltar que San Felipe es el único municipio de Guanajuato que cuenta con Denominación de Origen mezcal desde 1998, otorgada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual, IMPI (IMPI, 1998), pese a esto en la región sólo se tiene registro oficial de una fábrica destiladora de mezcal que genera 10 empleos directos al año (Morales *et al.*, 2007) y los índices de marginalidad y migración que prevalecen son considerados como altos (CONAPO, 2005), además, en este municipio como en el resto del norte del estado se presentan altos índices de deforestación, según la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, en el municipio los índices de erosión van de 50 a 200 t/ha/año, reportadas como graves comparadas con municipios que presentan erosión moderada de 10 a 50 t/ha/año y ligera menor a 10 t/ha/año (Serrano, 2010).

#### **1.6.2.5. Alternativa para determinar la aptitud potencial del territorio e inventario de especies vegetales**

Para hacer frente a problemas de desertificación y marginación en diferentes regiones del país se han implementado estrategias de diversificación o reconversión productiva con la finalidad de garantizar el aprovechamiento del potencial productivo de las zonas para la explotación de cultivos no tradicionales, con la finalidad de lograr sistemas de producción sustentables, como alternativa para el mejor aprovechamiento de los recursos, disminuyendo el impacto de factores naturales adversos, conservar los recursos naturales e incrementar los ingresos, empleo y bienestar de los productores agropecuarios.

Dentro de las acciones que se han realizado, destacan la producción de nopal, tuna y pastos en regiones semiáridas del norte de Guanajuato, que además de asegurar un mercado para sus productos, contribuyen a disminuir la erosión del suelo e incrementar la eficiencia en el aprovechamiento del agua.

En Guanajuato el INIFAP en 1993 realizó el primer estudio para determinar la

potencialidad productiva de diferentes áreas para la producción de diversas especies vegetales, tomando como base coberturas cartográficas digitales de clima, suelo y topografía del estado, empleando para esto la metodología de análisis multicriterio, siendo los criterios a evaluar las características de clima, suelo y topografía necesarios para el desarrollo de los cultivos, en este proyecto se lograron determinar áreas de aptitud muy generales, que en estudios posteriores (García *et al*, 1996; García *et al*, 2000; Paredes *et al*, 2009) han sido afinados. Con la actualización del uso del suelo agrícola en 2009, (Paredes *et al*, 2011) estos resultados se han detallado aún más. Algunas de las especies vegetales que se han trabajado en estos estudios de potencial productivo son: maíz, frijol, sorgo, alfalfa y especies forestales como agave azul (*Agave tequilana* Weber), encontrando que en Guanajuato existe una superficie de 59,928 y 14,941 ha con potencialidad media y buena respectivamente para el cultivo de este agave. Algunos de los principales municipios que poseen características necesarias para la producción de *Agave tequilana* son: León, San Felipe, Romita, Silao, Irapuato, Dolores Hidalgo y Comonfort.

#### **1.6 2.6. Alternativa para medir y predecir la erosión.**

Para conocer con cierta exactitud la condición de erosión que presenta una región se han generado diferentes modelos de estimación. El modelo multiplicativo USLE ( $A = R K L S C P$ ), fue utilizado por primera vez a mediados de la década de los 60s. Esta ecuación considera seis factores: erosividad de la lluvia R; erodabilidad del suelo K; longitud de la pendiente L; grado de la pendiente S; manejo de la cubierta vegetal C, y las prácticas de conservación de suelo P. (Wischmeier y Smith, 1978). Sin embargo esta ecuación, a través del tiempo ha sufrido adecuaciones para asegurar la coherencia de los resultados, es por eso que surge el modelo RUSLE que contempla los mismos factores, sin embargo incluye numerosas mejoras, como ajustes mensuales del factor C, consideración del tipo de pendiente como cóncava o convexa, cálculo de L por segmentos, o el cálculo de P para nuevas acciones de manejo (Renard *et al*, 1997).

Este modelo ha sido ampliamente utilizado en todo el mundo debido a su

robustez y a la relativa simplicidad de su cálculo cuando existen los registros de campo necesarios (Renard *et al.*, 1997). En México se han hecho varios trabajos encaminados a adecuar la RUSLE a las condiciones del país.

La aplicación de este modelo en el manejo de cuencas, es fundamental como una herramienta de planeación, permite determinar sitios prioritarios para impulsar programas de conservación de suelos (Domínguez, 2000).

#### **1.6.2.7. Percepción remota y Sistemas de Información Geográfica**

El uso de tecnologías novedosas como: percepción remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la realización de los estudios de aptitud potencial y estimación de la erosión actual y potencial de tierras proporcionan resultados con mayor nivel de confianza, ya que con estas herramientas, se tiene la capacidad de procesar, analizar y modelar una mayor cantidad de datos e información a un mayor detalle y en un tiempo menor.

Los insumos que se utilizan para la realización de estos estudios son fotografías aéreas, imágenes de satélite y coberturas cartográficas que pueden provenir de diversas fuentes o bien ser generadas por el mismo estudio; en este sentido los recorridos, pruebas y muestreos en campo y análisis de laboratorio ayudan a señalar patrones y discernir luego el o los factores que más se relacionan con el fenómeno estudiado, ya sea la aptitud del terreno o su vulnerabilidad a los procesos de degradación.

Sin embargo, sin importar lo sofisticado de las metodologías y herramientas empleadas en la realización de un proyecto, este debe contar con la aprobación por parte de los habitantes de la región en que se está intentando intervenir, para lo que existen métodos de trabajo, para lograr una adecuada comunicación entre el investigador y los habitantes, contribuyendo así a incentivar una apropiación del proyecto. Uno de los métodos más utilizados es el denominado observación participante, donde el investigador comparte con los investigados su contexto,

experiencia y vida cotidiana, para conocer directamente toda la información que poseen los sujetos de estudio sobre su propia realidad, o sea, conocer la vida cotidiana de un grupo desde el interior del mismo (Kawulich, 2005).

### **1.7. Unidad básica de estudio**

La unidad base considerada para el presente estudio fue la microcuenca, 12ImAAC (Laguna de Guadalupe) cuya delimitación topográfica es la propuesta por FIRCO, en el proyecto “Delimitación de microcuencas de la república mexicana” (FIRCO-UAQ, 2005), cuya determinación se realizó a partir de un Modelo de Elevación Digital (MED) escala 1:50,000, construido a partir de la cobertura de curvas de nivel generada por INEGI, mediante el que se realizó una revisión y ajuste de las delimitaciones anteriores efectuadas por diversas instituciones como CONABIO, INEGI y el propio FIRCO.

#### 1.7.1. Generalidades de la microcuenca

La microcuenca Laguna de Guadalupe, se ubica en el municipio de San Felipe, Gto., que forma parte de la región semiárida de México. Hidrológicamente pertenece a las Cuenca 041Río Verde Grande y 111 Río Tamuín, las cuales a su vez forman parte de las regiones hidrológicas 12 Lerma Santiago y 26 Pánuco. Cuenta con una superficie de 4,349.4 ha. Sus coordenadas extremas en unidades UTM (Datum WGS84) son: 2,415,619.80 N, 2,408,067.74 S, 264,275.50 E, y 254,378.57 O (Figura 3).

La mayor parte del territorio de la microcuenca está ocupada por el ejido Laguna de Guadalupe y solamente una pequeña parte de esta incluye terrenos de pequeña propiedad.

La población total del área es de 3,667 habitantes que se concentran en la única localidad de la microcuenca y que es considerada como la tercera localidad del municipio en cuanto a número de habitantes.



**Figura 3** Localización de la microcuenca con respecto a las cuencas Río Verde Grande y Tamuín y al estado de Guanajuato.

El territorio de la microcuenca cuenta con clima semiseco templado Bs1Kw. Más del 80% de los suelos pertenecen a las clases Durisol y Phaeozem, que cuentan con escasa profundidad.

La agricultura y ganadería son las actividades productivas que se desarrollan con mayor intensidad en el territorio de la microcuenca sin embargo más del 75% del territorio es utilizado en actividades de pastoreo.

La vegetación de la microcuenca pertenece en su totalidad a la región Xerofítica Mexicana, característica de zonas áridas y semiáridas del país y se encuentra representada por matorral Xerófilo Crasicaule que presenta distintos grados de perturbación, estimando que solamente 40% de la superficie de la microcuenca se encuentra con estratos de vegetación natural y el resto presenta alteraciones relacionadas con el uso del suelo y las actividades productivas de la población.

#### 1.7.2. Zonas funcionales

En base a sus características estructurales y funcionales es posible dividir la microcuenca en tres zonas (Figura 4.):

**Zona alta o cabecera.** Se caracteriza por suelos de tipo Phaeozem con escaso perfil, la mayor parte de origen aluvial (%). El paisaje dominante es el matorral xerófilo Crasicaule donde se distinguen diferentes especies de nopal (*Opuntia spp.*), elementos arbustivos como huizache *Acacia schaffneri* *A. famesiana*), engordacabras (*Dalea bicolor*), uña de gato (*Mimosa biuncifera*), maguey mezcalero (*Agave salmiana*) y palma datilera (*Yucca filifera*). Esta zona aún cuenta con manchones de vegetación sin perturbar, debido a que el acceso por parte de la población es limitado. Algunos aprovechamientos que tienen lugar en esta zona son recolección de leña y cacería. Esta zona cuenta con una extensión de 848.4 ha equivalentes al 20% de la superficie total de la microcuenca.

**Zona media.** Consta de una superficie de 2,147.9 ha equivalentes al 49% del total de la superficie de la microcuenca. Al igual que en la parte alta la vegetación existente es el matorral Crasicaule, sin embargo, en esta parte del sistema el grado de perturbación es evidente y se acentúa debido a la fragilidad particular de su propia constitución biofísica y a la fuerte presión de las actividades pecuarias y de extracción de recursos que amenazan con la estabilidad de la zona. En esta área existen diversos almacenes de agua que han sido construidos para que los animales abrevan.

**Zona baja.** Tiene una extensión de 1,353.1 ha que cubren el 31% de la microcuenca. En esta porción se localiza la localidad Laguna de Guadalupe, el tercer asentamiento poblacional más grande del municipio con 3,667 habitantes. El uso del suelo predominante aparte del urbano, es el agrícola de temporal, prácticamente no existe vegetación original. En esta zona se localizan los tres almacenamientos de agua más grandes de la microcuenca que sirven como abrevadero para el ganado, sin embargo, estos cuerpos de agua presentan serios problemas de azolve a causa del sedimento que es arrastrado de las partes altas.

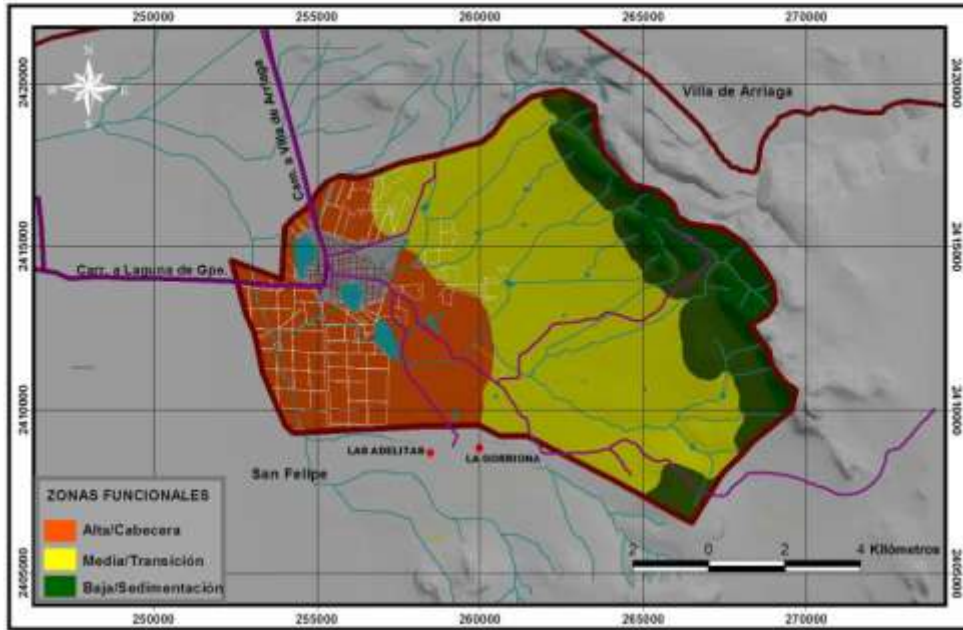


Figura 4 Zonas funcionales de la microcuenca.



## 1.8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. (2000). Utilización óptima de recursos energía, agua, suelo e insumos en sistemas de producción agropecuaria de regiones semiáridas. En Terrones T y E Morales (Comps.) Combate de la desertificación (PP. 111-118). Celaya, Gto, México: INIFAP.
- Aguirre, R. J.R, Charcas, S. H., Flores, F. J.L. 2001. El maguey mezcalero potosino. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 87p.
- Andel, Z., Safriel, U., Niemeijer, D., White, R. (2005). Evaluación de los Ecosistema del Milenio, Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Desertificación. Washington, DC: WorldResourcesInstitute.
- Bell, M .M. 1998.An invitattion to environmental sociology. Pine Forge Press. Londres,109p.
- Bustos, D., Tapia, A. (2000). Desarrollo rural y desertificación, En Terrones T y E Morales (Comps.) Combate de la desertificación (PP. 12-23). Celaya, Gto, México: INIFAP.
- Budowsky, G. (2002). ¿Plantar árboles exóticos o nativos?. Separando lo factual de lo emocional. [En línea]. Disponible en <http://revistasvirtualespan.tripod.com/id123.htm> (Fecha de consulta 24 de junio de 2011)
- Casillas, G. J., (2004). El programa nacional de microcuencas: una estrategia de desarrollo integral, México:
- CEPAL (Comisión económica para América Latina y el Caribe). 1994. Políticas públicas para el desarrollo sustentable: La gestión integrada de cuencas. CEPAL-CNA. 231 pp.
- CONAFOR. 2012. PROÁRBOL. [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/proarbol> (Fecha de consulta 28 de octubre de 2012)
- CONAPO, 2010, Índices de Marginación por localidad. [En línea]. Disponible en: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=110300120>. (Feha de consulta 29 de agosto de 2012)
- Cotler, H. Editora. (2004). El manejo integral de cuencas en México estudios y

- reflexiones para orientar la política ambiental, INE, SEMARNAT.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos un asunto de interés público. Gaceta ecológica. INE, SEMARNAT. México.
- Cotler, H. y G. Caire (eds). 2009. Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México. INE- SEMARNAT. 380 pp.
- Dixon, K., (1995). Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases. *Agroforestry systems* (31), 99-116.
- Domínguez M. (2000). Cálculo de la tasa de erosión. En: Pineda López R. y Hernández Sandoval L, La microcuenca Santa Catarina, estudios para su conservación y manejo. Universidad Autónoma de Querétaro y SEMARNAP.
- Domínguez, L. J.A., Puente, C. J. sin año. La vegetación de la cuenca del Ebro. Heraldo de Aragón. ISBN: 84-7610-071-X. 81 p.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., Chávez, G. 2002. Gestión del Agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Santiago de Chile.
- Dourojeanni, A. 2010. Ponencia: Redefinición de los alcances de las acciones de manejo de cuencas. Segundo coloquio internacional de cuencas sustentables. Comisión Nacional del Agua. México, D.F
- FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Michel R. Institut National de Recherche Agronomique. París, Francia.
- FAO 2008. Proceso de desertificación, [En línea]. Disponible en <http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/1hoja.html> (Fecha de consulta 19 de Febrero de 2011)
- FIRCO-UAQ. 2005. Proyecto delimitación de microcuencas de la república mexicana, reporte metodológico. Querétaro, Qro. 56p.
- García, A., 2007, Los agaves de México. Ciencias, UNAM. México, D.F., México, 14-23.
- García, G. A.M. (2008). Uso del maguey en la conservación y restauración de Ecosistemas forestales en el estado de nuevo león en: memoria del VII

- Simposium-Taller "Producción y aprovechamiento del nopal en México".  
Nuevo León, México. pp 163-168
- García, N. H., Mejía, A. C., García, D. R.R., Chacón, M. R y González, R. A., (1996),  
Zonas potenciales para la producción de las principales especies vegetales en  
el estado de Guanajuato, Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto.
- García N., H., J. López B., R. Moreno S., M. L. Villers R. y R. R. García D., (2000).  
Delimitación y caracterización de las tierras con uso inadecuado para la  
agricultura en el Distrito de Desarrollo Rural 004, Celaya, Guanajuato. Terra  
18: 11-25.
- García N., H., García, S. O.J., Ramírez, R. A. 2004. Sistema de Consulta del  
Potencial Agroproductivo del Estado de Guanajuato (SICOPOT-GTO). INIFAP,  
Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto.
- Gray, D.H., Sotir R. B. 1996. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization. A  
practical guide for erosion control. John Wiley & Sons, Inc. E.U.A.
- IEEG Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, SEMARNAT. Sexto Informe de  
Gobierno, 2005-2006.
- IMPI Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (1998). Punto resolutivo de la  
Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Mezcal,  
publicada el 28 de noviembre de 1994. Diario Oficial de la Federación, México,  
D.F.
- Kawulich, B. B. 2005. La observación participante como método de recolección de  
datos. Forum Qualitative Social Research. Vol. 6, núm. 2, Art. 43 (Revista  
electrónica)
- Maglianesi, S. M.A. (2010). El uso de especies vegetales exóticas como una  
estrategia de restauración ecológica. Biocenosis, Vol. 23 (2).Costa Rica. pp  
26-31
- Morales, N., Escobar, D., Paredes, H.. (2007). Estudio sobre el impacto que las  
modificaciones a la Nom-070 traerán a la industria del mezcal. Centro  
Regional Universitario centro norte. Universidad autónoma Chapingo, 20-56.
- Morgan R. P. C. 1997. Erosión y conservación del suelo. Segunda edición. Traducido  
del inglés por P. Urbano Terrón y J. de M. Urbano López de Meneses. Mundi-

Prensa.

- Moss A, J., Green T, W. 1987. Erosive Effects of the Large Water Drops (Gravity Drops) that Fall from Plants. *Aust. J. Soil Res.*, 25: 9-20.
- Nobel, S. (1994). *Remarkable agaves and cacti*. Oxford Academic Press. New York.
- Noy, M. I. 1981. Spatial effects in modelling of arid ecosystems. En *Arid Land Ecosystems* (eds. Goodall, D. W. y Perry, R. A.), pp 411-432, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. *Convenio sobre la diversidad biológica*. Naciones Unidas. 30p.
- Paredes, M. R. Mandujano, B. A., Gámez, V. A.J., García, N. H., 2011. Actualización del mapa de uso del suelo agrícola en el estado de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 2, Núm. 1, pp. 85-96.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2010. *Perspectivas del medio ambiente: América Latina y el Caribe, Resumen para los tomadores de decisiones*. PNUMA. Clayton, Panamá. 48 pp.
- Renard G., Foster, G., Weesies, G., Mccool, D., Yoder, D (1997), *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, United States Department of Agriculture (USDA), *Agriculture Handbook Number 703*.
- Reynols, J., Staffor Smith, M., Lambin, F., (2003), *ARIDnet Seeking novel approaches to desertification and land degradation*, IGBP, *Global change newsletter*, 1(54), 5-9.
- Reynols, J., Maestre, T., Huber-Sannwald, E., Herrick, J., Kemp, P., (2005), *Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación*, *Ecosistemas*, Asociación Española de Ecología Terrestre, Alicante, España, 3-21.
- Rodríguez, H. G, (2002), *Inducción del enraizamiento en Agave salmiana Otto con Agrobacteriumrhizogenes y colonización de raíces por Glomús intraradices*, Tesis de doctorado, Universidad de Colima
- Sanaphre, L., (2007), *Propuesta de control de la erosión hídrica en la microcuenca San Pedro*, Tesis de maestría no publicada, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

- SEMARNAT. (2002). Informe de la Situación Ambiental del Medio Ambiente en México, Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Compendio de Estadísticas Ambientales, [En línea], disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/res\\_ejecutivo/presentacion\\_resumen.shtml](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/res_ejecutivo/presentacion_resumen.shtml) (fecha de consulta: 16 de octubre de 2011).
- SEMARNAT. (2011). Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras. Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales. México, DF. P 112
- Serrano, G. (2009). Grave la desertificación en el norte del estado, periódico correo, [En línea]. Disponible en: <http://www.correo-gto.com.mx/notas.asp?id=147006> (fecha de consulta: 15 de julio de 2010).
- Terrones, T. (2000). Desertificación, situación mundial, En Terrones T y E Morales (Comps.) Combate de la desertificación (PP. 7-11). Celaya, Gto, México: INIFAP.
- Tongway, D. J., Cortina, J. y Maestre, F. T. 2004. Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos. Ecosistemas 2004/1 (URL: <http://www.aet.org/ecosistemas/041/revision5.htm>)
- Vázquez, Y. C., Cervantes. V. 1993. "Estrategias para la reforestación con árboles nativos de México". Ciencia y Desarrollo, número 19 (113) pp. 52-58.
- Vázquez, A. R.E., Blanco, M. F., Ojeda, Z. M.C., Martínez, L. J.R., Valdez, Z. R.D., Santos, H. A., Háuad, M. L.A. (2010). Reforestación a base de nopal y maguey para la conservación de suelo y agua. Memorias del IX simposium-Taller nacional y II Internacional "Producción y aprovechamiento del nopal en México". Nuevo León, México. pp 185-204
- Vitousek, M., Money, .A., Lubchenco, J., Melillo, M., (1997), Human domination of Earth's ecosystems, Science, (277), 494-499.
- Wischmeier, H., Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 537.
- World Commission on Environment and Development (WCD). 1987. Our Common Future. Oxford: Oxford university Press.
- Zafar, A., Safriel, U., Niemeijer, D., White, R. 2005. Evaluación de los Ecosistemas del

Milenio. Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Desertificación.  
World Resources Institute, Washington, DC. 26P.

## **CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **2.1. RESUMEN**

En este capítulo se caracterizan los aspectos biofísicos y socioeconómicos que prevalecen en la microcuenca Laguna de Guadalupe, tomando como base la metodología de diagnóstico regional y técnico, que son aspectos esenciales propuestos por FIRCO para la elaboración de Planes de Producción y Conservación (PRPC). Esta información servirá de apoyo para determinar las zonas de la microcuenca que por sus condiciones ambientales, sociales y económicas se convierten en áreas potenciales para el establecimiento de maguey mezcalero para el control de la desertificación, basado en su aprovechamiento agroindustrial, que detone el desarrollo de la población.

### **2.2. INTRODUCCIÓN**

Para poder formular un plan que conlleve a la rehabilitación, mejoramiento, protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales, y al mejoramiento de la calidad y nivel de vida de los habitantes de una cuenca hidrográfica, es necesario analizar sus componentes biofísicos y socioeconómicos, institucionales y legales de este sistema; y de primordial importancia conocer y analizar los objetivos, necesidades y la problemática que perciben los actores locales que habitan en la unidad hidrológica; su involucramiento y participación consciente y activa en el proceso de planificación ambiental permitirá el éxito del plan, una vez que se ejecute

La caracterización está dirigida fundamentalmente a cuantificar las variables que tipifican a la cuenca con el fin de establecer la vocación, posibilidad y limitaciones de sus recursos naturales y el ambiente, así como las condiciones socioeconómicas de las comunidades que la habitan. En el proceso de manejo de cuencas, la caracterización cumple tres funciones fundamentales: 1) describir y tipificar las características principales de la cuenca; 2) sirve de información básica

para definir y cuantificar el conjunto de indicadores que servirán de línea para el seguimiento, monitoreo y evaluación de resultados e impactos de los programas y proyectos de manejo de cuencas; y finalmente 3) sirve de base para el diagnóstico, donde se identifican y priorizan los principales problemas de la cuenca, se identifican sus causas, consecuencias y soluciones (Salazar, 2012).

En este capítulo se caracterizan los aspectos biofísicos y socioeconómicos que prevalecen en la microcuenca Laguna de Guadalupe, tomando como base la metodología de diagnóstico regional y técnico, que son aspectos esenciales propuestos por FIRCO para la elaboración de Planes de Producción y Conservación (PRPC). Esta información servirá de apoyo para determinar las zonas de la microcuenca que por sus condiciones ambientales, sociales y económicas se convierten en áreas potenciales para el establecimiento de maguey mezcalero para el control de la desertificación, basado en su aprovechamiento agroindustrial, que detone el desarrollo de la población.

