



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN GEOGRAFÍA  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

Delimitación de áreas con uso inadecuado del territorio  
confrontando el uso actual y potencial del suelo en el  
valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México.

---

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

**Mónica Chico-Avelino**

DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. Raymundo Montoya Ayala  
Facultad de Estudios Superiores Iztacala-UNAM



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

A la vida que me ha dado tanto, tanto que a veces me pregunto si merezco todo lo que tengo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por todo lo que me ha brindado a lo largo de mi vida académica, por permitirme ser parte de esta gran comunidad, como alumna del posgrado en Geografía y por ser una pieza fundamental en mi