### **2.3. METODOLOGÍA**

Debido a la inexistencia en la microcuenca Laguna de Guadalupe de un Plan Rector de Producción y Conservación (PRPC), se recolectó y generó información precisa de los ámbitos económico, social y ambiental del área de estudio que apoye el desarrollo integral de las comunidades (FIRCO-UAQ, 2005), para lo cual se emplearon las metodologías: diagnóstico regional y diagnóstico técnico, la primera constituye un instrumento de análisis para determinar las características de una región tanto en lo económico, social, institucional y ambiental, bajo una lógica territorial geográfica y la segunda es una caracterización de los sistemas de producción que se ubican en la zona de estudio (Paredes, 2009; OEA, 1987).

Para definir el área de estudio se utilizó la delimitación topográfica de la microcuenca Laguna de Guadalupe propuesta por FIRCO, en el proyecto “Delimitación de microcuencas de la República Mexicana” (FIRCO-UAQ, 2005).



Para la caracterización ambiental del área de estudio se emplearon datos de estaciones climáticas circundantes a la microcuenca, que forman parte de las redes de estaciones automatizadas y convencionales, de la Fundación Guanajuato Produce (FGP) y Comisión Nacional del Agua (CNA), respectivamente.

El desarrollo geomorfológico de la microcuenca fue descrito empleando la extensión DetermHidro (Valtierra, 2007), mediante el SIG ArcView 3.3.

En cuanto a la descripción de las condiciones de edafología, geología e hidrología se utilizó la cartografía digital de INEGI en escala 1:50,000. Para las características de elevación y pendiente se generó un Modelo de Elevación Digital a partir de la cobertura cartográfica de curvas a nivel de 10 m de equidistancia. Alguna de la información descrita se generó durante el presente trabajo.

Para describir los usos de suelo y vegetación presentes en la microcuenca se realizó una revisión de la cartografía existente del tema: Carta de INEGI 1:250,000 del uso del suelo y vegetación serie III, Carta de uso de suelo y vegetación 2004 del Instituto Estatal de Ecología en escala 1:250,000, que sirvieron como base para definir las clases de vegetación a considerar. Se realizó un recorrido de verificación de 60 puntos, a lo largo del área de estudio; en cada sitio se tomaron coordenadas y se anotó el uso del suelo, el tipo de vegetación y su estado (conservado, perturbado). Las clases fueron ajustadas, digitalizando directamente en pantalla sobre ortofotos a color 1:10,000 de temporalidad 2008-2009, mediante el SIG ArcGis 9.3.

Para la determinación de las características socioeconómicas y políticas se obtuvo información de distintas fuentes SEDESOL, INEGI, Municipio de San Felipe, FIRCO, SDA y CONAFOR. En esta parte del trabajo se utilizaron tres técnicas para la recopilación de información: A) Diálogo con informantes clave, B) Diálogo con grupos y C) Encuesta a actores.

## 2.4. RESULTADOS

### 2.4.1. Caracterización biofísica

#### 2.4.1.1. Localización

La microcuenca Laguna de Guadalupe se localiza en la parte noroeste del municipio de San Felipe, Gto., sus coordenadas extremas en unidades UTM (datum WGS84) son: 2,415,619.80 N, 2,408,067.74 S, 264,275.50 E, y 254,378.57 O Figura 5.

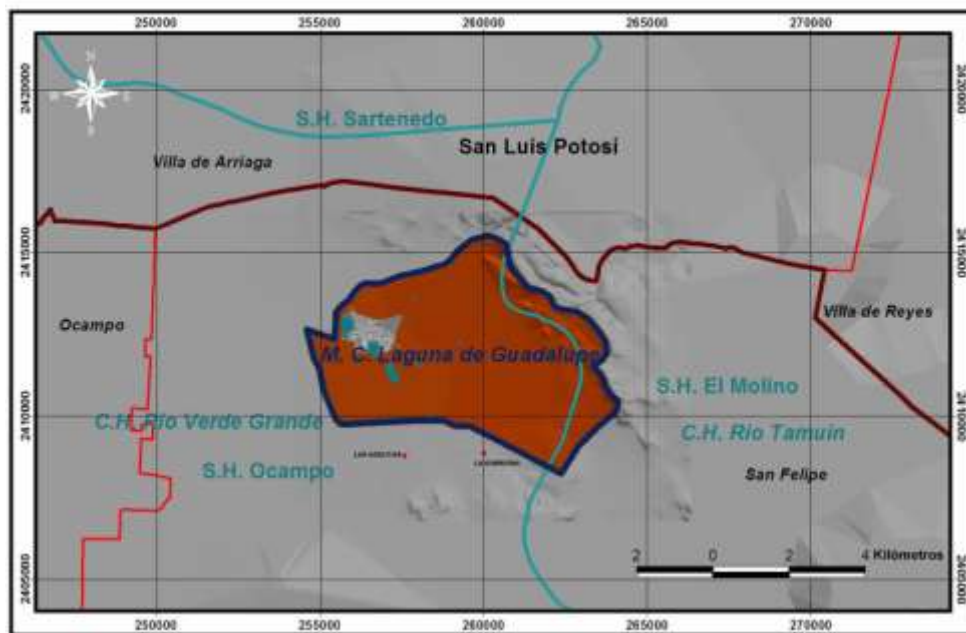


Figura 5 Localización de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

#### 2.4.1.2. Características morfológicas

Desde el punto de vista hídrico, las cuencas son colectores que reciben precipitación y la transforman en escurrimientos, que son afectados por las características propias de cada cuenca. Estas particulares pueden ser representadas mediante valores e índices que se relacionan con su respuesta hídrica (Guadalupe, 2007).

Estos parámetros son punto de partida de análisis hidrológicos y son empleados en estudios enfocados a la conservación de recursos naturales (FIRCO,

2005a). En la Tabla 2 se presentan las características morfológicas de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

**Tabla 2.** Características morfológicas de la microcuenca.

CONCEPTO	VALOR	OBSERVACIONES
Área de la Microcuenca	43.494	km <sup>2</sup>
Perímetro de la Microcuenca	28.913	Km
Elevación mínima	2204.75	Msnm
Elevación Máxima	2490.00	Msnm
Compacidad (Kc)	1.236	No aplica
Longitud Axial	9.303	Km
Factor de forma (Kf)	0.502	No aplica
Relación de elongación (Re)	0.799	No aplica
Orden de la cuenca	4	No aplica

Fuente: Análisis y cálculos en base a la cartografía básica de INEGI y trabajo de campo.

La microcuenca Laguna de Guadalupe tiene un área de 43.49 km<sup>2</sup> y un perímetro de 28.91 km.

Su compacidad (Kc) es de 1.236, que indica, que tenemos una microcuenca de forma irregular con tendencia a la circunferencia de acuerdo a la relación entre el perímetro de la microcuenca y la longitud de una circunferencia de área igual al de la cuenca. La forma de la cuenca controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal cuando sigue su curso, desde el origen hasta la desembocadura, esto nos permite conocer la conjunción del escurrimiento de una corriente. En este sentido la forma de la microcuenca nos indica que los escurrimientos superficiales que se generan se concentran más rápidamente y discurren en general por un cauce ramificado y que la duración (tiempo de concentración) es menor.

La longitud axial es de 9.303 km, lo cual nos genera un factor de forma de 0.502, que indica la presencia de un buen sistema de drenaje del agua, desde las partes más altas hasta el punto de salida de la microcuenca, lo que se traduce en

menores probabilidades de grandes avenidas de agua (crecidas).

La relación de elongación de la microcuenca indica la presencia de fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno. Por la distribución de su drenaje la microcuenca es de cuarto orden.

#### 2.4.1.3. Relieve

Los parámetros de relieve son de gran importancia, ya que estos tienen más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma (Gutiérrez, 2008); con carácter general podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores. En la Tabla 3 se presentan los principales parámetros de relieve de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

**Tabla 3.** Características de relieve de a microcuenca.

CONCEPTO	VALOR	OBSERVACIONES
Pendiente de la microcuenca (SC)	3.07	%
Elevación media de la cuenca	2,291.82	metros
Relación hipsométrica (RH)	0.73	Cuenca con tendencia a C
Integral hipsométrica (IH)	0.30	Cuenca con tendencia a C

Fuente: Análisis y cálculos en base a la cartografía básica de INEGI y trabajo de campo.

La pendiente media de la microcuenca es de 3.07%, lo que influye en la velocidad media de la escorrentía, su poder de arrastre y en la erosión sobre la cuenca.

En relación a las pendientes, estas varían principalmente entre los 0 y 30°, aunque existen algunas áreas empinadas que superan los 35°, mismas que se

localizan en la parte alta de la microcuenca (Cuadro 1).

Para la clasificación de las pendientes se empleó la categorización propuesta por Córdoba (2010).

**Cuadro 1.** Clasificación de las pendientes.

<b>Categoría</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Tipo de pendiente</b>
Planicie	0- 3°	Plano
Pie de monte	3- 5°	Pendiente muy suave
Lomerío	5- 15°	Pendiente suave
Ladera intermedia	15 - 35°	Pendiente intermedia
Ladera empinado	35- 45°	Pendiente empinada
Ladera abrupta	>45°	Pendiente abrupta

Fuente: Córdoba, 2010.

En la microcuenca las planicies ocupan el 74% de la superficie de la cuenca y se componen de paisajes llanos, de génesis variables, regularmente resultado de depósitos de material sedimentario y aluvial de textura media a fina.

El 12% de la superficie está ocupado por pie de monte que son unidades de transición entre las planicies y los lomeríos, por lo que su sensibilidad a la erosión es un tanto menor que en los lomeríos, sin embargo, la alteración de la vegetación en estas zonas las convierte en áreas frágiles ante este proceso.

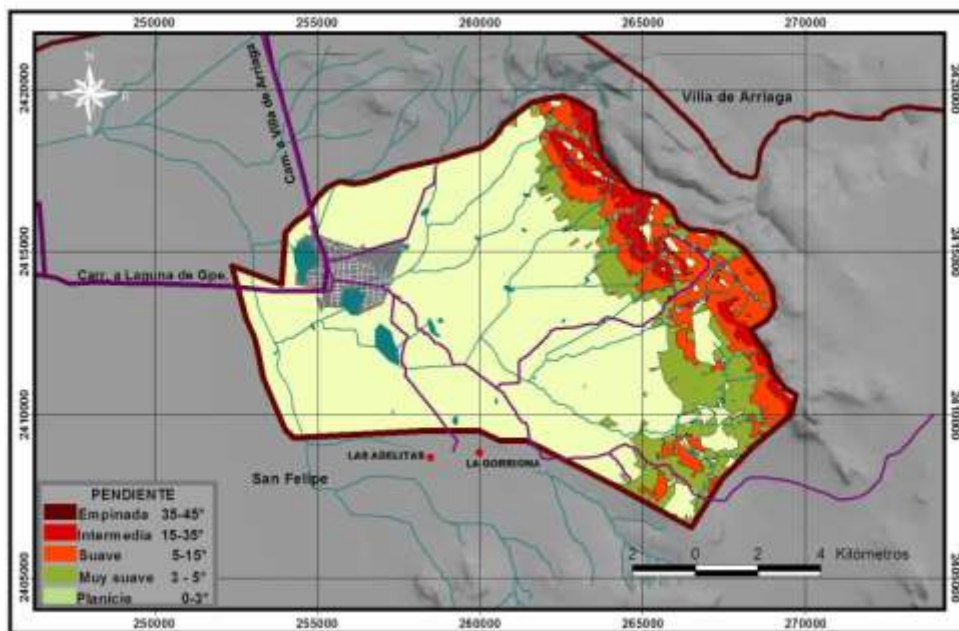
El 10% del territorio cuenta con lomeríos que consisten en unidades de acumulación de material fino y medio, de altura media que tienen su origen a partir de procesos de rodamiento y arrastre de suelos derivados de las laderas montañosas cercanas.

La zona de montaña se puede dividir en laderas intermedia, empinada y abrupta, de las cuales en la microcuenca la ladera intermedia representa el 4% y la

ladera empinada menos del 1%, mientras que las laderas abruptas no tienen presencia en la zona.

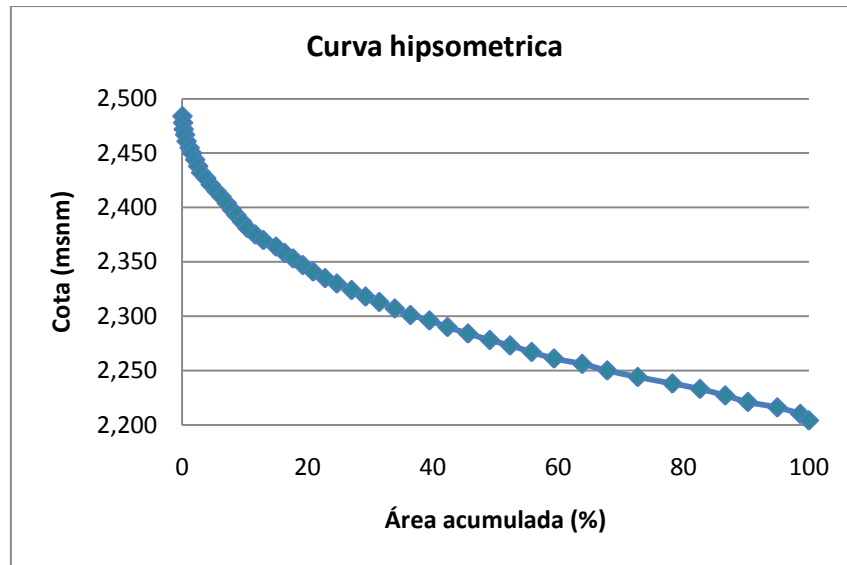
Es en la zona de montaña donde se encuentra la mayor porción de vegetación conservada en la cuenca debido a su lejanía con la población y a las dificultades que implica acceder a estas áreas sin embargo en algunas partes de esta zona existen áreas de las cuales se ha eliminado la vegetación, dejando el suelo expuesto al fenómeno erosivo.

La distribución de las pendientes en la microcuenca se puede observar en la Figura 6.



**Figura 6** Distribución de las pendientes en la microcuenca.

La elevación media de la cuenca proporciona información sobre la altitud de la microcuenca, así mismo representa la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura (Figura 7).



**Figura 7** Curva hipsométrica de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

La forma de la curva hipsométrica, al igual que la integral hipsométrica indican que esta es de tipo “C”, en estado de vejez (Strahler, 1952), que se relaciona con cuencas de valles extensos y cumbres escarpadas, sometidas a procesos intensos de erosión, tal vez por la influencia constante del viento, agua, cambios de temperatura y actividad tectónica en distintas eras geológicas, que han desgastado la superficie de la microcuenca.

La relación hipsométrica es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. Proporciona información sobre la altitud de de la microcuenca, así mismo se representa la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Relación hipsométrica de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

<b>COTA ALTITUDINAL</b>	<b>ÁREA (KM<sup>2</sup>)</b>	<b>SUPERFICIE ACUMULADA (KM<sup>2</sup>)</b>	<b>PORCENTAJE ÁREA ACUMULADA</b>
2204	0.0	0.02	0.057
2244	11.9	11.90	27.310
2284	11.8	23.68	27.081
2324	8.1	31.76	18.577

<b>COTA ALTITUDINAL</b>	<b>ÁREA (KM<sup>2</sup>)</b>	<b>SUPERFICIE ACUMULADA (KM<sup>2</sup>)</b>	<b>PORCENTAJE ÁREA ACUMULADA</b>
2364	5.2	37.00	12.047
2404	3.4	40.42	7.851
2444	2.2	42.61	5.042
2484	0.9	43.49	2.035

En el Cuadro anterior se puede apreciar que poco más del 50% de la superficie de la microcuenca se distribuye entre los 2224 y 2284 msnm. Solamente 0.057% se encuentra en la cota más baja de la microcuenca (2204 msnm) y 2.035% en la cota más alta (2484 msnm).

La red de drenaje dentro de una cuenca es indicador del estado de esta, ya que nos habla de su respuesta hidrológica ante fenómenos de precipitación (González, 2004), en la Tabla 4 se presentan los parámetros de la red de drenaje de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

**Tabla 4.** Características de la red de drenaje de la microcuenca.

<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Longitud del cauce principal	12.574	Km
Pendiente del cauce principal (Pmoy)	36.1	m/km.
Sistema de drenaje		Long. en km.
Primer orden	26	29.05
Segundo orden	6	18.85
Tercer orden	3	7.00
Cuarto orden	1	5.85
Quinto orden	0	0
Longitud de corrientes	60.725	Km
Densidad de drenaje	1.39	N/A

Fuente: Análisis y cálculos en base a la cartografía básica de INEGI y trabajo de campo.



El cauce principal presenta una longitud de 12.57 km y la sinuosidad de su corriente es de 1.32, que indica que el río es medianamente sinuoso.

El sistema de drenaje está constituido por corrientes dendríticas efímeras que sólo llevan agua cuando se presentan lluvias. El grado de bifurcación o ramificación se presenta de la siguiente manera: 26 corrientes de primer grado con una longitud acumulada de 29.62 km, 6 corrientes de segundo orden con una longitud de 18.85 km, 3 de tercer orden con una longitud de 7.0 km, y un arroyo de cuarto orden de 5.85 km. En total se tiene una longitud de 60.75 km de corrientes.

La microcuenca presenta una buena densidad de drenaje (Dd) igual a 1.39, que refiere una buena relación entre la longitud de corrientes y el área de la microcuenca, lo cual se traduce en un buen control y capacidad de soporte para grandes avenidas.

#### **2.4.1.4. Aspectos climáticos**

El clima de una región se ha considerado como la manifestación de un conjunto de fenómenos naturales que determinan los estados y condiciones biológicas y sobre los cuales se desarrolla la vida vegetal, animal y humana; determina también, en alto grado, el tipo de suelos que se desarrollan y por consiguiente el uso de la tierra y los sistemas productivos con su variedad de productos generados en el proceso de producción.

En la microcuenca no existe ninguna estación meteorológica establecida, sin embargo a su alrededor se localizan nueve de estas estaciones, la mayoría a cargo de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el resto de la Fundación Guanajuato Produce (FGP) (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estaciones meteorológicas aledañas a la microcuenca.

Estación	Municipio	Estado	Instancia	Coordenadas UTM		Altitud
				Latitud	Longitud	
S. el Águila	Villa de Arriaga	S. L. P.	SMN	2420566	265667	2184
Bledos	Villa de Reyes	S. L. P.	SMN	2416405	281319	1952
La Haciendita	Ocampo	Gto.	FGP	2392121	248172	1823
San Francisco	Ocampo	Gto.	FGP	2413870	243827	2195
Ocampo	Ocampo	Gto.	CNA	2395861	243355	2250
Villa de Arriaga	Villa de Arriaga	S. L. P.	CNA	2424684	253840	2169
San Pedro A.	San Felipe	Gto.	CNA	2390213	268790	2130
La Chirimoya	San Felipe	Gto.	CNA	2389998	284324	2000
Jaral de Berrios	San Felipe	Gto.	CNA	2400652	290505	1885

Mediante el análisis de los registros contenidos en estas bases de datos se generó información de las principales variables climáticas. Para asegurar la calidad de la información, los datos fueron filtrados por criterios de antigüedad (por lo menos 10 años de información) y continuidad de registros (90% de los datos).

#### **2.4.1.4.1. Clima**

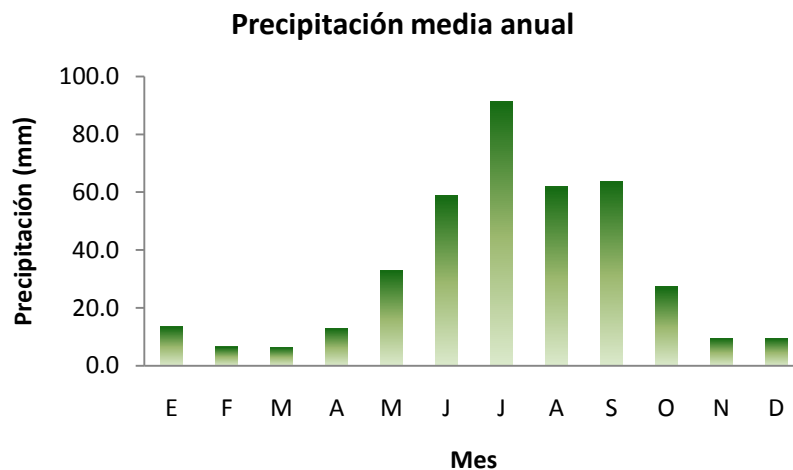
En la microcuenca se presenta el clima, clasificado según Köppen (1900), modificado por García (1981), como Bs1Kw, denominado semiseco templado, con lluvias en verano e invierno seco, la evapotranspiración supera a la precipitación pluvial la mayor parte del año.

#### **2.4.1.4.2. Precipitación**

La precipitación pluvial es el elemento más importante para la seguridad de la producción biológica en la cuenca (González, 2010). La microcuenca Laguna de Guadalupe es la única fuente de humedad del suelo que satisface la demanda hídrica durante el ciclo de desarrollo de los cultivos, además, contribuye a satisfacer la demanda del vital líquido a los animales que son pastoreados en la región.

La precipitación media anual de la microcuenca es de 394 mm +/- 62 mm / año y su distribución en la región presenta dos periodos bien definidos, el periodo lluvioso entre los meses de mayo a octubre, periodo en el que ocurre el 85% de la precipitación total y el periodo seco que va de noviembre a abril, donde se produce el 15% de la precipitación.

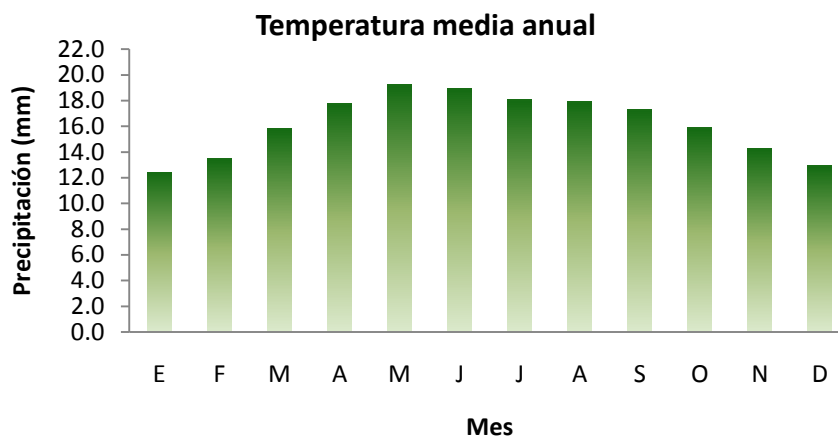
El período lluvioso (mayo-octubre) presenta una distribución unimodal, en la que la máxima precipitación ocurre durante el mes de julio (Figura 8).



**Figura 8** Distribución de la precipitación media anual en la microcuenca Laguna de Guadalupe. Fuente. Elaboración propia con datos históricos de las redes de estaciones de la CNA y FGP.

#### 2.4.1.4.3. Temperatura

La temperatura media anual de la microcuenca fluctúa entre los 15 y 16°C, siendo los meses más cálidos mayo y junio, en los cuales se presentan temperaturas máximas que varían de 26 a 30°C. Las temperaturas más frescas se presentan durante diciembre y enero, aunque en este periodo la temperatura promedio rebasa los 12°C, en la zona se registran temperaturas mínimas entre 3 y 4°C, coincidiendo estas temperaturas con las incursiones de las masas de aire frío de procedencia polar (Figura 9).

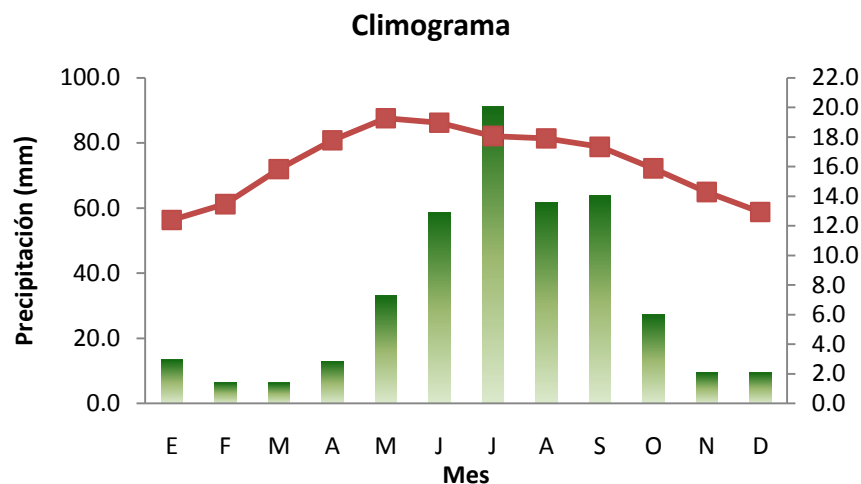


**Figura 9** Distribución de la temperatura media anual en la microcuenca Laguna de Guadalupe.  
Fuente: Elaboración propia con datos históricos de las redes de estaciones de la CNA y FGP

#### 2.4.1.4.4. Climograma

Empleando los registros promedios mensuales de precipitación y temperatura de las estaciones aledañas a la microcuenca se elaboró un climograma para la región de estudio.

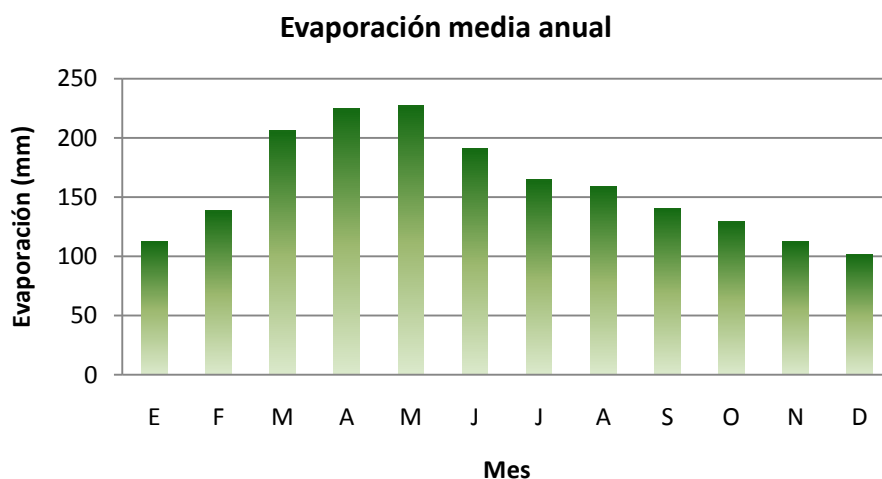
Como se puede observar en la gráfica 10 la marca de temperatura para la microcuenca denota una predominancia a lo largo del año de temperaturas mensuales promedio superiores a 12°C. Asimismo se observa que durante el periodo de junio a septiembre la magnitud de precipitación se encuentra alrededor de 60 mm de precipitación, siendo únicamente en el mes de julio donde se alcanzan los 90 mm. En términos de balance hídrico, únicamente en el mes de julio se produce un exceso de agua y es posible que ocurran procesos de infiltración profunda y escorrentía superficial. Mientras que en los meses restantes ocurrirá un déficit de agua, siendo los meses de febrero y marzo en los que se presentará mayor estrés hídrico (para las plantas).



**Figura 10** Climograma.

#### 2.4.1.4.5. Evaporación

La evaporación es una variable importante en el balance hídrico, esta variable es definida como el cambio de fase del agua de un estado líquido a sólido por absorción de calor. El agua que, cuando llueve, moja todas las superficies del ecosistema y se evapora cuando se secan, siempre que haya energía disponible. En la figura 11 se presenta la distribución de la evaporación en la microcuenca.



**Figura 11** Evaporación.

#### 2.4.1.4.6. Evapotranspiración de referencia (ETO)

La evapotranspiración, posee dos componentes. El primero es la evaporación

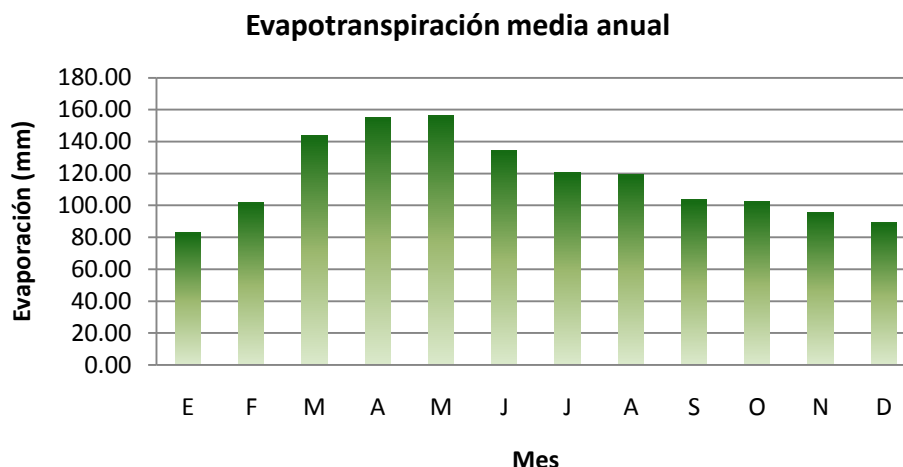
o el agua interceptada, es decir, el agua que cuando llueve, moja todas las superficies del ecosistema y se evapora cuando se secan, siempre que haya energía disponible. Cuanta más superficie de las estructuras sujetas a ser mojadas exponga el ecosistema, mayor será la cantidad de agua interceptada.

En sistemas donde la cobertura vegetal es importante, la evaporación directa desde el suelo es mínima comparada con la de las cabeceras más ventiladas y expuestas a la radiación.

El segundo componente es la transpiración, que se define como el agua del suelo que absorben las raíces y que retorna a la atmósfera siguiendo un camino por el interior de la planta: circula por los vasos conductores del xilema y se evapora en la superficie de las hojas a través de las estomas abiertas. En este caso, el agua transpirada proviene del agua almacenada en el suelo que puede ser explorado por las raíces, y también es importante, dado que las raíces exploran un considerable volumen del suelo.

Algunas de las estaciones automatizadas como las que conforman la red de la FGP calculan automáticamente la ETO, para lo cual utilizan el método de penman-Monteith por ser el procedimiento que permite la estimación de la ETO de manera más precisa (Allen *et al.*, 1998) y ser un método con validez mundial para la estimación de esta variable (Guevara, 2006).

En la microcuenca Laguna de Guadalupe tiene lugar una ETO promedio anual de 1,406 mm anuales. Es el periodo marzo-julio cuando se presenta la mayor demanda evaporativa, esto se relaciona con el periodo durante el que existe una mayor cantidad de vegetación en la zona, por lo que la transpiración de la misma incrementa la evapotranspiración (Figura 12).



**Figura 12** Evapotranspiración de referencia ETO.

#### **2.4.1.4.7. Periodo libre de heladas**

Las bajas temperaturas dan pie a lo que se denomina como heladas, dependiendo del nivel de enfriamiento las heladas pueden clasificarse en: a) ligeras, cuando la temperatura varía entre 0°C y -3.5°C, b) moderadas, cuando la temperatura varía entre -3.5°C y -6.5°C, c) severas, cuando la temperatura varía entre -6.5°C y -11.5°C, y d) muy severas, cuando la temperatura es menor a -11.5°C (Pereyra *et al.*, 2009).

La presencia de bajas temperaturas y la irregularidad de las mismas, es uno de los mayores problemas que enfrentan los agricultores, principalmente porque los cultivos son susceptibles a bajas temperaturas (Romo y Arteaga, 1989).

El periodo libre de heladas es el número de días que transcurre desde la última helada del invierno hasta la primera del otoño (Pereyra *et al.*, 2009).

En la microcuenca se identifican dos regiones con periodos libres de heladas de 214 y 198 días respectivamente. En la primer región la temporada de heladas inicia entre el 01 al 15 de noviembre y la última entre el 16 al 31 de marzo; mientras que para la segunda región la temporada de heladas inicia entre el 16 al 31 de octubre y finaliza entre el 16 al 31 de marzo. Es de destacar que la mayor parte del

área agrícola se distribuye dentro del periodo más largo libre de heladas (Figura 13).

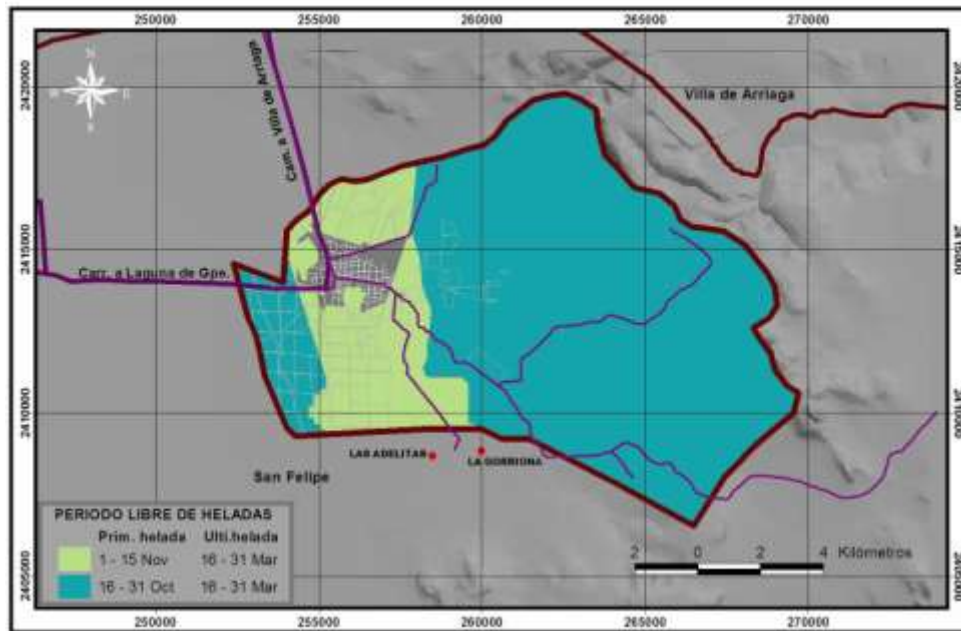


Figura 13 Periodo libre de heladas.

#### 2.4.1.5. Edafología

De acuerdo a las cartas edafológicas de INEGI a escala 1:50,00, actualizadas de acuerdo a la base de mundial de referencia de suelos (FAO, 2006). Las unidades de suelo presentes en la microcuenca son: Phaeozem, Leptosol y Durisol.

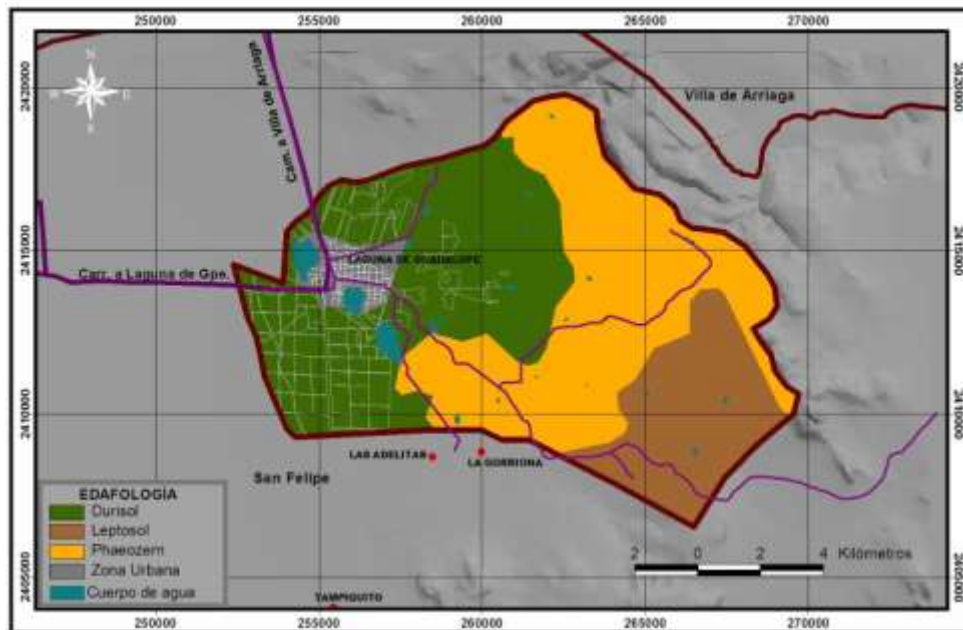
El tipo de suelo de mayor distribución es el Durisol, ocupando una superficie de 1,824.1 ha, equivalentes al 43% del territorio de la microcuenca y se encuentra en la parte baja. Este suelo se caracteriza por ser duro, difícil para implementar la agricultura y de poca profundidad.

El tipo Phaeozem, ocupa el 39% del territorio de la cuenca. Este suelo es el resultado de procesos de humificación que regula las propiedades del suelo. En la microcuenca se localizan en la parte media, tanto en partes planas, como en pendientes ligeras de las laderas de montaña. Presentan un horizonte superficial oscuro, rico en materia orgánica y en nutrientes.

Los Leptosoles son suelos que se encuentran en el 17.9% del área de estudio,



ubicándose principalmente en la cabecera de la cuenca, en laderas de montañas con pendientes abruptas a suaves, pero también pueden encontrarse en menor proporción en lomeríos y algunos terrenos planos. Se caracterizan por su perfil edáfico limitado (profundidad menor a 20 cm hasta la roca, tepetate o caliche duro). Son muy variables en función del material que los forma. Por su naturaleza y su distribución, son susceptibles a los procesos erosivos, Figura 14.



**Figura 14** Edafología de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

#### 2.4.1.6. Fisiografía

La microcuenca Laguna de Guadalupe se localiza en la provincia fisiográfica IX Mesa del Centro, caracterizada por ser una región elevada, por encima de los 2,000 msnm, entre las subprovincias: Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes (79.1%) y sierras y llanuras del norte de Guanajuato (20.9%).

La porción Este de la microcuenca se localiza en la subprovincia 43 Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes, que se caracteriza por llanuras extensas con sierras pequeñas escarpadas de naturaleza volcánica.

La parte Oeste de la microcuenca está comprendido en la subprovincia 44 Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato, con un sistema de topofomas de

Sierras, que consta de varias llanuras angostas entre sierras volcánicas, que cubren la mayor parte del territorio.

#### **2.4.1.7. Hidrología**

##### **2.4.1.7.1. Superficial**

La microcuenca se localiza en la región hidrológica 12 Lerma-Santiago, dentro de la cuenca 041 Río Verde Grande, que recibe este nombre debido a su principal afluente, que se origina en el estado de Zacatecas y drena directamente al lago de Chapala; recibe afluencias de los estados de Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato y Jalisco. Esta cuenca tiene un volumen medio anual de escurrimiento natural de 20.24 millones de metros cúbicos ( $Mm^3$ ) por año, de los que solamente 1.62  $Mm^3$  están disponibles para esta; el resto (17.05  $Mm^3$ ) están comprometidos aguas abajo. La cuenca está tipificada como “Con agua disponible” (CONAGUA, 2000).

Aunque no existen corrientes de agua de importancia en la microcuenca los principales arroyos intermitentes son: El Tepetatillo, Jarillas, El Cabresto, Las Paridas y Cañada Larga, que drenan a los bordos San Vicente, tanque de la cochina y tanque nuevo; además de estos tres cuerpos de agua se dispone de al menos otros 16, que en su mayoría son utilizados como abrevaderos del ganado, durante todo el año. En la actualidad estas obras se encuentran con diferentes niveles de agua, así mismo, presentan problemas de azolve por partículas de sólidos arrastrados por las aguas que escurren de la parte alta de la microcuenca.

El tipo de drenaje de la microcuenca es predominantemente dendrítico.

También se tiene conocimiento de los manantiales: El blanquillo, El saucillo, La salitrera y El posito de la barranca, que son aprovechados por la población para consumo humano cuando el servicio de agua potable escasea.

#### **2.4.1.7.2. Subterránea**

La microcuenca en su totalidad se encuentra asentada sobre el acuífero Ocampo, que presenta un sistema de flujo regional que circula preferentemente en el medio de rocas volcánicas fracturadas y que se identifica con agua termal (más de 30°C) rica en sodio, litio y fluoruro. El sistema de flujo intermedio está representado por el agua subterránea de temperatura entre 18 y 24°C que circula por el material granular presente en la región. El acuífero manifiesta condiciones de flujo vertical descendente. Por la condición de los suelos presentes en la región, normalmente se presentan condiciones de déficit, por lo que la vegetación que se desarrolla es de tipo Xerófila. Según el inventario de aprovechamientos en el acuífero se tienen un total de 75 aprovechamientos entre pozos y norias; uno de los cuales es el pozo de agua potable FI-8, que se localiza en la localidad de Laguna de Guadalupe, que cuenta con una profundidad total de 680 m, profundidad al nivel estático de 250 m y un espesor conjunto de al menos 1000 a 1500 m (UASLP-LESSER y Asoc.-CEAG, 2000).

#### **2.4.1.8. Geología**

El área de la cueca está ocupada por rocas de la era cenozoica (C), tanto del periodo cuaternario (Q) como del terciario (T). La Unidad Litológica del Cuaternario corresponde a Suelos Aluviales (al) que ocupan el 56.1% de la superficie de la microcuenca y se localizan en la parte baja en las inmediaciones de los tres cuerpos de agua y en el noreste de la parte alta de la microcuenca.

El 33.7% del área de la microcuenca está constituida por riolitas (ri) pertenecientes a unidades litológicas del terciario y básicamente se encuentran en la porción media-alta de la microcuenca.

El resto del territorio de la microcuenca es ocupado por rocas sedimentarias arenisca (ar) que al igual que las riolitas pertenece a unidades litológicas del terciario, estas rocas constituyen el 10.2% del territorio de la microcuenca y se ubican en su

parte media. Figura 15.

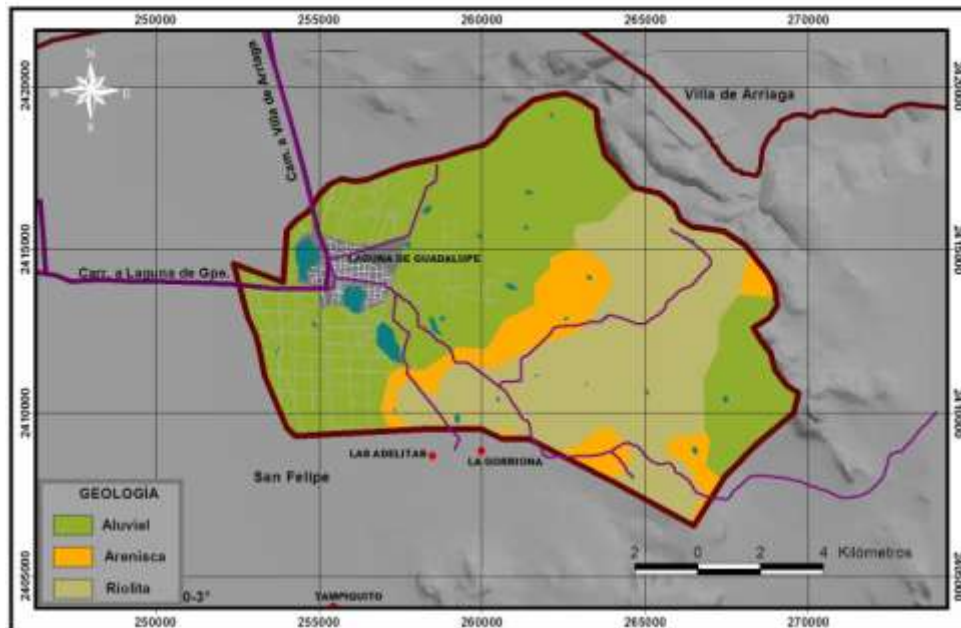


Figura 15 Geología microcuenca Laguna de Guadalupe.

**Suelos aluviales Q(al).** En esta unidad se incluyen todos los depósitos continentales clásticos no consolidados como las gravas, arenas, limos, arcillas y suelos residuales (pie de monte), que afloran en las planicies del valle como consecuencia de la erosión y del intemperismo, depósitos los cuales tienen poca extensión y espesor aproximado de 10 m forman una capa delgada en los cauces de los principales arroyos y ríos. Se consideran de una edad del Holoceno, ya que es la última secuencia estratigráfica prevaleciente.

**Areniscas Q(ar).** Es una unidad geológica de origen continental constituida por fragmentos de tobas ácidas y riolitas, es masiva parcialmente consolidada, sobreyace en forma discordante a tobas ácidas y riolitas, se le ha asignado una edad del cuaternario. Geomorfológicamente se le encuentra formando lomeríos de suaves pendientes y como abanicos aluviales y en menor proporción aflora en las partes altas de las sierras.

**Riolita Ts(R).** Roca ígnea extrusiva de composición ácida y textura afanítica de color rosa claro que intemperiza a café. Tiene estructura de tipo fluidal y

esferulítica con fracturamiento moderado. Conforman derrames de espesor y extensión considerables.

#### **2.4.1.9. Uso del suelo y vegetación**

Aproximadamente en 6.8% de la superficie de la microcuenca se encuentran estratos de vegetación natural, localizados en la parte alta de la microcuenca, lo que ha permitido su conservación, ya que prácticamente son terrenos inútiles para la actividad agropecuaria. De esta vegetación un 3.2% corresponde a bosques de encino y 3.6% al matorral crasicaule.

El 17% de la superficie se dedican a la agricultura bajo condiciones de temporal, esta área se localiza en la parte baja de la microcuenca en las inmediaciones del poblado.

Cerca del 70% de la superficie total de la microcuenca está ocupado por el matorral xerófilo crasicaule, sin embargo, la mayor parte de éste (94%) cuenta con algún grado de perturbación o alteración, debido a la fuerte presión de las actividades de pastoreo en la zona, la parte media es la que presenta un mayor nivel de alteraciones en la cubierta vegetal.

En el Cuadro 3 señala la superficie calculada para uno de los distintos usos y tipos de vegetación de la microcuenca.

**Cuadro 3.** Superficies del uso del suelo y vegetación en la microcuenca.

<b>Categoría</b>	<b>superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Agricultura de temporal	740	17.0
Bosque de encino conservado	140	3.2
Bosque de encino perturbado	85	2.0
Cuerpo de agua	69	1.6
Matorral xerófilo Crasicaule conservado	158	3.6

Categoría	superficie (ha)	%
Matorral xerófilo Crasicaule perturbado	2851.4	65.6
Urbano	159	3.7
Sin vegetación aparente	147	3.4
<b>Total</b>	<b>4349.4</b>	<b>100.0</b>

La Figura 16 muestra la distribución general del uso de suelo y vegetación en la microcuenca.

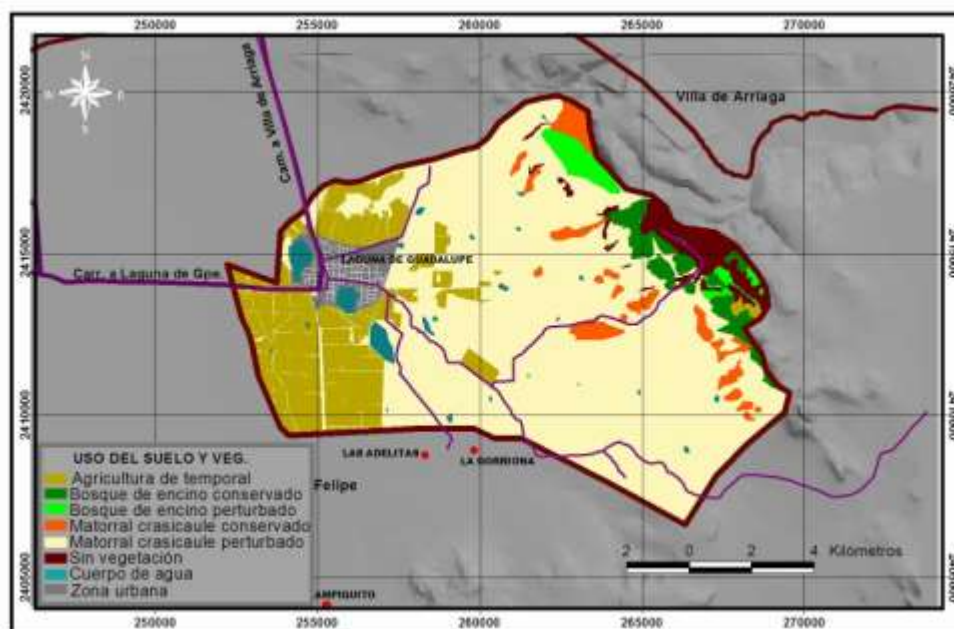


Figura 16 Uso del suelo y vegetación.

Respecto a la vegetación de la microcuenca es posible indicar que ésta pertenece a la región Xerofítica Mexicana, característica de zonas áridas y semiáridas del país, que se encuentra representada por matorrales xerófilos y bosques espinosos o mezquiales (Rzedowski, 2006).

A continuación se describen los tipos de vegetación presentes en la zona de estudio.

**Matorral Crasicaule.** Esta comunidad en la microcuenca es dominada por

especies con tallos carnosos, de 2 a 4 m y cerca del 60% de las especies pertenecen a la familia de las cactáceas, representada por diferentes especies de nopal, dentro de las que destacan hartón (*Opuntia hyptiacantha*), cardón (*O. streptacantha*) y maguey (*Agave spp.*). En algunas zonas de la microcuenca la palma datilera (*Yucca filifera*) llega a formar un estrato de eminencias, dentro de este matorral existe presencia de elementos arbustivos espinosos como huizache (*Acacia spp.*), engordacabras (*Dalea bicolor*), uña de gato (*Mimosa biuncifera*), xonocoxtle (*Opuntia imbricada*) y biznaga de chilitos (*Mammillaria magnimamma*) (Rzedowski, 2006).

**Matorral Crasicaule Perturbado.** En relación con matorrales conservados, estas comunidades son más abiertas, ya que las plantas suculentas miden desde 1 hasta 3 m. En esta vegetación se observa la fuerte presencia de un mayor número de especies arbustivas, generalmente de huizaches (*Acacia spp*) y garabatlillos (*Mimosa biuncifera*). En los sitios de mayor perturbación existe abundancia de sangregado (*Jatropha dioica*), como elemento herbáceo, al igual de observarse presencia de ocotillo (*Dodonaea viscosa*). Dentro del matorral existen pequeños manchones que han sido desmontados encontrándose únicamente la presencia de elementos herbáceos, sobre todo hacia la parte media de la microcuenca donde existe una mayor presencia de ganado.

**Bosque de Encino.** La comunidad de encino se encuentra en la parte alta de la microcuenca en altitudes superiores a 2350 msnm, sobre suelos riolíticos y aluviales donde solamente existen pequeños remanentes conservados de este tipo de vegetación que representan un área muy pequeña (3.2% de la superficie total de la microcuenca). La vegetación es dominada por el estrato arbóreo compuesto por encinos (*Quercus spp.*), el cual mide entre 2 y 4 m de altura y por el estrato herbáceo, representado principalmente por especies de la familia *Asteraceae*, en algunas partes presentan asociación con el matorral xerófilo y con especies como *Ptelea trifoliata* (palo hediondo), *Buddleja cordata* (tepozán).

**Bosque de Encino perturbado.** Al igual que el bosque de encino conservado esta comunidad se encuentra en la parte alta de la microcuenca, sin embargo, a diferencia de las áreas donde el grado de conservación es mayor, estas áreas cuentan con algunos accesos que son utilizados por la población tanto de la microcuenca como de áreas vecinas para la extracción de leña y tierra, con lo que se originan deterioros. En la microcuenca esta vegetación representa el 2% de la superficie total y existe una mayor presencia del estrato herbáceo así como una mayor presencia de especies del matorral crasicaule.

En la Tabla 6 se presentan las principales especies, que conforman la flora de la microcuenca, además de enlistar los aprovechamientos actuales y potenciales de cada uno de estos elementos.

**Tabla 6.** Principales especies de la flora en la microcuenca Laguna de Guadalupe, sus usos actuales y potenciales.

<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Aprovechamiento</b>	<b>Aprovechamiento Potencial</b>
Biznaga de chilitos	<i>Mimulariamagnimamma</i>	Ninguno	Ornamental, frutos comestibles
Cardenche	<i>Cylindropuntia rosea</i>	Ninguno	Medicinal, ornamental
Cicutilla	<i>Partheniumhystero phorus</i>		
Ciricua			Medicinal
Encino	<i>Quercussp.</i>	Algunas veces como leña	Madera para fabricar muebles
Engordacabraó ramón	<i>Dalea bicolor</i>	Forraje	Forraje
Escobilla	<i>Salsolagenistoides</i>	Ninguno	Medicinal
Garabatilloó de gato	<i>Mimosa biuncifera</i>	Algunas veces como Medicina	Medicinal



Nombre Común	Nombre científico	Aprovechamiento	Aprovechamiento Potencial
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	Ninguno	No conocido
Huizache	<i>Acacia shaffneri</i>	Ninguno	No conocido
Izote ó palma datilera	<i>Yucca filifera</i>	Forraje para ganado	Flores comestibles Obtención de mezcal,
Magüey	<i>Agave salmiana</i> <i>Agave spp.</i>	Obtención de agua-miel Pulque	de agua miel, pulque, y forraje, flores comestibles, inulina, jarabe, papel, leña.
Mala mujer	<i>Solanum elaeagnifolium</i> , <i>Solanum rostratum</i>		
Mezquite	<i>Prosopis laevigata</i>	Ninguno	Vaina de las semillas es comestible
Nopal Arrastradillo	<i>Opuntia stenopetala</i>	Ninguno	Retención de suelos
Nopal cardón	<i>Opuntia streptacantha</i>	Ninguno	Tallos y frutos comestibles
Nopal Cascarón	<i>Opuntia hyptiacantha</i>	Como nopal tierno	Como verdura
Nopal Cuijo	<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	Ninguno	No conocido
Nopal duraznillo	<i>Opuntia megacantha</i>	Ninguno	Como verdura
Nopal hartón	<i>Opuntia hyptiacantha</i>	Frutos y tallos comestibles	Tallos y frutos comestibles
Nopal Memelo	<i>Opuntia hiptiacantha</i>		
Nopal negrito			

Nombre Común	Nombre científico	Aprovechamiento	Aprovechamiento Potencial
Nopal Tapón	<i>Opuntia robusta</i>	Tallos y frutos comestibles	Tallos y frutos comestibles, forraje
Nopal vallito			
Paixtle	<i>Tilandsiarecurvata</i>	Uso religioso en nacimientos	uso religioso en nacimientos
Tatalencho	<i>Gymnospermaglutinosum</i>		
Sangregado	<i>Jatropha dioica</i>	Antiséptico, anticaspa	Tallos para elaboración de artesanías, el jugo del tallo para cicatrizar heridas
Suelda de perro		Forraje	Forraje
Tepozan	<i>Buddleia cordata</i>		
Xoconostle	<i>Opuntia imbricata</i>	Condimento de guisados	Condimento de guisados

Fuente: Herbario de la UAQ, Proyecto Flora del Bajío y conocimiento local de la población.

#### 2.4.1.10. Erosión

Como se mencionó anteriormente la erosión del suelo es uno de los procesos que limitan el funcionamiento y la productividad en una cuenca; este proceso se reconoce como un fenómeno natural causado por la ruptura de los agregados del suelo en partículas más finas y su transporte a otros lugares, generalmente de las partes altas a las partes bajas del paisaje, debido a la acción del viento y el agua (Pierson 2000; Aguilar 2011).

En la microcuenca Laguna de Guadalupe, una de las actividades productivas más fuertes es la ganadería intensiva, la cual comprende cerca de 1,000 cabezas de ganado mayor y 2,000 de ganado menor, sin embargo, el mal manejo de esta actividad ha ocasionado que los agostaderos se encuentren degradados; cada año se pierdan grandes cantidades de suelo.

Empleando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE por sus siglas en inglés) se estimó la cantidad promedio de suelo perdido por hectárea por año. Esta ecuación se basa en seis factores  $A=R K L S C P$ , donde R hace referencia a la erosividad de la lluvia; K a la erodabilidad del suelo; L al efecto de la longitud de la pendiente; S al grado de la pendiente; C al manejo de la cubierta vegetal, y P a las prácticas de control de la erosión y conservación de suelo (Renard *et al.* 1997).

Mediante esta ecuación se estima que la erosión potencial promedio en la microcuenca es de 101.04 t/ha/año de suelo, que según la clasificación de FAO se trata de una erosión moderada (FAO, 1980), Para obtener esta información se empleo la ecuación IV para calcular la erosividad de la lluvia, (R) (Cortés, 1991); un valor de K de 0.038 correspondiente a un suelo de textura arenosa muy fina (FAO, 1980) y para el cálculo del factor LS se empleó la formula  $LS=(\lambda m(0.0138 + 0.009658 + 0.00138S)$  (Renard *et al.*, 1997), donde los valores para  $\lambda$ , m y S fueron: 9,303, 0.4 y 3.07 respectivamente, los cuales se obtuvieron con anterioridad.

Además del cálculo de la erosión potencial se estimó la erosión actual agregando a la formula los factores C (Factor de vegetación) y P (Factor de prácticas de control), para los cuales se emplearon 0.1 y 1 por no existir prácticas de control en la microcuenca; con lo que resulta una erosión actual de 10.10 t/ha/año, que según la clasificación de se encuentra en la categoría moderada (FAO, 1980).

## **2.4.2. Caracterización económica**

### **2.4.2.1. Infraestructura**

La infraestructura que se tiene en la localidad y terrenos comprendidos dentro de la microcuenca Laguna de Guadalupe, han servido para brindar bienestar a los habitantes de esta región, aunque debido al crecimiento de la población y las necesidades su capacidad ha sido sobrepasada en algunos casos. A continuación se describe la infraestructura localizada en la microcuenca.

#### **2.4.2.1.1. Hidráulica**

En la parte baja de la microcuenca se localizan tres cuerpos de agua, los bordos San Vicente, tanque de la cochina y tanque nuevo, que captan la mayor parte del escurrimiento de la cuenca, en conjunto tienen un almacenamiento potencial de  $m^3$ , además existen al menos otros 19 bordos más pequeños, que están distribuidos en la microcuenca y tienen una capacidad aproximada de almacenamiento de  $m^3$ . En el área que comprende la microcuenca, dentro del acuífero Ocampo se localiza el pozo de agua potable FI-8, que cuenta con un volumen anual disponible de 219,000  $m^3$ , el cual brinda servicio aproximadamente a 700 familias de la localidad.

#### **2.4.2.1.2. Servicios básicos**

En Laguna de Guadalupe se cuenta con servicio de energía eléctrica, agua potable y alcantarillado (Figura 17); la población que tiene accesos a estos servicios, representan al 95, 90 y 70% de la población, respectivamente.

La escasez de agua potable es un problema recurrente que se deriva de problemas con la planeación administrativa de la red.



**Figura 17** Servicios básicos en Laguna de Guadalupe.

### **Comedor Comunitario Laguna de Guadalupe**

Este comedor comunitario (Figura 18) opera con recursos del DIF municipal, quien aporta el 100% de los costos, se recibe una cooperación de \$10 por familia que se emplea para el mantenimiento de las instalaciones. En este comedor mensualmente se atienden 270 personas; la población atendida son adultos mayores, niños y público en general. El comedor inició operaciones en julio de



**Figura 18** Comedor Comunitario.

2012. La persona que proporcionó la información es la coordinadora del comité del comedor comunitario Sra. Jovita Mendoza Cleto.

### **Biblioteca pública municipal Luis Fernando Martínez “El Constituyente”**

Esta biblioteca opera con recursos 100% municipales. Cuenta con servicio de módulo digital (actualmente sin internet) (Figura 19). Mensualmente se atienden 400 personas y el servicio no tiene costo. El informante fue la C. Guillermina Mendoza Ruíz.



**Figura 19** Biblioteca Luis Fernando Martínez el Constituyente.

### Centro Comunitario de Aprendizaje (CCA)

Este centro opera con recursos municipales y tiene un costo de recuperación para el usuario de \$5 por servicio de internet y \$3 por uso de otras aplicaciones (Figura 20). Mensualmente se atienden aproximadamente 250 personas, la distribución por estrato de edad se presenta en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Distribución por edad de usuarios del CCA.

Edad	Usuarios (Núm)	%
7-11	30	12
11-15	75	30
15-21	120	48
22-30	15	6
Más de 30	10	4
<b>Total</b>	<b>250</b>	<b>100</b>



**Figura 20** CCA Laguna de Guadalupe.

### Unidad Médica de Atención Primaria a la Salud (UMAPS) Laguna de Guadalupe.

Esta unidad médica cuenta con una “unidad básica incompleta de salud”, constituida por un médico y dos enfermeras; opera con recursos municipales y proporciona mensualmente entre 650 y 720 consultas (Figura 21).

Los índices de diabetes e hipertensión son altos y su atención se realiza implementando un esquema, mediante el cual se brinda consulta a por lo menos 45 personas por semana. Las seis enfermedades que se presentan con mayor frecuencia, sin contar a la diabetes e hipertensión son: 1) Infecciones respiratorias, 2) Infecciones diarreicas, 3) Accidentes, 4) Enfermedades de la piel, 5) Amibiasis y 6) parasitosis. La mayoría de estas enfermedades se relacionan con los ácaros del polvo, falta de un clorinador en el pozo de agua potable y escasez de agua que propicia hábitos de aseo personal desordenados.

Existen problemas de control de natalidad que se agudizan debido a creencias religiosas. Los informantes clave fueron el Dr. de base de la unidad Laguna de Guadalupe. Octavio Corona Cabrera y la pasante de medicina Elizabet Pandal Baños.



Figura 21 UMAPS Laguna de Guadalupe.

#### 2.4.2.1.3. Educativa

En Laguna de Guadalupe existen servicios educativos desde preescolar hasta bachillerato, a continuación se describe cada uno de ellos.

***Jardín de niños Quetzalcóatl (11DJN0771Z).*** Cuenta con capacidad para 240 alumnos, actualmente atiende 200 de segundo y tercer grado (4 a 5 años), de los que 55% son hombres y 45% mujeres, distribuidos en 8 grupos (Figura 22). La directora Ma. Refugio Meza Fajardo desde hace 24 años funge como directora y manifiesta que en este tiempo la población atendida se ha duplicado.



Figura 22 Jardín de niños Quetzalcóatl.

**Escuela primaria Ignacio Zaragoza (11DPR0133T).** Esta institución cuenta con turno matutino y vespertino y tiene capacidad para atender 500 alumnos. Actualmente se brinda el servicio a 416 alumnos distribuidos en ambos turnos, 250 en matutino y 166 en vespertino, de los cuales 55% son mujeres y 45 hombres.



**Figura 23** Primaria Ignacio Zaragoza..

Las instalaciones se encuentran en buenas condiciones; cuenta con los servicios básicos de energía eléctrica, agua, drenaje y áreas de esparcimiento (Figura 23). El informante fue la directora de la institución Mtra. Ana Hilda Gallegos Ramírez.

**Escuela Telesecundaria No. 173 (11ETV0151C).** Esta escuela tiene una capacidad aproximada de 270 alumnos. Actualmente atiende 245 alumnos atendidos en 9 grupos, divididos equitativamente en primer, segundo y tercer grado. La escuela cuenta con los servicios básicos y con espacios recreativos (Figura 24). El informante fue el director Mtro. Alberto Tapia Guerrero.



**Figura 24** Escuela Telesecundaria 173.



### **SABES Laguna de Guadalupe**

**(11ETH0141G).** Esta institución ofrece educación media superior desde 1997 a la población estudiantil de Laguna de Guadalupe. Actualmente atiende a 97 alumnos de los que 55% son mujeres y 45% hombres (Figura 25). El informante Mtro. Felipe de Jesús Granados Gutiérrez, comenta que alrededor del 40% de los



**Figura 25** Bachillerato SABES.

estudiantes que concluyen su bachillerato, continúan estudiando el nivel superior en León, San Luis Potosí y ciudades cercanas,

#### **2.4.2.1.4. Telecomunicaciones**

En materia de telecomunicaciones, en Laguna de Guadalupe se dispone de infraestructura para el acceso a servicio telefónico. Existe infraestructura y servicio de telefonía por microonda. Algunas viviendas de la localidad cuentan con servicios de televisión satelital, Figura 26.



**Figura 26** Servicios de telecomunicación en Laguna de Guadalupe.

#### **2.4.2.1.5. Instalaciones recreativas**

La localidad cuenta con algunos lugares para la práctica de actividades recreativas, se dispone de una cancha de basketball y una de football, además de

algunos espacios improvisados donde se practican deportes como baseball y volleyball, Figura 27.



**Figura 27** Instalaciones recreativas.

#### **2.4.2.1.6. Bodegas y almacenes**

La comunidad cuenta con un centro de acopio de granos que se localiza en la entrada del poblado y es utilizado para concentrar los granos, producto de las actividades agrícolas desarrolladas. Otra instalación que se ha aprovechado como almacén, son las instalaciones de la casa ejidal que igualmente es aprovechada como salón de fiestas por los habitantes de la localidad, Figura 28.



**Figura 28** Bodegas y almacenes.

#### **2.4.2.2. Sistemas de producción**

##### **2.4.2.2.1. Agrícola**

Una de las principales actividades económicas de los habitantes de Laguna de Guadalupe es la agricultura; las tierras son cultivadas por ejidatarios, avocindados y

pequeños propietarios del lugar. Según resultados de la encuesta realizada entre los productores de la microcuenca y recorridos de campo, el frijol es el principal cultivo de los sistemas de producción agrícola, seguido de maíz y trigo (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Principales cultivos en la microcuenca Laguna de Guadalupe.

<b>Cultivo</b>	<b>Principal (%)</b>	<b>Secundario (%)</b>	<b>Alternativo (%)</b>
Frijol	81	16	-
Maíz	16	68	-
Nopal	3	-	-
Trigo	-	8	32
Avena	-	-	11
Maguey	-	3	-
Cebada	-	-	8
Sin cultivo	-	5	49
Total	100	100	100

La mayor parte de la producción agrícola se desarrolla en la parte baja de la microcuenca, bajo condiciones de temporal. Para el caso de frijol éste se siembra en monocultivo o intercalado con maíz. Las variedades cultivadas son Negro Querétaro, Pinto Saltillo y Flor de mayo criollo, Figura 29. Los rendimientos en buen temporal varían de 1000 a 2000 kg/ha, en año regular de 300 a 600 kg/ha y en años malos de 0 a 300 kg/ha. El destino de la producción es para autoconsumo y en caso de haber excedentes estos se comercializan en la región.



**Figura 29** Cultivo de frijol en la microcuenca..

En el caso de maíz la semilla que se utiliza es criolla, propia de los agricultores. Los rendimientos de grano en buen temporal varían de 1000 a 3000 kg/ha, en años regulares de 300 a 700 kg/ha y en años malos de 0 a 300 kg/ha (Figura 30). Al igual que el frijol la producción es de autoconsumo y en caso de excedentes se comercializan regionalmente. El rastrojo es empleado como forraje para los animales



**Figura 30** Cultivo de maíz en la microcuenca Laguna de Guadalupe.

El cultivo de trigo y cebada es otra actividad agrícola importante, estos cultivos tienen doble propósito al igual que el maíz, ya que se aprovecha el grano y el esquilmo como forraje. En estos cultivos se reportan rendimientos medios en buen temporal para grano de 2200 kg/ha y 280 pacas/ha de esquilmo, en año regular 950 kg/ha y 100 pacas/ha de esquilmo, mientras que en años malos se obtienen 200 kg/ha y 20 pacas/ha de grano y pacas de esquilmo, respectivamente (Figura 31).



**Figura 31** Cultivo de trigo y cebada en la microcuenca Laguna de Guadalupe.

Como se revisó en párrafos anteriores, la precipitación media de la microcuenca varía de 390 a 459 mm anuales, lo que convierte a la agricultura de la región en altamente vulnerable; en ocasiones las pérdidas a causa del fenómeno de la sequía ascienden al 95% de la producción. Actualmente 10% de los productores implementan en sus parcelas actividades enfocadas al aprovechamiento de agua, acciones como rotura vertical, contreo y curvas de nivel. Algunos de los implementos utilizados en la producción agrícola se muestran en la Figura 32.



**Figura 32** Maquinaria para producción agrícola.

El resto de los agricultores continúa produciendo bajo esquemas tradicionales donde el barbecho, la rastra y nivelación siguen siendo las actividades predominantes en la preparación del terreno.

Como se puede observar las actividades agrícolas de las unidades de producción dependen en primera instancia de las condiciones naturales que se localizan en la microcuenca.

#### **2.4.2.2.2. Pecuario**

La ganadería es una actividad que ha cobrado mucha importancia en la microcuenca, incluso superior a la producción agrícola. La principal especie que se explota en esta región son los bovinos con el 43.5% del total de la producción, seguido por el ganado caprino con 26.4% y los ovinos con 18%; el resto se distribuye entre porcinos, aves y ganado equino. La mayor parte del ganado que existe en la microcuenca es criollo. El ganado caprino, ovino y bovino es sobre pastoreado en las áreas de agostadero, tanto en la porción alta como en la porción media de la microcuenca. El coeficiente de agostadero recomendado es de 10 ha/UA y el coeficiente aplicado es de 14 ha/UA (Chávez, 2010).

Actualmente no se lleva un manejo adecuado del ganado ya que en la zona existe evidencia de sobrecarga animal, lo que ocasiona deterioro de la vegetación en los agostaderos.

Al intensificarse la sequía, una de las alternativas de alimentación para el ganado es el aprovechamiento de algunos recursos forestales tales como nopal, maguey, yuca y algunos arbustos (Figura 33), sin embargo, la mayoría de las ocasiones estos recursos no son aprovechados de la mejor manera. Al no contar con una correcta planeación de las áreas de agostadero, el ganado impacta de manera negativa a estos recursos, por ejemplo en el caso del maguey las plantas son destrozadas por los pastores para que sean consumidas por el ganado, mientras que el ganado en ocasiones se come plantas tiernas y pisotea plantas pequeñas.



**Figura 33** Aprovechamiento de recursos forestales.

Otros problemas que presenta la ganadería es la falta de infraestructura adecuada, deficiente manejo sanitario, nulo manejo productivo y reproductivo, falta de forraje, tenencia de la tierra y falta de asesoría.

#### **2.4.2.2.3. Forestal**

La microcuenca Laguna de Guadalupe no tiene vocación forestal. No existen organizaciones para el aprovechamiento forestal maderable y tampoco en relación a los recursos no maderables, sin embargo, como se revisó en la sección anterior, el aprovechamiento del maguey y nopal como forraje es una actividad constante, al igual que la recolección de leña como combustible o material de construcción y de plantas medicinales del “monte” (Figura 34). La población realiza actividades de aprovechamiento que impactan negativamente a los recursos, como la obtención de agua miel y la extracción de gusano de maguey y rata de campo. Para obtener el gusano y la rata de campo, las plantas de maguey o nopal son removidas de la superficie del suelo, mientras que en el caso del agua miel la población aprovecha el

maguey, sin embargo no realiza actividades de resiembra.



**Figura 34** Extracción de recursos forestales.

El principal problema está en los métodos de aprovechamiento que se utilizan ya que estos son muy destructivos. Esta situación conjuntamente con la inexistencia de una buena red de caminos para sacar los recursos, ocasiona pérdida de la cubierta vegetal, reducción de biodiversidad, aumento de la erosión y por consecuencia desertificación.

#### 2.4.3. Caracterización social

La población de la microcuenca está concentrada en Laguna de Guadalupe (Figura 2.1), que es la tercer localidad por número de habitante del municipio, en ella viven 3,667 habitantes de los que el 49.8% son hombres y el 50.2% son mujeres. 50.4% de los habitantes son mayores de edad, de estos el 14% son mayores de 60 años (INEGI, 2011). Sin embargo, en base al padrón de agua potable de la localidad la población asciende a más de 4000 habitantes.

La localidad de Laguna de Guadalupe tiene sus orígenes en la época colonial, siendo más antigua que los municipios Ocampo, Gto., y Villa de Arriaga, SLP. Fue una hacienda que perteneció a la hacienda de Bledos, al igual que las haciendas San Pedro de Almoloyán y Santiago, perteneció a Don Gerónimo de la Gándara. Fue una hacienda mezcalera y ganadera, al pasar a manos del ejido la producción de mezcal se perdió, sin embargo aún existen evidencias del esplendor de esa época, ya sea por medio de las plantas de maguey que crecen majestuosas en los terrenos de la



microcuenca o por las instalaciones ya en franca destrucción (Figura 35).

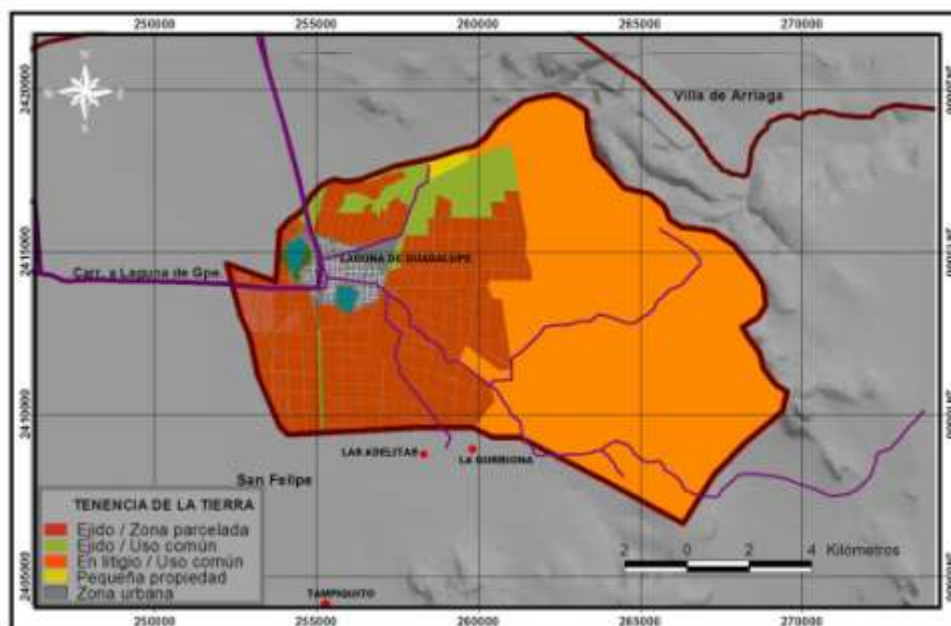


**Figura 35 Ex** hacienda Laguna de Guadalupe.

#### 2.4.3.1. Organización social y del territorio

En la microcuenca se sigue un patrón basado en el ejido. El territorio de la microcuenca está ocupado por el ejido Laguna de Guadalupe, constituido por 616 ejidatarios, que se dividen en tres porciones: Dotación, primera y segunda ampliación.

En su conjunto el ejido Laguna de Guadalupe ocupa 1,864 ha que representan 44.6% de la superficie de la microcuenca, de las cuales 1,667 ha constituyen el área parcelada, 171 ha el área de uso común y 74 el uso urbano. El 0.6% de la microcuenca pertenece a la pequeña propiedad y el 55.4% restante a 3000 ha de las que el ejido Laguna de Guadalupe es posesionario pero que aún están en proceso de regularización (Figura 36).



**Figura 36** Organización del territorio.

El grado de organización comunal dentro de Laguna de Guadalupe es mínimo, lo que afecta la capacidad de trabajo en grupos, aún al interior de la organización ejidal y del ámbito de programas municipales. Algunos grupos organizados que es posible encontrar en la comunidad son: comité de agua potable, comité para la administración del comedor comunitario y algunos grupos al interior del ejido para la ejecución de programas municipales y estatales.

La organización más reciente es la conformación de un grupo de ejidatarios para el aprovechamiento del maguey con fines de venta a la industria mezcalera; en este grupo hasta el momento intervienen 65 ejidatarios y las gestiones ante las instituciones relacionadas con tal situación se están realizando.

#### 2.4.3.2. Estructura económica

En Laguna de Guadalupe hay un total de 725 hogares, de los cuales 4.83% cuentan con piso de tierra y 2.9% solamente posee una habitación. El 92.5% de las viviendas cuenta con servicio básico de agua potable, 68.2% drenaje y 94.8% con energía eléctrica. La estructura económica permite que 34.9% de los hogares cuente

con automóvil, 4.1% con computadora, 95.8% con televisión, 49.6% con refrigerador, 52.8% con lavadora y 19.7% con celular (INEGI, 2011).

La población económicamente activa al momento del censo de 2010 en Laguna de Guadalupe asciende a 1,204 habitantes (32.8% de la población total) de los cuales 97.5% estaban ocupados en la semana de referencia. Es conveniente aclarar que al momento del censo existía gente trabajando en la construcción del Centro Federal de Readaptación (CEFESO) Ocampo, esta obra se localiza a poca distancia del poblado y ha demandado cerca de la mano de obra de 2,000 personas de las localidades vecinas a la construcción, desde junio de 2011 hasta el momento de la escritura del presente documento.

Por lo que se refiere a la ocupación de los habitantes de la microcuenca, de acuerdo con los sectores primario, secundario, y terciario, la población económicamente activa presenta la siguiente distribución: el 33% de esta población se dedica al sector primario realizando actividades agropecuarias, el 42% se ocupa en el sector secundario en actividades de la construcción, y el 25% de la población económicamente activa se ocupa en el sector terciario en el comercio y servicios.

En cuanto a los responsables de los hogares de la comunidad 11.3% de estos cuentan con una mujer como jefa de familia y en ellos reside el 9.43% de la población total (INEGI, 2011).

#### 2.4.3.3. Educación, religión y salud

En Laguna de Guadalupe el grado de escolaridad es de 5.65 años cursados; aparte de que existen 252 personas analfabetas de 15 o más años, existen 184 que actualmente no cursan su educación básica (3-14 años).

El 98.9% de la población profesa la religión católica y en el caso de los servicios de salud 2,989 personas, que representan el 81.5% de los habitantes, cuentan con algún tipo de asistencia médica, dentro de los que destaca el seguro

popular con poco más del 93% de la población derechohabiente, seguido del IMSS 5.2% y del ISTE 1.8% (INEGI, 2011).

2.5. Principales retos que implica el uso del maguey mezcalero como estrategia para controlar la desertificación en base a su aprovechamiento agroindustrial

En base a la caracterización del territorio de la microcuenca Laguna de Guadalupe y considerando información recolectada en entrevistas con informantes clave, recorridos de campo y reuniones con pobladores de la microcuenca, es posible señalar los principales retos que involucra el uso del maguey mezcalero como estrategia para controlar la desertificación en base a su aprovechamiento agroindustrial.

**1. Condiciones ambientales del semiárido.** Aunque la población ha aprendido a sobrellevar las condiciones extremosas, escasa precipitación y restringida calidad de suelos, que implica un clima BS1KW, el crecimiento poblacional pone de manifiesto la fragilidad de estos ecosistemas al impacto humano y evidencia la falta de estrategias para generar riquezas a partir de un mayor conocimiento del lugar en el que están insertos; para lo cual los aprovechamientos bajo un enfoque de sistemas se convierten en un reto de gran magnitud.

**2. Inseguridad en la tenencia de la tierra.** Como se observó en el apartado *organización social y del territorio*, el 55.4% de la superficie de la cuenca se encuentra en posesión del ejido Laguna de Guadalupe, sin embargo, éste no cuenta con título definitivo de propiedad, lo que ha agudizado la utilización inadecuada de estos espacios, principalmente por la sobre carga animal y explotación desmedida de los recursos existentes como sucede con el nopal y maguey de la región. “*La falta de derechos claros puede reducir el incentivo para aplicar medidas de protección de los recursos a largo plazo*” (FAO, 2003).

**3. Grado de organización.** La desorganización de los pobladores de la

microcuenca y la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos por parte de estructuras organizativas anacrónicas, han propiciado que existan aprovechamientos individuales algunas veces abusivos y sin control, que han agudizado el proceso de deterioro de los recursos suelo y vegetación de los que forman parte las magueyeras, poniendo en riesgo la sostenibilidad del ecosistema y el bienestar de la población.

**5. Capacitación y asistencia técnica.** Aunque el maguey es abundante en la microcuenca, para garantizar su aprovechamiento sustentable es necesario que los productores cuenten con conocimientos y habilidades para el manejo de las magueyeras desde el momento de la reproducción de las plantas hasta su cosecha.

**6. Precio.** Es necesario otorgarle un precio justo al maguey mezcalero para que sea redituable a los productores y les permita mejorar su manejo en las magueyeras y con ello su productividad (rendimiento y concentración de azúcar). Actualmente los precios del maguey son insuficientes aun para las escasas inversiones que requiere el manejo de las magueyeras silvestres.

**7. Infraestructura.** En este sentido es posible generar dos escenarios posibles:

A) Venta del maguey como materia prima. En este escenario la mayor demanda en infraestructura se concentra en los medios de transporte, así como la creación de una red de caminos para la extracción de las plantas y centros de acopio para su concentración.

B) Microempresa (procesamiento directo de su maguey). En este escenario además de los requerimientos del escenario A, se requiere de espacios y equipo destinado para el procesamiento del maguey. Por ejemplo, para el caso del mezcal: hornos, tinas de fermentación, equipo de destilación, entre otros.

**8. Generación de estudios de mercado.** Es necesaria la realización de estudios de mercado tanto del maguey como materia prima como para sus productos

derivados que contribuyan a la adecuada planeación de las áreas y recursos destinados a su aprovechamiento.

**9. Generación de paquetes tecnológicos.** Es necesario que mediante la investigación y experimentación se lleguen a definir paquetes tecnológicos para el manejo del maguey bajo diferentes sistemas de producción: A) Siembra intensiva de maguey en asociación con la vegetación nativa del lugar, B) Siembra intensiva en terrenos agrícolas y C) Siembra semi-intensiva de maguey en asociación con cultivos como maíz, frijol, etc.

## 2.6. CONCLUSIONES

La caracterización de los elementos biofísicos y socioeconómicos de una región determinada es de suma importancia ya que sirve de base para planear intervenciones futuras.

En el presente estudio se utilizó la microcuenca como unidad conceptual y espacial de trabajo; trabajar de esta forma es de mucha utilidad para el manejo de los recursos naturales, para la realización de estudios socioeconómicos y para la ejecución de programas de ordenamiento territorial.

Los sistemas de producción actuales en la microcuenca Laguna de Guadalupe son de subsistencia y dentro de ellos existe presencia de prácticas desordenadas de aprovechamiento de los recursos naturales.

Las condiciones semiáridas de esta microcuenca se encuentran estrechamente ligadas a las condiciones socioeconómicas de su población.

El uso del maguey mezcalero como estrategia para controlar la desertificación en base a su aprovechamiento agroindustrial en la microcuenca Laguna de Guadalupe propone retos ambientales, económicos, sociales y políticos que es posible superar con interés, voluntad y trabajo de los actores involucrados.

Intervenir de manera responsable un ecosistema con condiciones semiáridas implica remar contra corriente y siempre con recursos que se limitan a las escasas posibilidades de la economía de las familias campesinas, sin embargo, existen formas de interactuar con los recursos y el medio ambiente donde la conservación de estos es imperante, recordando que no se trata de conservar los recursos por la mera idea de mantener un ambiente lo más natural posible, sino de replantear el valor de uso que ellos representan en el marco de las necesidades inmediatas de las mismas familias campesinas y de los procesos generadores de servicios a la población.

## 2.7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G. R., García L. M.L., Paredes, M. R. 2011. Manejo agronómico de una microcuenca en el Norte de Guanajuato, México .INIFAP, CampoExperimental Bajío. (Folleto Técnico).
- Allen, R. G. (2001). Manual de Ref-ET. Reference evapotranspiration calculation for FAO and ACSE standarize equations. Version 2.00for Windows. University of Idaho. [En línea]. Disponible en: <http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/>. Fecha de consulta 07 de enero de 2013.
- Chávez, M. L.I., Hernández, C. J., Gómez, P. S.G. 2010. Manejo Integrado del Agostadero Ejido Laguna de Guadalupe. Programa de uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria 2010, Presidencia Municipal de San Felipe, Gto.
- CONAGUA (2010). Tabulado: Cuencas hidrológicas con su disponibilidad media anual de aguas superficiales publicada (Actualización al 31 de diciembre de 2009). [En línea]. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=32> Fecha de consulta 01 de septiembre de 2012)
- Córdova, A. M. 2010. Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támbula- Picachos, Guanajuato. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias . Universidad Autónoma de Querétaro. 215 p.
- Cortés, T. H. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos. México. 168 p
- Cotler, H. 2007. El manejo integral de cuencas en México, estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. segunda edición. Tlalpan, México, D.F. 347p.
- Dourojeanni, A. 1991. Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable (aplicados a microrregiones y cuencas). Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Documento 89/05/Rev.1 Serie de Ensayos. Santiago de Chile. 69 pp.



- FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 44 págs.
- FIRCO-UAQ. 2005. Proyecto delimitación de microcuencas de la república mexicana, reporte metodológico. Querétaro, Qro. 56p.
- FIRCO, 2005a. Consideraciones generales para la elaboración y la adecuación de planes rectores de producción y conservación (PRPC). Dirección Ejecutiva de desarrollo técnico e institucional. México.
- Guevara, D. J.M. 2006. La formula de Penman-Montieth FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETO. Terra Nueva Etapa, año/vol. XXII, número 031, Universidad Central de Venezuela. Caracas Venezuela, pp. 31-72.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 252p.
- González, M. A.I. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, No. 38. Madrid, España. p311-329p
- Gray, D. M.; McKay, G. A. and Wigham, J. M. 1973. Energy, evaporation and evapotranspiration. Section III In: Gray, D. M. (ed.). The Handbook in the principles of hydrology, Water Information Center Inc. Huntington, N. Y, U.S.A.
- Guadalupe, V. J. 2007. Desarrollo de una herramienta computacional para el diagnóstico hidrológico de cuencas. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Universidad autónoma de Querétaro. 137p.
- Gutiérrez, E. M. 2008. Geomorfología. Ed. Pearson Prentice Hall. Madrid, España. 898 p.
- Itierra, J.G. 2007. Desarrollo de una herramienta computacional para el diagnóstico hidrológico de cuencas. Tesis para obtener el grado de Maestro en gestión Integrada de Cuencas. Centro Universitario, Querétaro, Qro.137p.
- IEG. 2008. Plan de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Guanajuato. Instituto Estatal de Ecología del Estado de Guanajuato.
- IEG. 2009. Sistema de monitoreo ambiental de los recursos naturales del estado de

- Guanajuato. Instituto de ecología del Estado de Guanajuato. Guanajuato, Gto.22p.
- INEGI. 2011. Principales resultados por localidad del censo de población y vivienda 2010 (ITER) [En línea]. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/iter2010.aspx](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx). Fecha de consulta 01 de septiembre de 2012.
- Jiménez, F. 2005. Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Enfoques y estrategias actuales. Recursos, Ciencia y decisión. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente. Turrialba, Costa Rica.
- OEA. 1987. Plan de Ordenamiento y manejo de las cuencas de los ríos San Miguel y Putumayo: Diagnóstico Regional. Comisión Mixta de Cooperación Amazónica Ecuatoriano-Colombiana. Washington, D.C
- Paredes, M. R. 2009. Diagnóstico técnico enfocado a la identificación de ineficiencias en el proceso de producción de chile en Guanajuato, Informe de avances 2009. FOMIX-INIFAP.50p.
- Pereyra, D. D., Beltrán, C. S.J., Tiscareño, L. M., Pérez, S. A. 2.9. Periodo libre de heladas para el estado de Aguascalientes y su relación con el Niño. Investigación y ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 45. Aguascalientes, Ags. Pp. 12-23.
- Pierson, F. 2000. Erosión models: use and misuse on rangelands. En: Rangelands desertification. Kluwer Academic Publishers. Norwell, MA., USA, pp. 67-76.
- Renard, K. G., Foster G. R., Weesies G. A., McCool, D. K., Yoder, D. C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture (USDA). Agriculture Handbook Number 703.
- Renard, K. G., and Foster, G. R. 1983. Soil conservation: Principles of erosion by water. In H.E.Dregne and W.O. Willis, eds., Dryland Agriculture, pp. 155-176. Agronomy Monogr. 23, Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional

- para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.
- Romo G., Arteaga, R. 1989 Meteorología Agrícola. Segunda ed., México: Universidad Autónoma de Chapingo, 301 p.
- Salazar, R. Caracterización de sistemas agroecológicos para el establecimiento comercial de cacao orgánico (*Theobroma cacao*) en Tlamanca. Tecnología en Marcha. Vol. 25, N° 5. Pág 45-54.
- SARH, 1992, "Inventario Nacional Forestal de Gran Visión, 1991-1992".
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America 63: 1117-1142.
- UASLP-LESSER y Asociados-CEAG. 2000. Estudio de Prospección Hidrogeológica del Acuífero de Ocampo, Gto. [En línea]. Disponible en: <http://seia.guanajuato.gob.mx/panel/document/phpver.php?id=2884>, Fecha de consulta 03 de octubre de 2012.

## **CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO DE LA MICROCUENCA LAGUNA DE GUADALUPE, SAN FELIPE, GTO.**

### **3.1. RESUMEN**

En este apartado del documento se presenta la evaluación de la condición actual del suelo y su degradación por procesos de reducción de carbono orgánico (COS), compactación y endurecimiento en la microcuenca Laguna de Guadalupe. Se realizaron muestreos en campo para los diferentes indicadores. Para determinar el contenido de COS se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm las cuales se analizaron en laboratorio mediante el método de combustión seca. Para determinar compactación se colectaron muestras de Densidad Aparente (DA) empleando cilindros de volumen conocido y para determinar la resistencia a la penetración (dureza) del suelo en  $\text{kg/cm}^2$  se utilizó un penetrómetro de golpe. Los datos obtenidos fueron interpolados utilizando el método Kriging contenido en el SIG ArcMap 9.2 para obtener coberturas cartográficas, mismas que sirvieron de base para determinar las áreas prioritarias de intervención. Los resultados del análisis indican que en poco más del 60% de la microcuenca son necesarias intervenciones encaminadas a disminuir los procesos de degradación del suelo. Las áreas con mayor nivel de degradación se localizan en la parte media y baja de la microcuenca asociada a áreas agrícolas, de agostadero y lugares donde no existe cobertura vegetal.

### **3.2. INTRODUCCIÓN**

Actualmente la desertificación está considerada como uno de los principales problemas que amenazan a la humanidad (PNUMA, 2007).

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, define el término desertificación, como: *“la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”* (Reynols, et al., 2005). La degradación de la tierra, a su vez, se refiere a los procesos inducidos por las

actividades humanas que provocan la disminución de su productividad biológica o de su biodiversidad, así como de la capacidad actual y/o futura para sostener la vida humana (Lal, 1997; Oldeman, 1998; Reynolds *et al.*, 2003,).

Uno de los indicadores del deterioro de la tierra es la degradación del suelo y de su calidad físico química, ya que este sustrato que cubre las zonas terrestres funciona como soporte de todos los ecosistemas (Cotler *et al.*, 2007) y es resultado de la interacción de variables del paisaje, condiciones climáticas, geomorfología, drenaje y uso del suelo (Núñez, 2000; González, 2004).

Al suelo se le reconocen distintas funciones vitales para el desarrollo de la vida en el planeta ya que funge como regulador de ciclos biogeoquímicos, brinda soporte a la mayor parte de plantas y animales, además es un reservorio de nutrientes, carbono, humedad y biodiversidad. Al mismo tiempo, el suelo constituye un recurso socioeconómico fundamental para el desarrollo de sus habitantes ya que es la base de actividades productivas como la agricultura, ganadería y silvicultura (Cotler *et al.*, 2007).

El nivel de degradación del suelo describe el grado de perturbación que presenta un área determinada donde los agentes más influyentes son: 1) La degradación de la cubierta vegetal, 2) Erosión hídrica, 3) Erosión eólica, 4) Salinización, 5) Reducción de la materia orgánica, 6) Encostramiento y compactación, y 7) Acumulación de sustancias tóxicas (FAO, 2008).

De los anteriores procesos, la erosión del suelo, tanto hídrica como eólica, representa la forma más importante del proceso de degradación del suelo, que afecta a más de 1,000 millones de hectáreas en todo el planeta (SEMARNAT, 2002). Sin embargo la compactación del suelo es un problema recurrente en lugares donde la sobrecarga animal rebasa su capacidad, sobretodo en zonas donde la distribución del territorio es comunal (INEGI, 2001).

La medición de la degradación física y química del suelo siempre ha sido de interés, ya que conocer su magnitud, dinámica y causalidad, apoya la toma de decisiones para la implementación de programas de restauración, conservación, reforestación, manejo de cuencas hidrográficas y combate a la desertificación (Lal *et al.*, 1997).

En este sentido el contenido de carbono orgánico, la densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo pueden ser incluidas dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, resistencia mecánica, cohesión y fertilidad del mismo (Doran, *et al.*, 1994).

El carbono en el suelo como componente fundamental de la materia orgánica (MO) puede encontrarse en dos estados: como carbono orgánico (COS) y como carbono inorgánico (CIS) (Schnitzer, 1991; Lal, 2002).

El COS, además de ser un componente fundamental del ciclo global del C, ocupa 69.8% del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001) y con ello constituye el reservorio terrestre más grande de este elemento (Chhabra *et al.*, 2003). Es un indicador de la calidad de los suelos debido a que su efecto en las propiedades físicas del suelo se manifiesta mediante la modificación de su estructura y distribución del espacio poroso (Martínez *et al.*, 2008).

Los suelos en condiciones naturales o sin disturbar contienen grandes cantidades de COS, su concentración depende de la temperatura (mayor en climas frescos que en cálidos), humedad (mayor en climas más húmedos y en suelos pobremente drenados que en climas secos y suelos con buen drenaje), textura del suelo (mayor en texturas finas que en gruesas) y estructura (mayor en suelos bien estructurados que en los de estructura pobre) (Lal, 2000). En general el contenido de COS es más bajo donde la degradación es más severa (FAO, 2002).

La mayor cantidad del COS se encuentra en las capas superficiales del suelo (Brady y Weil, 2001) con valores que van incluso por encima del 60% del total en los primeros 30 cm del perfil o más del 60% del total y conforme aumenta la profundidad la cantidad disminuye consistentemente.

La DA es una magnitud aplicada a materiales porosos como el suelo, para el cual es definida como la relación existente entre su volumen y su peso seco (Córdova, 2010), que es afectada por la densidad de las partículas de suelo mineral, cantidad de materia orgánica, compactación, actividades animales que excavan en la tierra, tales como lombrices, y la abundancia de raíces de plantas. La densidad aparente se incrementa al compactarse el suelo, por ello se considera como un parámetro edáfico que permite calcular la porosidad del suelo, y el deterioro de sus propiedades físicas por procesos de compactación (USDA, 1999).

La dureza o resistencia mecánica del suelo se define como la medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser introducido o manejado dentro del suelo y puede ser estimada mediante la resistencia a la penetración, empleando para ello un penetrómetro de impacto (Jiménez, *et al.*, 2004). Al igual que la DA esta propiedad es afectada por diversos factores como el tipo de suelo, textura y humedad, por lo que para realizar una correcta interpretación es indispensable considerar estos aspectos.

La resistencia del suelo usualmente se incrementa a la par de la DA se o cuando un suelo coherente pierde agua (Huertas, 1975). Lo que puede generar la resistencia del suelo a la entrada de raíces, agua y aire (Patterson *et al.*, 1980).

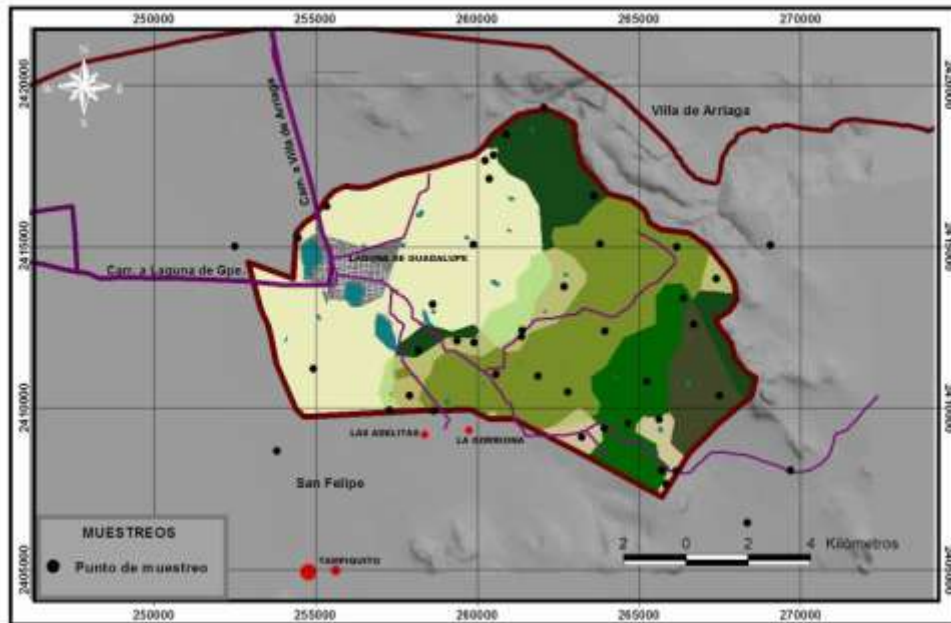
En este capítulo, se describe la evaluación directa de la degradación del suelo realizada en la microcuenca Laguna de Guadalupe, en la cual se determinó el estado actual de los procesos de deterioro del suelo en la zona, y se generó un diagnóstico sobre sus causas y efectos (particularmente en el comportamiento hidrológico).

### 3.3. METODOLOGÍA

El área de estudio fueron los 43.49 km<sup>2</sup> que comprende la microcuenca Laguna de Guadalupe, localizada en la región noroeste del municipio de San Felipe, Gto., que a su vez forma parte de la franja del semiárido mexicano, distinguido por sus condiciones climáticas extremas, manifestadas en precipitación escasa y muy variable y restringida calidad de suelos.

#### 3.3.1. Direccionamiento de sitios de muestreo

En total se tomaron 43 muestras de suelo en diferentes puntos de la microcuenca los cuales fueron estratégicamente direccionados empleando cartografía edafológica existente (Figura 37).



**Figura 37** Puntos de muestreo.

#### 3.3.2. Contenido de carbono orgánico en el suelo

Se colectaron muestras de suelo mediante barrena a una profundidad de 30 cm (Figura 38) en los puntos de muestreo mencionados anteriormente. Las muestras fueron analizadas en laboratorio para obtener datos del contenido de carbono



orgánico por combustión seca en un analizador automático de carbono Shimadzu TOC 5000-A.



**Figura 38** Muestreo de suelo.

### 3.3.3. Compactación - densidad aparente

Para medir la densidad aparente, se siguió el método del cilindro, que esencialmente consiste en tomar una muestra de suelo con un cilindro de volumen conocido. La técnica consistió en el uso de un cilindro con diámetro de 4.8 cm y altura de 8.3 cm (vol. de 150.193 cm<sup>3</sup>), el cual se introdujo en el suelo empleando una barrena. La parte interior de la barrena está compuesta por tres anillos, dos de los cuales cuentan con una altura de 1 cm y sirven para eliminar el exceso de suelo del tercer anillo, que cuenta con las dimensiones anteriormente mencionadas (Figura 39).



**Figura 39** Barrena para muestreos de DA.

Con este instrumento se obtuvieron muestras inalteradas que fueron pesadas inmediatamente, etiquetadas y almacenadas en bolsas plásticas. Posteriormente en el laboratorio se pesaron y se pusieron a secar en una estufa a 105°C por 24 horas. Una vez secas, las muestras se volvieron a pesar (Figura 40).



**Figura 40** Procedimiento para la toma de muestras en campo y laboratorio para determinar densidad aparente del suelo.

Para determinar la densidad aparente se aplicó la siguiente expresión matemática:

$$DA = \frac{PS}{Vol}$$

Donde:

DA = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

PS = Peso seco del suelo (g)

Vol = Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

Los valores resultantes fueron clasificados de acuerdo a los rangos por textura sugeridos por el Diagnóstico Diferencial Integrado de Suelos en México (DDI), Tabla 7.

. **Tabla 7.** Valores de Densidad aparente grado de compactación de acuerdo al tipo de textura.

Grado de compactación	Textura		
	Arcilla	Limo	Arena
Muy baja	<0.80	<1.00	<1.20
Baja	0.80-0.90	1.00-1.10	1.21-1.30
Moderada	0.91-1.20	1.11-1,30	1.31-1.50
Moderadamente alta	1.21-1.30	1.31-1.40	1.51-1.60
Alta	1.31-1.40	1.41-1.50	1.61-1.70

Grado de compactación	Textura		
	Arcilla	Limo	Arena
Muy alta	>1.40	>1.50	>1.70

Fuente: Córdoba, 2010

Una vez calculada la densidad aparente los valores obtenidos se emplearon para determinar la porosidad del suelo mediante la expresión:

$$P = \frac{S - S_a}{S} * 100$$

Donde:

P = Porosidad en porcentaje del volumen total de la muestra (%)

S = Densidad real del suelo (2.56 g/cm<sup>3</sup>)

S<sub>a</sub> = Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

#### 3.3.4. Dureza del suelo - resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración se midió con un penetrómetro de golpe. Se contó el número de golpes necesarios para introducir el penetrómetro 5 y 30 cm (Figura 41). Al final se aplicó la expresión:

$$RP = \frac{N_i * M * G * H}{A * D_i}$$

Donde:

RP = Resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>)

N<sub>i</sub> = i-ésimo golpe

M = Masa del martillo (kg)

G = Valor de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

H = Distancia que se eleva el martillo (cm)

A = Área del cono en la que se ejerce la presión (cm<sup>2</sup>)

D<sub>i</sub> = Distancia que penetra el cono al i-ésimo golpe (cm)



**Figura 41** Muestreo de dureza del suelo.

Los valores de dureza del suelo obtenidos fueron clasificados de acuerdo con las categorías descritas en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Clasificación según resistencia a la penetración del suelo.

Profundidad	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
5 cm	0.5-0.8	Baja
	0.8-1.0	Moderadamente baja
	1.0-1.2	Moderadamente alta
	1.2-1.4	Alta
30 cm	4.0-5.5	Baja
	5.5-7.0	Moderadamente baja
	7.0-8.5	Moderadamente alta
	8.5-12	Alta

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de carbono orgánico, compactación y dureza del suelo fueron interpolados empleando el método Kriging contenido en el SIG Arc Gis 9.3, para lograr coberturas cartográficas de la microcuenca respecto a estos valores.

Finalmente se determinaron las áreas críticas de la microcuenca, para lo cual empleando los indicadores (COS, compactación y dureza del suelo) y la capa de uso de suelo y vegetación obtenida en el anterior capítulo, se identificaron las zonas con mayores niveles de degradación. Para esto, los valores de cada cobertura fueron normalizados y reclasificados en rangos de 1 a 10, otorgándole los valores máximos a las áreas con niveles mínimos de degradación. Finalmente mediante álgebra de mapas se generó una nueva cobertura que fue jerarquizada empleando las

categorías muy alta, alta, moderadamente alta, moderadamente baja y baja,

### 3.4. RESULTADOS

En el Cuadro 7 se presentan los valores obtenidos de COS, DA, porosidad y resistencia a la penetración arreglados de acuerdo a la zona funcional de la microcuenca, origen de los suelos y suelo dominante.

**Cuadro 7.** Muestreo de COS, DA, porosidad y dureza.

Muestra					Compactación				Dureza (kg/cm <sup>2</sup> )			
No.	Zona	Origen	Suelo dominante	Textura	COS (%)	DA (gr/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Nivel	5 cm	Descripción	30 cm	Descripción
3	Baja	Aluvial	Dujrisol	CA	0.7230	1.21	52.9	Baja	0.95	Mod. baja	6.2	Moderada
1	Baja	Aluvial	Durisol	CA	0.6850	1.21	52.4	Baja	0.76	Mod. Baja	7.7	Moderada
2	Baja	Aluvial	Durisol	CA	0.7310	1.22	52.7	Baja	0.63	Baja	11.4	Alta
38	Baja	Aluvial	Durisol	CA	0.6980	1.35	51.4	Moderada	0.63	Baja	4.8	Baja
39	Baja	Aluvial	Durisol	CA	0.7454	1.37	48.5	Moderada	0.79	Baja	5.5	Mod. Baja
40	Baja	Aluvial	Durisol	CA	0.7900	1.31	53.2	Moderada	0.79	Baja	4.0	Baja
16	Baja	Arenisca	Durisol	CA	0.5890	1.35	51.6	Moderada	0.63	Baja	9.8	Alta
4	Baja	Arenisca	Phaeozem	CA	0.7680	1.25	53.2	Baja	0.63	Baja	5.6	Mod. baja
5	Baja	Arenisca	Phaeozem	CA	0.8000	1.32	53.4	Moderada	0.79	Baja	5.3	Baja
21	Baja	Arenisca	Phaeozem	CA	0.7630	1.27	48.8	Baja	0.71	Baja	4.5	Baja
23	Baja	Riolita	Durisol	CA	0.8240	1.29	47.2	Baja	0.79	Baja	4.6	Baja
20	Baja	Riolita	Phaeozem	CA	0.7110	1.33	53.2	Moderada	0.64	Baja	4.7	Baja
6	Media	Riolita	Durisol	CA	0.7800	1.20	53.7	Baja	0.82	Moderada	4.5	Baja
8	Media	Aluvial	Durisol	CA	0.6010	1.20	54.0	Baja	0.47	Baja	4.7	Baja
12	Media	Aluvial	Durisol	CA	0.6310	1.20	51.6	Baja	0.79	Baja	5.3	Baja
18	Media	Aluvial	Durisol	CA	0.6800	1.44	47.2	Moderada	0.63	Baja	12.0	Alta
43	Media	Aluvial	Durisol	CA	0.7380	1.27	51.4	Baja	0.63	Baja	5.2	Baja
27	Media	Aluvial	Phaeozem	CA	0.7400	1.15	49.8	Muy baja	0.63	Baja	12.0	Alta
9	Media	Arenisca	Durisol	CA	0.7530	1.19	47.5	Muy baja	1.26	Mod. Alta	8.7	Mod. alta
22	Media	Arenisca	Leptosol	CA	0.8000	1.40	48.0	Moderada	1.26	Mod. Alta	7.4	Moderada
32	Media	Arenisca	Leptosol	CA	0.7810	1.27	50.6	Baja	0.87	Moderada	10.5	Alta
26	Media	Arenisca	Phaeozem	CA	0.4890	1.22	45.9	Baja	0.95	Moderada	12.0	Alta
17	Media	Riolita	Leptosol	CA	0.5980	1.25	49.5	Baja	0.88	Moderada	8.8	Alta
30	Media	Riolita	Leptosol	CA	0.8540	1.28	53.7	Baja	0.71	Baja	6.8	Mo. baja

31	Media	Riolita	Leptosol	CA	0.8490	1.27	51.9	Baja	0.71	Baja	6.8	Mod. baja
10	Media	Riolita	Phaeozem	CA	0.7450	1.31	52.4	Moderada	0.71	Baja	6.8	Mod. baja
13	Media	Riolita	Phaeozem	CA	0.8790	1.19	55.3	Muy baja	0.68	Baja	6.9	Mod. baja
19	Media	Riolita	Phaeozem	CA	0.7970	1.34	51.4	Moderada	0.75	Baja	6.8	Mod. baja
28	Media	Riolita	Phaeozem	CA	0.5890	1.25	52.4	Baja	0.75	Baja	6.2	Mod. baja
7	Alta	Aluvial	Leptosol	CA	0.7710	1.04	50.1	Muy baja	0.79	Baja	6.1	Mod. baja
11	Alta	Aluvial	Leptosol	CA	0.7460	1.52	50.3	Mod. alta	0.75	Baja	6.2	Mod. baja
24	Alta	Aluvial	Phaeozem	CA	0.8940	1.19	50.6	Muy baja	0.75	Baja	6.2	Mod. baja
37	Alta	Aluvial	Leptosol	CA	0.8390	1.28	54.0	Baja	0.73	Baja	6.4	Mod. baja
41	Alta	Aluvial	Phaeozem	CA	0.8300	1.17	53.2	Muy baja	0.74	Baja	6.2	Mod. baja
42	Alta	Aluvial	Leptosol	CA	0.8000	1.30	54.5	Moderada	0.75	Baja	6.2	Mod. baja
14	Alta	Arenisca	Leptosol	CA	0.9050	1.18	53.7	Muy baja	0.75	Baja	5.9	Mod. baja
29	Alta	Arenisca	Leptosol	CA	0.8650	1.22	50.1	Baja	0.75	Baja	6.2	Mod. baja
34	Alta	Arenisca	Phaeozem	CA	0.6610	1.28	47.2	Baja	0.76	Baja	7.2	Moderada
35	Alta	Arenisca	Phaeozem	CA	0.6840	1.28	46.4	Baja	0.69	Baja	7.9	Moderada
15	Alta	Riolita	Leptosol	CA	0.6780	1.24	48.8	Baja	0.76	Baja	7.3	Moderada
25	Alta	Riolita	Phaeozem	CA	0.9000	1.23	54.5	Baja	0.69	Baja	6.8	Mod. baja
33	Alta	Riolita	Phaeozem	CA	0.8830	1.27	55.0	Baja	0.75	Baja	6.2	Mod. baja
36	Alta	Riolita	Leptosol	CA	0.7570	1.28	50.6	Baja	0.68	Baja	6.7	Mod. baja

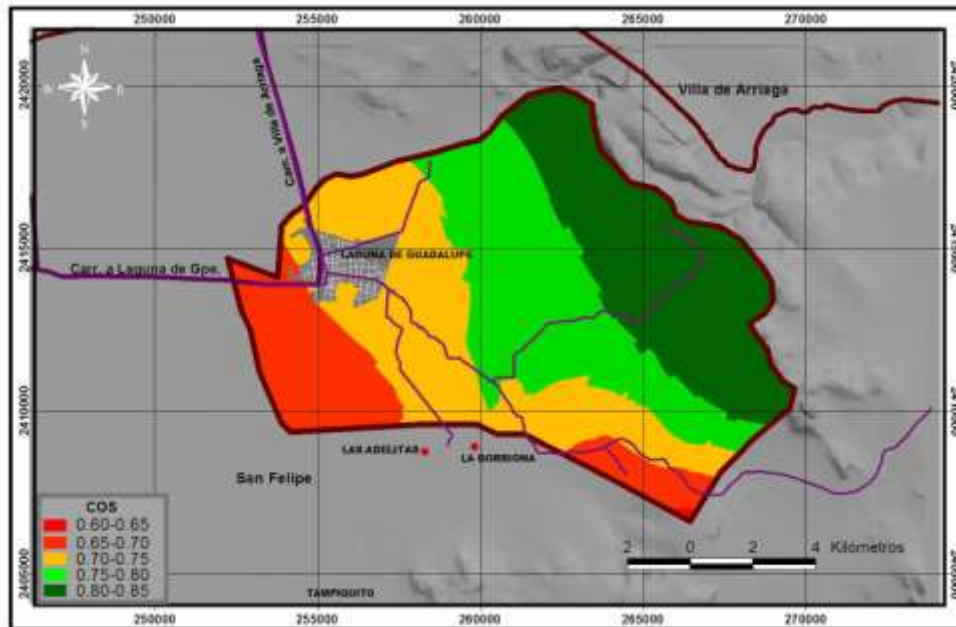
CA= Franco arenoso

### 3.4.1 Contenido de carbono orgánico en el suelo

Como se puede observar en el cuadro 3.2 el porcentaje de COS no presenta rangos amplios en la microcuenca, lo que es indicativo de la uniformidad del ambiente que se presenta en esta área. Los porcentajes de COS menores a 1% representan la totalidad de la microcuenca, lo cual se explica por los climas secos y el bajo aporte de materia orgánica al suelo (Etchevers, *et al.*, 2007; Balbontín *et al.*, 2007), debido a la vegetación y condiciones ecológicas imperantes. En general la mayor concentración de COS se asocia a las áreas con vegetación que cuentan con mayor grado de conservación.

Al interpolar los valores de COS se obtuvo la cobertura cartográfica donde se observa que los mayores valores se encuentran en la cabecera de la microcuenca donde aún es posible encontrar vegetación sin perturbar y que estos valores

descienden hacia la parte baja donde se presentan los menores valores, que se asocian a las tierras de cultivo (Figura 42).



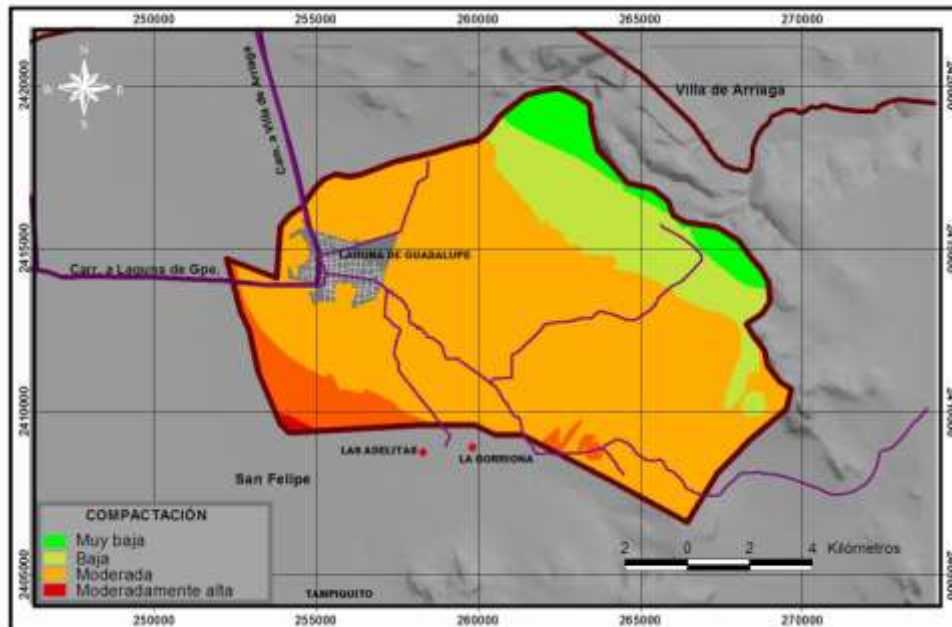
**Figura 42** Carbono orgánico del suelo.

### 3.4.2. Densidad aparente

Los valores de densidad aparente en la microcuenca varían de 1.04 a 1.52, que según los rangos por textura sugeridos por el diagnóstico diferencial integrado de los suelos de México pertenecen a grados de compactación de muy baja a moderadamente alta.

Al interpolar los valores obtenidos de DA de los puntos de muestreo se determinó que 19.3% de la superficie de la microcuenca cuenta con niveles de compactación que varían de muy bajo a bajo, esta área está localizada en la cabecera de la microcuenca donde aún es posible encontrar algunos relictos de vegetación sin perturbar, además de tratarse de la zona de más difícil acceso para la población. El 73.9% del territorio cuenta con un grado de compactación moderada que se distribuye en la parte media de la microcuenca, la mayor parte de esta zona está cubierta con matorral crasicaule que cuenta con diferentes grados de perturbación a causa de las actividades de pastoreo intensivo que se realizan,

mientras que en la parte baja de la microcuenca donde se realizan actividades agrícolas, principalmente de temporal, el grado de compactación que se identifica es moderadamente alto, al cual corresponde el 6.7% de la microcuenca (Figura 43).



**Figura 43** Grado de compactación de acuerdo a valores de DA.

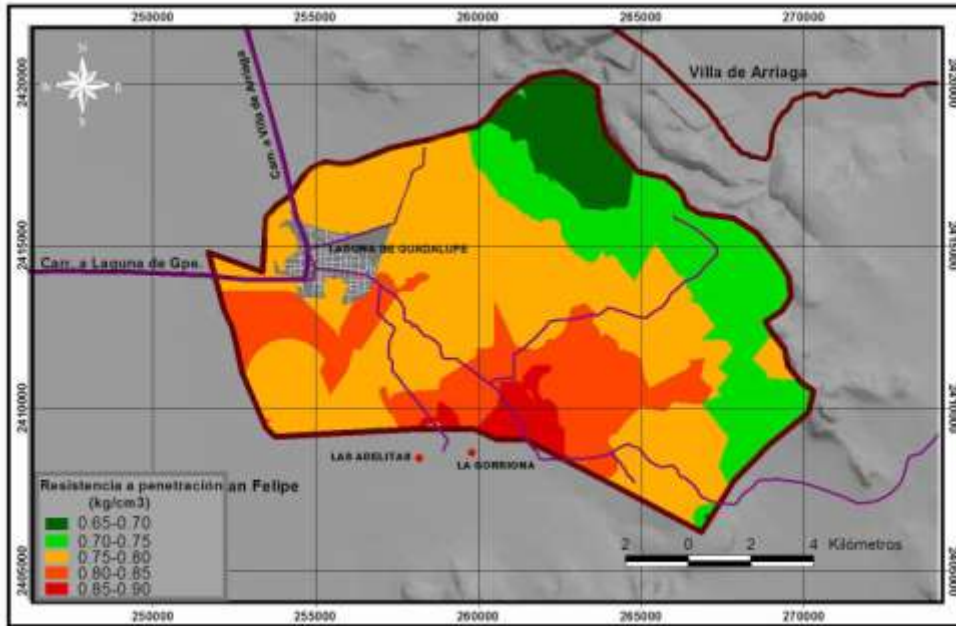
En cuanto a la porosidad del suelo, los resultados indican que esta propiedad fluctúa entre 46 y 55% que corresponde a suelos con porosidad entre media y medianamente amplia que se relaciona con suelos de textura media.

### 3.4.3. Resistencia a la penetración

A una profundidad de 5 cm la resistencia a la penetración de los suelos de la microcuenca varía de 0.47 a 1.26 kg/cm<sup>2</sup>. De acuerdo a la clasificación propuesta, las áreas con algún grado de impacto son la que presentan niveles superiores a 1.0 kg/cm<sup>2</sup>.

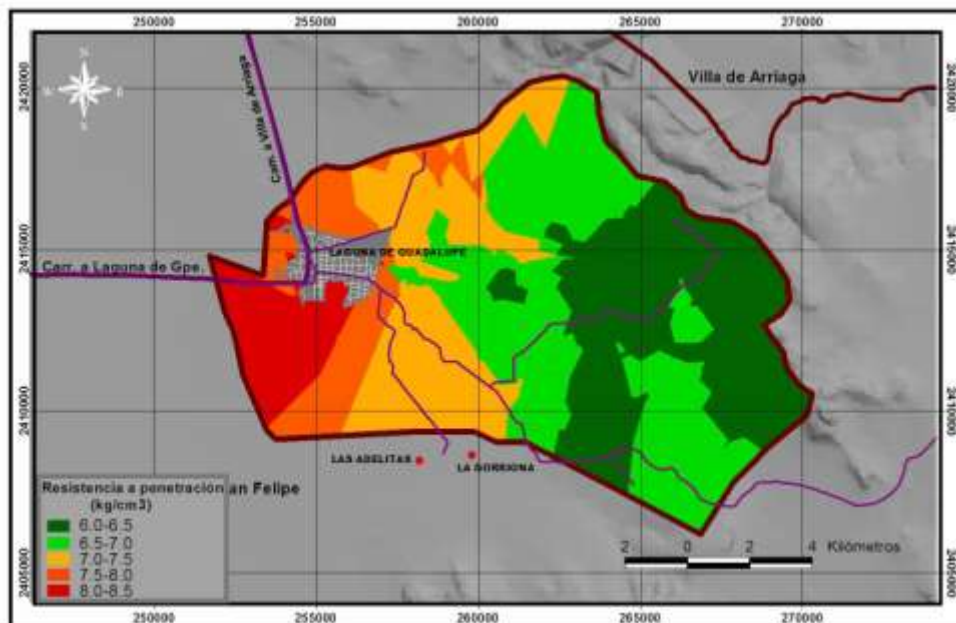
Al igual que con el contenido de carbono orgánico en el suelo y la densidad aparente, al interpolar los valores de dureza es posible observar que para esta profundidad las áreas con mayor degradación se distribuyen en la parte media y baja de la microcuenca, mientras que las zonas mayormente conservadas se distribuyen hacia la parte de la cabecera de la microcuenca (Figura 44).





**Figura 44** Resistencia a la penetración del suelo a 5 cm de profundidad.

Para la profundidad de 30 cm, los valores de resistencia a la penetración varían de 6.0 a 8.5 kg/cm<sup>2</sup> y tienen una distribución muy semejante a los valores en la primera capa de suelo (5 cm), sin embargo, en este estrato una mayor superficie de la microcuenca cuenta con condiciones mínimas de endurecimiento, lo que indica que para detectar niveles de endurecimiento es mejor realizarlo a los 5 cm de profundidad, donde se visualiza de mejor manera la degradación.



**Figura 45** Resistencia a la penetración del suelo a 30 cm de profundidad.

En la Figura 45 se observa que en el estrato de 30 cm, las áreas que cuentan con mayor grado de perturbación son las que se localizan en la parte oeste, donde la resistencia a la penetración varía de 7.0 a 8.5 kg/cm<sup>2</sup> y que se relacionan con actividades agrícolas y de pastoreo intensivo. Las áreas menos compactadas se localizan en la cabecera de la microcuenca.

#### 3.4.4. Determinación y priorización de áreas críticas

A partir del análisis realizado a los indicadores de degradación del suelo se determinó que en más del 60% de la superficie de la microcuenca (Cuadro 8) son necesarias intervenciones encaminadas a disminuir los procesos de degradación del suelo.

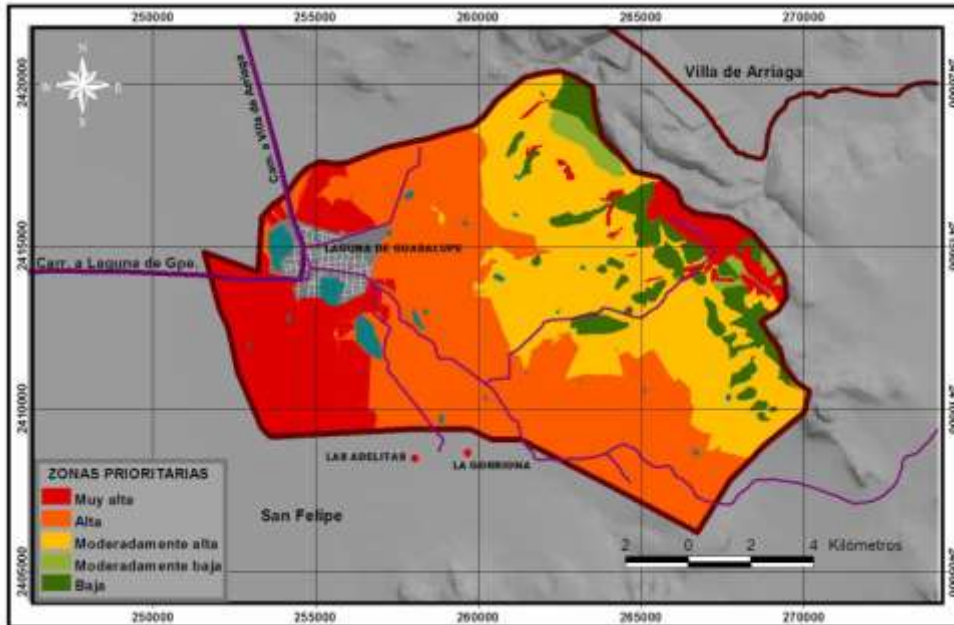
#### **Cuadro 8.** Zonas prioritarias en la microcuenca Laguna de Guadalupe.

<b>Categoría</b>	<b>Superficie</b>	<b>%</b>
Muy alta	848.8	19.5
Alta	1875.6	43.1
Moderadamente Alta	1261.6	29.0
Moderadamente Baja	68.9	1.6
Baja	294.5	6.8
<b>Total</b>	<b>4349.4</b>	<b>100.0</b>

Las áreas que presentan mayores niveles de degradación del suelo y por lo tanto de mayor prioridad, se localizan en su mayoría en la parte baja de la microcuenca, donde se ubica el área agrícola de temporal, que debido al paso constante de la maquinaria, movimiento del suelo y baja productividad cuenta con niveles bajos de COS y niveles altos de compactación y dureza del suelo. El resto de estas áreas se localizan en la parte alta de la microcuenca y corresponden a zonas que no cuentan con cobertura vegetal.

La parte media de la cuenca presenta niveles de prioridad que varían de moderadamente altos a altos; es en esta porción de la microcuenca donde se desarrollan actividades intensivas de pastoreo sobre todo en las áreas aledañas a la localidad de Laguna de Guadalupe.

En la parte de la cabecera de la microcuenca, a excepción de los lugares que no presentan ninguna cobertura vegetal, o bien, tienen coberturas alteradas, los niveles son de prioridad baja (Figura 46).



**Figura 46** Áreas prioritarias de la microcuenca Laguna de Guadalupe.

### 3.5. CONCLUSIONES

Se obtuvieron los indicadores edáficos de desertificación COS, compactación y dureza del suelo en base a muestreos en campo, para evaluar el estado de este proceso en la superficie de la microcuenca Laguna de Guadalupe, Gto.

Utilizando estos indicadores fue posible determinar que más del 60% de la microcuenca enfrenta fuertes problemas de degradación del suelo.

Es evidente que los mayores problemas de degradación del suelo se presentan en la parte baja de la microcuenca donde se realizan actividades agrícolas, áreas sin cobertura vegetal y zonas expuestas a la fuerte presión de la ganadería intensiva (porción media de la microcuenca), lo que las convierte en lugares prioritarios de intervención.

Al respecto, las estrategias de intervención deben ser planeadas en conjunto

con la población local y aprovechando los recursos existentes.

Como se ha expuesto anteriormente, las alteraciones estructurales del suelo relacionadas con su degradación física y química, promueven la pérdida de su productividad, derivado de procesos como la reducción de su porosidad y capacidad para retener carbono, así como el incremento de la resistencia a la penetración, situaciones que afectan la movilización del aire, agua y nutrientes en el suelo, lo cual tiene fuertes implicaciones funcionales en la microcuenca, en particular en la cobertura vegetal y el comportamiento hidrológico al verse incrementado el escurrimiento superficial y con ello la erosión del suelo.

### 3.6. BIBLIOGRAFÍA

- Balbontín, C., C.O. Cruz, F. Paz and J. Etchevers. 2007. Soil carbon sequestration in different ecoregions of Mexico. Soil Science Society of America. (en prensa).
- Brady, N. C., Weil, R. R. 2001. The nature and properties of soils. 13a ed. Printice Hall, New Jersey.
- Chhabra, A., S. Palria, and V.K. Dadhwal. 2003. Soil organic carbon pool in Indian forests. Forest Ecol. and Manag. 173: 187-199.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., Quiñones, L.. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. Instituto Nacional de Ecología. Gaceta Ecológica. 83:71p.
- Etchever B. J., J.D. Gómez, A. I. Monterroso y J. A. Tinoco. 2007. Formulación de Indicadores para evaluar y monitorear la Desertificación en México. Instituto Nacional de Ecología – SEMARNAT.
- FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.
- González, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.
- FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Michel R. Institut National de Recherche Agronomique. París, Francia.
- Huerta, G. A.A. 1975. Efecto de la resistencia mecánica del suelo sobre producción de frijón (*Phaseolus vulgaris* L). Tesis de grado, Magister Scientiae, Instituto Inter Americano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica. 335 p. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Lal, R., Blum, W. H., Valentine, C., Stewart, B.A. 1997. Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in soil science. CRC Press LLC. E.U.A. 558p.
- Lal, R. 2000. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. Adv. Agron., 71: 145-191.
- Lal, R. 2002. Why Carbon sequestration in Agricultural Soils. In: J.M. Kimble, R. Lal and R.F. Follett (Eds.) 2002. Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil. Lewis Publishers. Boca Raton, FL. pp 21-30.

- Martínez, M. H., Fuentes, E. J.P. y Acevedo, H. E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* Vol 8: 68-96 p.
- Núñez, S. J. 1985. *Fundamentos de edafología*. Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica. 170p.
- Patterson, J., Murray, J., Short, J. 1980. The Impact of Urban Soils on Vegetation. *Proceedings of the third conference of the Metropolitan Tree improvement Alliance (METRIA)*. 3: 33-56.
- PNUMA, 2007. *Perspectivas del medio ambiente mundial GEO4 medioambiente para el desarrollo*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Naciones unidas. 540p.
- Reynols, J., Maestre, T., Huber-Sannwald, E., Herrick, J., Kemp, P., (2005), *Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación*, Ecosistemas, Asociación Española de Ecología Terrestre, Alicante, España, 3-21.
- Schnitzer, M. 1991. Soil organic matter- The next 75 years. *Soil Sci.* 151:41-58.

## **CAPÍTULO IV. POTENCIAL PRODUCTIVO DE ÁREAS DE LA MICROCUENCA LAGUNA DE GUADALUPE PARA LA PRODUCCIÓN DE MAGUEY MEZCALERO**

### **4.1. RESUMEN**

En este apartado se realiza una evaluación de la aptitud potencial del territorio de la microcuenca Laguna de Guadalupe para el desarrollo de maguey mezcalero, considerando características medioambientales de clima, suelo y topografía, así como aspectos socioeconómicos de interés como la tenencia de la tierra. La metodología empleada consistió en cuatro pasos fundamentales: 1) Definición de requerimientos agroecológicos de la planta de maguey tomando como fuente información resultante de revisión bibliográfica, análisis de laboratorio y pruebas de campo, 2) Generación de mapas fuente: para clima en base datos de clima de las estaciones aledañas a la microcuenca, para suelo la cartografía existente, resultados de laboratorio y pruebas de campo, y para topografía un modelo de elevación digital del terreno, 3) Calificación de zonas con potencial, para lo que se utilizó una matriz pareada y álgebra de mapas, y 4) Generación de mapas utilizando el SIG ArcGis 9.3. Los resultados indican que 87% de la microcuenca cuenta con las características agroclimáticas necesarias para el desarrollo del maguey mezcalero de las cuales 38.3% son áreas donde dicha planta presenta mayores condiciones de calidad, lo que sugiere que en esta área es posible proponer estrategias de intervención que incluyan el manejo de esta planta para disminuir la degradación del suelo presente. Sin embargo, esta superficie se reduce al 16% cuando se sobrepone la cobertura de tenencia de la tierra ya que en más del 50% del territorio de la microcuenca existe incertidumbre sobre esta situación.

### **4.2. INTRODUCCIÓN**

El uso irracional de los recursos como consecuencia de una ocupación territorial desordenada y la variabilidad espacio-temporal de factores naturales convierten a los ecosistemas en estructuras biológicas vulnerables que se ven afectadas por fenómenos en su mayoría antropogénicos como la degradación del suelo, la reducción de la biodiversidad, deforestación, contaminación y mala

planeación de las actividades productivas (Morales, 2005).

La lógica productiva de las regiones semiáridas está basada en esquemas de subsistencia y sobrevivencia que contrastan con la teoría económica vigente donde el productor busca la maximización de las ganancias (De Lima *et al.*, 2006). En esta forma de pensamiento los habitantes de las regiones semiáridas echan mano de los recursos disponibles sin tener mayor planeación que su propia subsistencia.

Dentro de este contexto resulta prioritario mejorar la capacidad para la planificación del desarrollo y gestión ambiental, así como la promoción del diseño de sistemas productivos sostenibles para el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, la diversidad biológica y los servicios ambientales disponibles (Ocampo, 2008).

Para lograr esto, es necesario ordenar el territorio en función del análisis y conocimiento de sus potencialidades y limitaciones, con la intención de direccionar y priorizar la inversión pública y privada, tomando como referencia la aptitud del territorio para el desarrollo de actividades productivas, de acuerdo a criterios físicos, biológicos, sociales y económicos (INE, 2000).

Una forma de abordar la problemática del deterioro del medio ambiente es a través de la reducción de la vulnerabilidad de la población mediante el incremento de la disponibilidad de medios alternativos de subsistencia, que se fundamenta en una correcta valoración del patrimonio natural (Chaparro y Renard, 2005), dentro del cual se incluyen aspectos relacionados con la biodiversidad y su uso racional, mediante el empleo de algunos canales como el comercio de productos nativos y orgánicos de valor, la búsqueda de mercados para servicios ambientales como estrategias para la lucha contra la pobreza y deterioro del medio ambiente (Sánchez *et al.*, 2001).

Invertir en trabajos de reordenamiento de recursos naturales de una microcuenca, donde los recursos naturales y seres humanos puedan coexistir en



armonía y evolucionar juntos, obliga a comprender con alta sensibilidad y empatía, cuáles son los objetivos, necesidades, aspiraciones y limitaciones de los habitantes de la microcuenca para, a partir de este conocimiento, ofrecer opciones para atenderlos (Aguilar *et al.*, 2011).

Los estudios de potencial agroecológico consisten en dividir la superficie de la tierra en unidades del territorio más pequeñas, con características lo más similares u homogéneas posibles, en relación a su aptitud y producción potencial (INIFAP, 2012) y han sido utilizados para poder clasificar las tierras de acuerdo con su capacidad de uso, ya sea agrícola, pecuario y /o forestal, su localización, extensión e incluso para detectar especies vegetales idóneas y su potencial de producción (García *et al.*, 1996).

Este análisis puede realizarse a diferentes escalas espaciales, siendo aplicable a nivel de microcuenca; para tal efecto es necesario interrelacionar las variables del suelo, clima, topografía y especies vegetales mediante el uso de sistemas de Información Geográfica (SIG). Para obtener resultados con una mayor certidumbre es necesario el trabajo de campo para la obtención de parámetros que incrementen la confiabilidad de los resultados (Terrones *et al.*, 2007).

En este capítulo se analiza el potencial productivo del territorio semiárido de la Microcuenca Laguna de Guadalupe y se clasifica de acuerdo a su capacidad para la producción del Maguey mezcalero. Con la finalidad de que esta información sirva como soporte a la toma de decisiones tanto en el ámbito local como regional para el aprovechamiento integral de este recurso, considerando la Denominación de Origen (DO) mezcal que posee la microcuenca y el municipio en conjunto como eje rector del aprovechamiento de los ecosistemas de esta región.

### **4.3. METODOLOGÍA**

#### **4.3.1. Área de estudio**

El estudio se llevó a cabo en la microcuenca Laguna de Guadalupe, una de las microcuencas del semiárido mexicano que se localiza en la porción noroeste del municipio de San Felipe. Esta microcuenca cuenta con una superficie de 43.49 km<sup>2</sup> que se distingue por sus condiciones climáticas extremas, restringida calidad de suelos y en general un ecosistema frágil ante los impactos humanos. La población que habita estas regiones se encuentra expuesta socialmente a la marginación social, política y tecnológica, situación que provoca que las localidades situadas en las zonas áridas y semiáridas del país sean los primeros afectados por la desertificación, sin embargo, estos no cuentan con los medios financieros ni a menudo con las capacidades técnicas para desarrollar de una manera adecuada la planeación y ejecución de sus actividades productivas (Andel et al., 2005).

Para generar los mapas de aptitud potencial del territorio para maguey mezcalero en la microcuenca Laguna de Guadalupe se siguió la metodología propuesta por INIFAP (INIFAP, 2012), que básicamente se compone de 4 fases cuyo desarrollo en el proyecto se describe en los siguientes apartados.

#### **4.3.2. Determinación de requerimientos agroecológicos del maguey mezcalero**

Se realizó una consulta exhaustiva de información referente a los factores de clima, suelo y topografía que intervienen en el desarrollo del maguey mezcalero, tanto en fuentes bibliográficas como en internet. Esta información fue complementada con: 1) Datos resultantes del análisis de las condiciones climáticas del área de estudio generado a partir de las bases de datos diarios de clima de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Fundación Guanajuato Produce (FGP) y Comisión Nacional del Agua (CNA) más cercanas (Tabla 2.4), B) Información resultante del análisis físico químico de 43 muestras de suelo tomadas en campo a una profundidad de 0-30 cm, que fueron direccionados estratégicamente utilizando cartografía edafológica (Figura 3.3), C) Pruebas *in situ* de: profundidad,

densidad aparente y dureza del suelo de los lugares en la microcuenca donde existen poblaciones nativas o establecidas de maguey mezcalero, D) Como indicadores de la calidad del maguey mezcalero se tomó la concentración de azúcar en planta (°Brix) que fue medida con ayuda de un brixómetro portátil y una clasificación de robustez (altura y diámetro) de las plantas, donde a la planta más robusta se le asignó un valor de 5 y a la más pequeña un valor de 1, y E) Conocimiento de la población local, Figura 4.1.

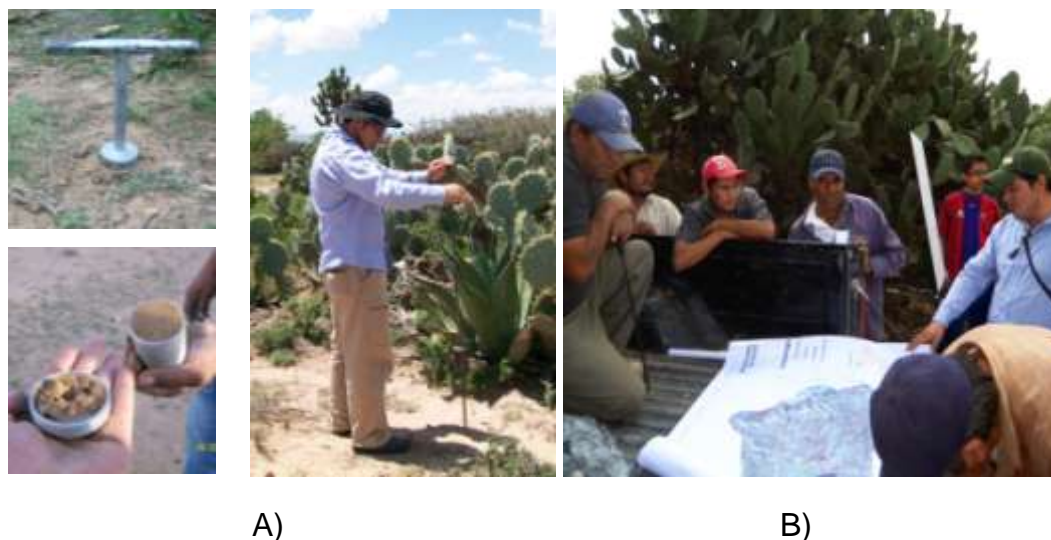


Figura 47 A) Muestreos y pruebas in situ, B) Conocimiento local.

#### 4.3.3. Generación de mapas fuente

Los mapas fuente para los procesos de clasificación de zonas fueron generados o ajustados de la siguiente manera:

Para clima: En base a promedios mensuales se generaron coberturas cartográficas de temperatura máxima, mínima, precipitación y evaporación, así como los índices de aridez y periodo libre de heladas. Estas coberturas se obtuvieron mediante procesos de interpolación de datos puntuales, utilizando el software SIG Arc Gis 9.3, con el cual se generaron imágenes de formato raster que cubren la totalidad de la microcuenca. Para la interpolación de dichas variables se empleó el método IDW (Inverse Distance Weighed) que al trabajar con datos de clima es el método que proporciona resultados más razonables, incluso con datos tan

irregulares como la precipitación (Luna *et al*, 2003).

Para suelo: Se utilizó información digital cartográfica edafológica de INEGI en escala 1:50,000 (INEGI, 2004), que cuenta con datos de unidades de suelo, fases física y química, texturas, etc. Además empleando los datos resultantes de los análisis de laboratorio de las 43 muestras de suelo tomadas en campo se generaron coberturas cartográficas de pH, MO y CIC, así como de profundidad, compactación y dureza del suelo con datos de las pruebas en campo. Para la interpolación de las variables de suelo se empleó el método ordinario de Kriging que para variables edáficas es más preciso que el IDW (Villatoro *et al.*, 2008).

Para topografía: Se generaron coberturas digitales de altitudes y pendientes, tomando como base un Modelo de Elevación Digital (MED) elaborado a partir de curvas de nivel a cada 10 m de INEGI. Además de esto, en los sitios de muestreo se determinó la pendiente del terreno con ayuda de hilos, nivel de mano y cinta métrica.



Figura 48 Determinación de la pendiente del terreno.

#### 4.3.4. Calificación de zonas potenciales en mapas raster

Los valores de cada cobertura fueron normalizados y reclasificados en rangos de 1 a 10, otorgándole la ponderación máxima a los valores que cumplen en mayor medida los requerimientos para el desarrollo del maguey mezcalero.

Una vez ponderadas las coberturas, mediante álgebra de mapas fueron sumadas en pares para discriminar aquellas áreas con valores bajos, es decir, que no cumplen con los requerimientos para el desarrollo de esta planta. (Figura 4.3).

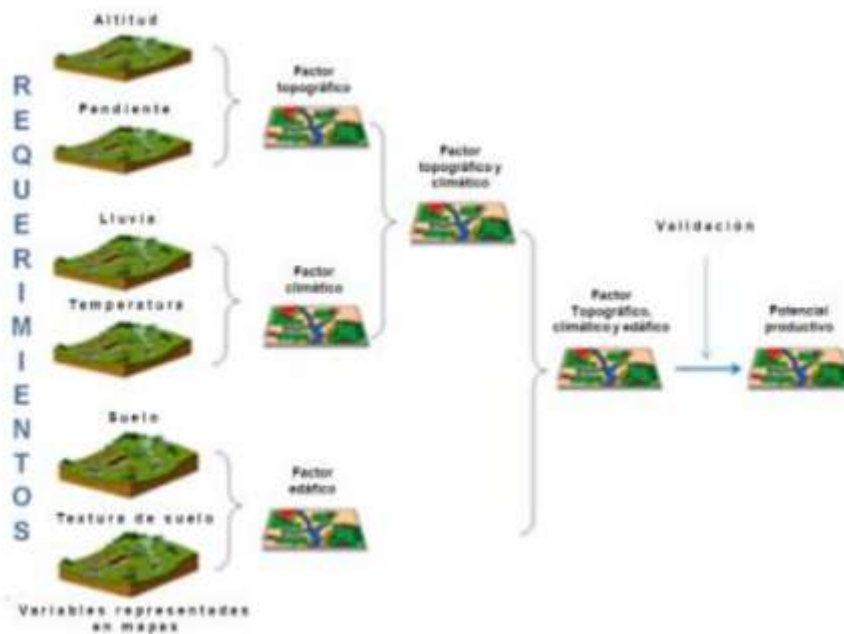


Figura 49 Proceso de adición de coberturas cartográficas.  
Fuente: INIFAP, 2012.

Para este proceso de calificación de zonas de aptitud potencial se empleó una matriz de decisión de doble entrada (Tabla 4.1).

Tabla 8 Matriz pareada de decisión.

Variable 1 (Cobertura 1)	Variable 2 (Cobertura 2)			
	Potencial	Alto (A)	Medio (M)	No apto (Na)
Alto (A)	A-A	A-M	A-Na	
Medio (M)	M-A	M-M	M-Na	
No apto (Na)	Na-A	Na-M	Na-Na	

#### 4.3.5. Generación de mapas finales

Las áreas con aptitud potencial se clasificaron en cinco categorías: muy bueno, bueno, moderadamente bueno, regular y bajo. Los mapas resultantes fueron validados y ajustados en base al conocimiento local, para posteriormente proceder a la cuantificación de superficies por categoría de aptitud. Las superficies ocupadas actualmente por áreas urbanas, cuerpos de agua y vías de comunicación fueron descartadas, por considerarlas sin aptitud.

## 4.4. RESULTADOS

### 4.4.1. Requerimientos agroecológicos del maguey mezcalero

**Requerimientos de clima.** De acuerdo con la distribución y abundancia del maguey mezcalero en la microcuenca se puede observar que esta planta prospera con éxito en el clima semiseco (BS<sub>1</sub>KW), donde se manifiestan precipitaciones en el rango de los 332 a 456 mm anuales, temperaturas anuales promedio de 16 a 17°C y extremas máxima y mínima de 35 y -12°C respectivamente. Los anteriores rangos se encuentran acordes a los señalados por Aguirre *et al.* (2001) en su estudio “El maguey mezcalero potosino”, en el que se refiere al maguey mezcalero en sus diferentes variantes como la especie más importante en la prehistoria e historia del país y refiere a la zona del altiplano como de potencial para la prosperidad de esta planta.

**Requerimientos edafológicos.** De acuerdo a los resultados de laboratorio y pruebas de campo la planta de maguey mezcalero en la microcuenca se desarrolla en suelos que presentan las siguientes características: Densidad aparente que varía de 1.04 a 1.52 g/cm<sup>3</sup>, pH entre 6.0 a 6.61, MO que fluctúa entre 0.84 y 1.56 %, y una CIC entre 6.69 a 10.70%. En cuanto a los parámetros tomados para evaluar la calidad de planta es posible indicar que la concentración de azúcar presenta valores que varían de 10.1 a 24°Brix, mientras que el valor de robustez se mueve entre 3 y 5 (Cuadro 4.1).

**Cuadro 9** Datos obtenidos en campo de DA, pH, MO, CIC, °Brix y Robustez.

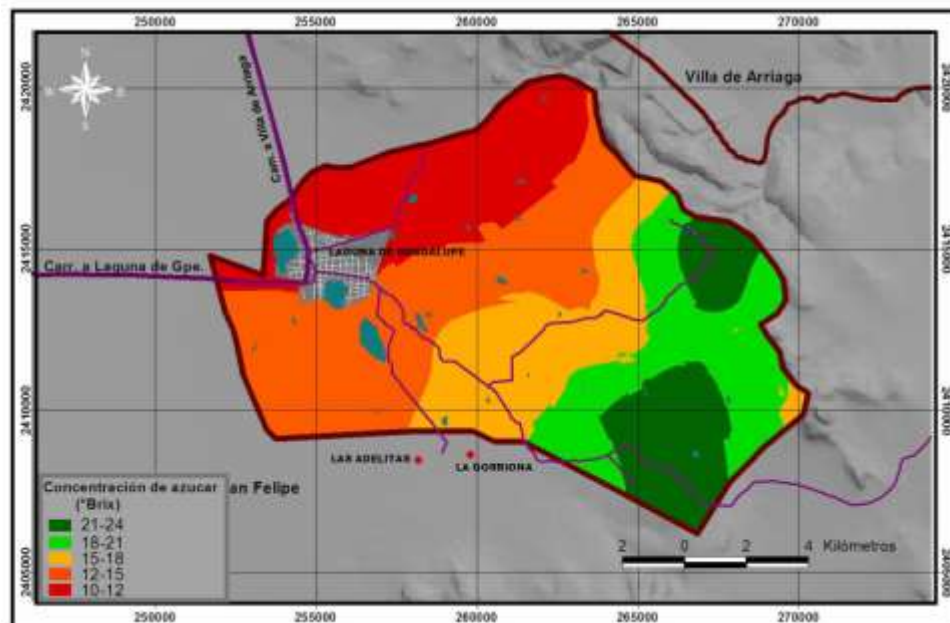
Muestra	Zona	Origen	Suelo dominante	Textura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )	pH	MO (%)	CIC (%)	Brix (°)	Robustez
3	Baja	Aluvial	Dujrisol	Franco arenosa	1.21	6.22	1.25	7.93	11.8	3.0
1	Baja	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.21	6.25	1.18	7.85	11.2	3.0
2	Baja	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.22	6.15	1.26	7.74	11.7	3.0
38	Baja	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.35	6.29	1.20	7.93	13.1	4.0
39	Baja	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.37	6.20	1.29	7.85	11.2	3.0
40	Baja	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.31	6.19	1.36	7.91	13.2	3.0
16	Baja	Arenisca	Durisol	Franco arenosa	1.35	6.36	1.02	9.12	10.1	5.0

Muestra	Zona	Origen	Suelo dominante	Textura	DA (gr/cm <sup>3</sup> )	pH	MO (%)	CIC (%)	Brix (°)	Robustez
4	Baja	Arenisca	Phaeozem	Franco arenosa	1.25	6.59	1.32	10.60	11.8	3.0
5	Baja	Arenisca	Phaeozem	Franco arenosa	1.32	6.45	1.38	10.10	11.2	4.0
21	Baja	Arenisca	Phaeozem	Franco arenosa	1.27	6.50	1.32	9.90	19.5	4.0
23	Baja	Riolita	Durisol	Franco arenosa	1.29	6.14	1.42	6.69	12.4	4.0
20	Baja	Riolita	Phaeozem	Franco arenosa	1.33	6.29	1.23	10.10	19.0	4.0
6	Media	Riolita	Durisol	Franco arenosa	1.20	6.14	1.34	10.50	19.0	5.0
8	Media	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.20	6.30	1.04	7.68	10.9	4.0
12	Media	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.20	6.29	1.09	7.59	10.4	3.0
18	Media	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.44	6.41	1.17	7.25	10.6	3.0
43	Media	Aluvial	Durisol	Franco arenosa	1.27	6.19	1.27	7.18	11.4	4.0
27	Media	Aluvial	Phaeozem	Franco arenosa	1.15	6.38	1.28	7.52	10.4	3.0
9	Media	Arenisca	Durisol	Franco arenosa	1.19	6.36	1.30	9.15	15.3	5.0
22	Media	Arenisca	Leptosol	Franco arenosa	1.40	6.85	1.38	9.01	14.5	4.0
32	Media	Arenisca	Leptosol	Franco arenosa	1.27	6.91	1.35	8.95	17.9	4.0
26	Media	Arenisca	Phaeozem	Franco arenosa	1.22	6.55	0.84	9.68	10.4	4.0
17	Media	Riolita	Leptosol	Franco arenosa	1.25	6.27	1.03	1.58	19.7	3.0
30	Media	Riolita	Leptosol	Franco arenosa	1.28	6.00	1.47	8.99	24.0	4.0
31	Media	Riolita	Leptosol	Franco arenosa	1.27	6.58	1.46	10.50	22.0	4.0
10	Media	Riolita	Phaeozem	Franco arenosa	1.31	6.29	1.28	10.05	14.6	3.0
13	Media	Riolita	Phaeozem	Franco arenosa	1.19	6.28	1.52	9.89	12.5	5.0
19	Media	Riolita	Phaeozem	Franco arenosa	1.34	6.38	1.37	10.54	20.0	4.0
28	Media	Riolita	Phaeozem	Franco arenosa	1.25	6.19	1.02	9.58	12.0	5.0
7	Alta	Aluvial	Leptosol	Franco arenosa	1.04	6.31	1.33	8.14	14.2	3.0
11	Alta	Aluvial	Leptosol	Franco arenosa	1.52	6.48	1.29	7.58	13.9	3.0
24	Alta	Aluvial	Phaeozem	Franco arenosa	1.19	6.87	1.54	9.74	11.0	4.0
37	Alta	Aluvial	Leptosol	Franco arenosa	1.28	6.58	1.45	9.10	11.7	3.0
41	Alta	Aluvial	Phaeozem	Franco arenosa	1.17	6.29	1.43	8.54	10.8	4.0
42	Alta	Aluvial	Leptosol	Franco arenosa	1.30	6.71	1.38	7.56	15.3	3.0
14	Alta	Arenisca	Leptosol	Franco arenosa	1.18	6.80	1.56	8.95	18.0	4.0
29	Alta	Arenisca	Leptosol	Franco arenosa	1.22	6.81	1.49	8.97	18.5	4.0
34	Alta	Arenisca	Phaeozem	Franco arenosa	1.28	6.68	1.14	10.10	16.9	4.0
35	Alta	Arenisca	Phaeozem	Franco arenosa	1.28	6.25	1.18	9.89	15.9	5.0
15	Alta	Riolita	Leptosol	Franco arenosa	1.24	6.15	1.17	8.76	21.0	5.0
25	Alta	Riolita	Phaeozem	Franco arenosa	1.23	6.25	1.55	9.58	18.0	4.0
33	Alta	Riolita	Phaeozem	Franco arenosa	1.27	6.34	1.52	10.10	22.8	4.0
36	Alta	Riolita	Leptosol	Franco arenosa	1.28	6.59	1.31	10.70	23.5	3.0

Para determinar si el sustrato tiene influencia en la calidad del maguey

mezcaleros se practicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias con un  $\alpha$  de 0.01 tanto para concentración de azúcar como para robustez, encontrando que las plantas que se desarrollan en sustratos de origen ígneo presentan una mayor calidad, seguidos de los suelos sedimentarios, mientras que la menor calidad de las plantas se encontró en suelos aluviales, resultados que son comparables con los encontrados por Aguirre en el estudio el maguey mezcalero potosino (Aguirre *et al.*, 2001), así como por el conocimiento local de algunos pobladores de la microcuenca que realizan actividades de extracción de agua miel.

Al interpolar los datos de calidad ( $^{\circ}$ Brix) se generó una cobertura donde es posible visualizar que las áreas donde se desarrolla la planta de maguey mezcalero con mayor calidad se localizan en la región este de la microcuenca (Figura 4.4).



**Figura 50** Concentración de azúcar ( $^{\circ}$ brix) en plantas de agave mezcalero.

**Requerimientos topográficos.** De acuerdo a los recorridos de campo y resultados obtenidos es posible indicar que el maguey mezcalero en la microcuenca prospera con éxito en altitudes que varían de 2,200 a 2,450 msnm; en pisos de valle y planicies inferiores a  $2^{\circ}$  de pendiente, hasta laderas de lomeríos y cerro que cuentan con pendientes de entre  $6^{\circ}$  y  $8^{\circ}$ . En estos lugares es posible observar una



mayor densidad de población, sin embargo, en suelos de ladera con pendientes entre 4 y 10° parece tener mayor ventaja respecto a la calidad industrial.

Con la información recolectada mediante la revisión bibliográfica, resultados de laboratorio y pruebas en campo se construyó el cuadro de requerimientos para el desarrollo de la planta de maguey mezcalero en la microcuenca (Cuadro 4.2).

**Cuadro 10** Requerimientos agroclimáticos del maguey mezcalero.

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad de medida</b>
Clima	Semiseco (BS1) a Seco (BS0)	KlasificaciónKoopen
Precipitación anual	320 a 720	mm anuales
Temperatura anual promedio	16 a 22	°C
Temperatura mínima extrema	-12	°C
Temperatura máxima extrema	35	°C
Origen del suelo	Ígneo, Sedimentario	S/U
Tipo de suelo	Leptosol, Phaeozem	S/U
Textura del suelo biológico	Fina	S/U
Textura del suelo industrial	media a gruesa	S/U
Profundidad de suelo	> 25	Cm
Salinidad/Sodicidad del suelo	Poco tolerante	S/U
pH	5 a 8	S/U
MO	> 0.80	%
CIC	> 6	S/U
Altitud	1000 a 2450	Msnm
Pendiente del suelo	5 a 8	%

Fuente: Elaboración propia, en base a revisión bibliográfica, resultados de laboratorio y pruebas en campo.

#### **4.4.1.1. Potencial productivo del territorio de la microcuenca para la producción de Maguey mezcalero.**

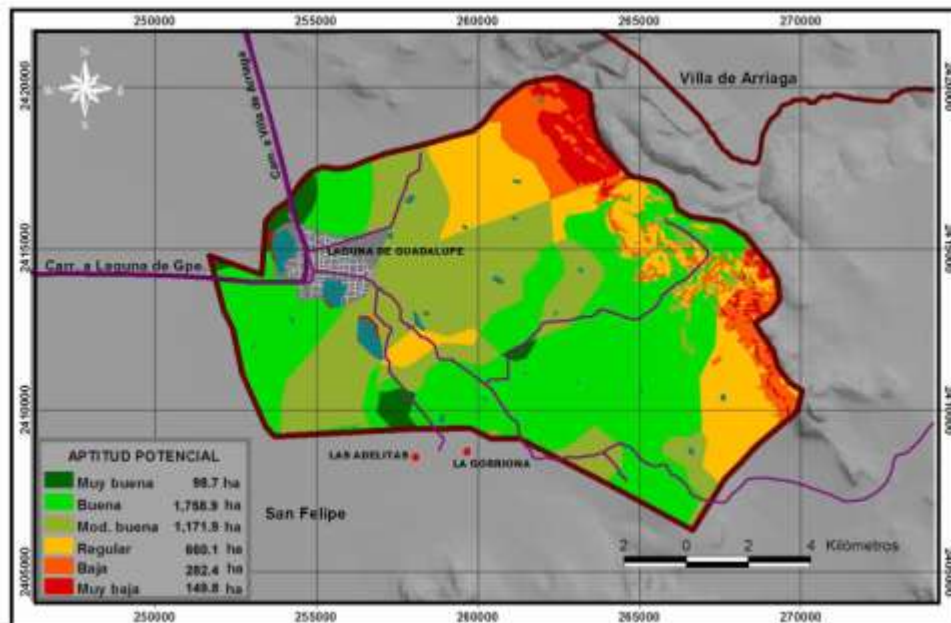
En la microcuenca existen más de 3,800 ha que cumplen con las demandas ambientales señaladas en el cuadro 4.2, para que el maguey mezcalero prospere de

manera adecuada. La aptitud de estos terrenos varía de regular a muy buena dependiendo del grado de cumplimiento de tales requisitos (Cuadro 4.3).

**Cuadro 11** Zonas aptas para el desarrollo de maguey mezcalero en la microcuenca.

<b>Categoría</b>	<b>Superficie</b>	<b>%</b>
Muy buena	98.7	2.3
Buena	1758.9	40.4
Moderadamente buena	1171.9	26.9
Regular	660.1	15.2
Baja	282.4	6.5
Muy baja	149.8	3.4
Otros usos	227.6	5.2
<b>Total</b>	<b>4,349.4</b>	<b>100.0</b>

La mayor parte de esta superficie se localiza distribuida en las porciones media y baja de la microcuenca, donde la precipitación rebasa los 320 mm, la profundidad del suelo supera los 50 cm y la pendiente es inferior a 8° (Figura 4.5), estas variables en condiciones de temporal son las de mayor relación con el óptimo desarrollo de las plantas (Turrent, 1986; García et al., 1996, Sotelo 2005).



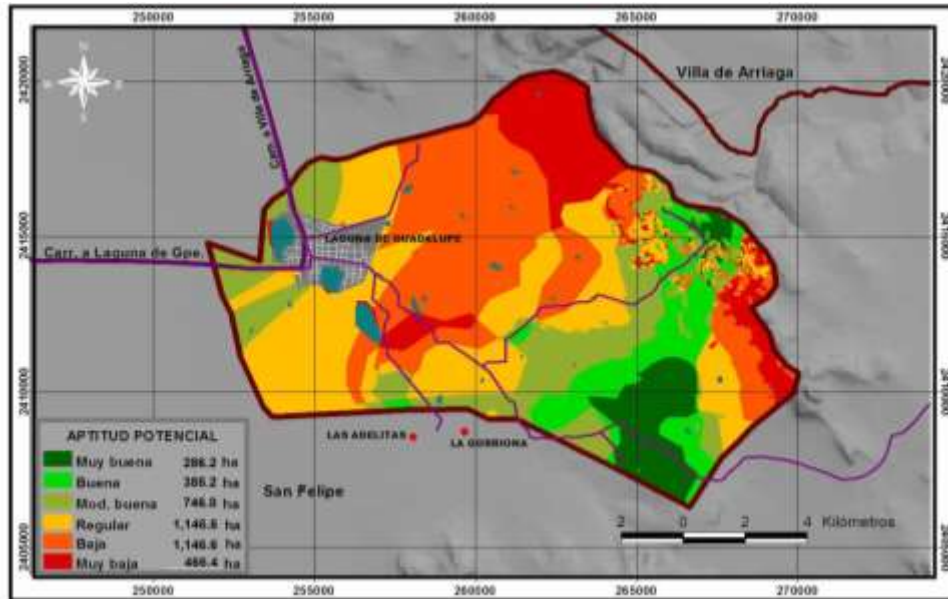
**Figura 51** Aptitud potencial de la microcuenca para desarrollo de maguey mezcalero en base a los requerimientos ambientales de la planta.

Aunque estas zonas de la microcuenca reúnen las condiciones ambientales para el desarrollo del maguey, al momento de sumar mediante álgebra de mapas la cobertura generada en base a indicadores de calidad de la planta, se determinó que en la microcuenca existen 675.3 ha donde la planta se desarrolla con buena y muy buena calidad (Cuadro 4.4).

**Cuadro 12** Categorías, valores de concentración de azúcar y superficies con aptitud potencial para la producción de maguey mezcalero en la microcuenca Laguna de Guadalupe.

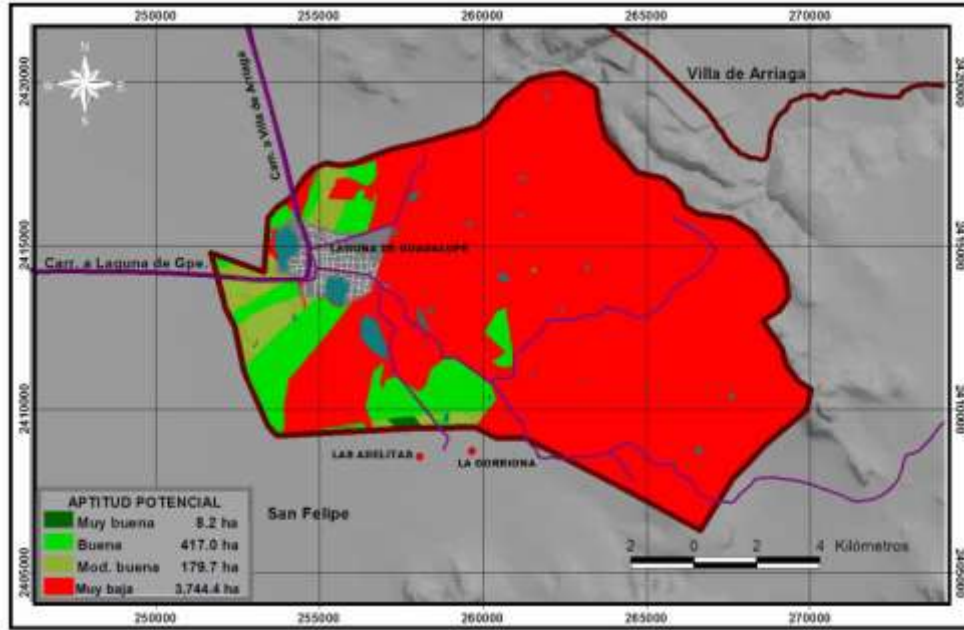
<b>Categoría</b>	<b>Concentración de azúcar (° Brix)</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>%</b>
Muy Bueno	21-24	286.2	6.6
Bueno	18-21	385.2	8.9
Moderadamente Bueno	15-18	746.0	17.2
Regular	12-15	1146.6	26.4
Bajo	10-12	1091.5	25.1
Muy bajo	<12	466.4	10.7

En la figura 4.6 se muestra la distribución de estas áreas, donde se observa que las plantas con mayor concentración de azúcar y robustez fueron encontradas en la región sureste de la microcuenca.



**Figura 52** Aptitud potencial de la microcuenca para el desarrollo del maguey mezcalero en base a indicadores de calidad.

Como se puede observar en la microcuenca existe una vasta superficie para el desarrollo de Maguey con características de calidad (concentración de azúcar y robustez), la cual puede ser considerada para implementar estrategias de intervención encaminadas a reducir los procesos de degradación del suelo. Sin embargo, de acuerdo al apartado “*organización social y del territorio*” abordado en el capítulo dos, más del 50% de la microcuenca se encuentra en proceso de regularización, situación que reduce esta superficie. Al sobreponer la cobertura cartográfica de tenencia de la tierra se evidencia este señalamiento (Figura 4.7).



**Figura 53** Aptitud potencial de la microcuenca para el desarrollo de maguey mezcalero de calidad en base a tenencia de la tierra.

#### 4.5. CONCLUSIONES

Los estudios de aptitud potencial del terreno son una opción para la planificación del territorio que busca ordenar su aprovechamiento en función de sus potencialidades y limitaciones de acuerdo a criterios físicos y biológicos.

Uno de los recursos disponibles para las condiciones semidesérticas de la microcuenca Laguna de Guadalupe es el maguey mezcalero mismo que se desarrolla en buena parte de su superficie, sin embargo, existen áreas dentro de ésta que cuentan con características ambientales más apropiadas para su desarrollo. El factor que tiene mayor relación con áreas de la microcuenca donde este tipo de maguey logra su desarrollo óptimo es el sustrato geológico.

Biológicamente los suelos con mayor contenido de arcilla, mayor espesor y menor pendiente son los óptimos para que prospere el *maguey mezcalero*; no obstante, los suelos que presentan condiciones para obtener plantas con una mayor concentración de azúcares son los que cuentan con mayor contenido de arena, menor profundidad y pendiente que va de los 4 a 10°.

#### 4.6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G. R., García, L. M.L., Paredes, M. R. 2011. Manejo agronómico de una microcuenca en el Norte de Guanajuato, México. INIFAP, Sitio Experimental Norte de Guanajuato. San Luis de la Paz, Gto. 40p.
- Aguirre, R. J.R, Charcas, S. H., Flores, F. J.L. 2001. El maguey mezcalero potosino. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 87P.
- Andel, Z., Safriel, U., Niemeijer, D., White, R. (2005). Evaluación de los Ecosistema del Milenio, Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Desertificación. Washington, DC: World Resources Institute.
- Chaparro, A. E., Renard, D. M. 2005. Elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas socioculturales, cuatro experiencias en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile. 138p
- CONAGUA (2010). Tabulado: Cuencas hidrológicas con su disponibilidad media anual de aguas superficiales publicada (Actualización al 31 de diciembre de 2009). [En línea]. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=32> Fecha de consulta 01 de septiembre de 2012)
- De Lima, V. D., Cortés, Z. J., Soriano, R. R., Bezerra, C. R., Barros, S. R.C. 2006. Condiciones y restricciones al desarrollo económico social de áreas rurales en proceso de desertificación. Avances en Investigación Agropecuaria, Vol. 2, número 002. Universidad de Colima, Colima, México. 13-25 pp.
- Ellis, E., Bentrup, G., Bannister, M.M. 2004. Computer-based tools for decision support in agroforestry: Current state and future needs. En: New Vistas in Agroforestry. A compendium for the first world congress of Agroforestry. Kluwer academic publishers. Netherlands. 401-422 pp.
- FIRCO, Plan Nacional de Microcuencas, SAGARPA, México, 2005.
- FIRCO, 2005a. Consideraciones generales para la elaboración y la adecuación de planes rectores de producción y conservación (PRPC). Dirección Ejecutiva de desarrollo técnico e institucional. México.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para

- adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 252p.
- García, H. E.J. 1988. Caracterización Agroecológica y evaluación de plantaciones tradicionales de maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm ssp. *Crassispina* (Trel.) Gentry) en la región Pinos, Zac. México. Tesis profesional. Escuela de Agronomía. Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas. 91p.
- García, N. H., Mejía, A. C., García, D. R.R., Chacón, M. R y González, R. A., (1996), Zonas potenciales para la producción de las principales especies vegetales en el estado de Guanajuato, Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto.
- Hassan, R. M., Corbett, J.D., Njoroje, K. 1998. Combining geo-referenced survey data with agroclimatic attributes to characterize maize production systems in Kenya. En Hassan, R. M. (Ed.).Maize technology development and transfer.A GIS application for research planning in Kenya. CAB International 43-68pp.
- INE, 2000, *El Ordenamiento Ecológico del Territorio. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. México, SEMARNAP, 174 pp.
- Díaz, P. G., Guajardo, P. R.A., Medina G. G., Sánchez C. I., Vázquez, A. M. P., Quijano C. J.A., Legorreta P. F. y Ruíz C. J.A. 2012. Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Veracruz, Mex. 139 p.
- Luna, M. Y., Moirata, A., Avello, E. y Peraza, B., (2003), Estructuras espaciales coherentes de precipitación en la España peninsular: Régimen Atlántico, en <http://fcf.unse.edu.ar/pdf/lpr/p13.pdf> , fecha de consulta 09 de junio de 2011
- Morales, E. C. 2005. Pobreza, desertificación y degradación de tierras. En Morales, C y Parada, S. (Comps.) Pobreza desertificación y degradación de los recursos naturales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile. 25-58pp
- Ocampo, J. 2008. Las plantas nativas y su cuidado: Una alternativa para el medio ambiente y para la producción. En: Ruiz, R. H., Rodríguez, G. E., Rodríguez H. J.A. (Comps.) Desarrollo, recursos naturales y actores sociales en Guanajuato. Universidad de estudios superiores de Salvatierra- GIRAD A.C. 159-173pp



- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 pp.
- Rodríguez, S. C., Reyes, P. S. 2008. Formulación de los planes municipales de ordenamiento territorial en áreas rurales.
- Sánchez, S., Llosa, G., Pulido, V., Del Río, M.L., Rueda, C. D. 2001. Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica. Consejo Nacional del Ambiente (CONAMP). Lima, Perú. 139 p
- Sotélo, R. E.D., Ortiz T. C., Rizo, A. M.I. 2005. Áreas potenciales para el cultivo de Pitahaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britt & Rosse) en el sur del estado de México. Ciencia forestal en México. México, D.F. 87-98 pp.
- Terrones, R. T. del R.L., García N. H., Hernández, M. M.A., Mejía A. C. 2007. Potencial agroforestal con arbustivas nativas estado de Guanajuato, folleto técnico núm. 1. INIFAP. Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto. 36p.
- Turrent, E. A., 1986. Estimación del potencial productivo del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de posgraduados. Chapingo, Mex.
- Villatoro, M., Henríquez, C., Sancho, F. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. Agronomía Costarricense. San José Costa Rica 32(1): 95-105pp.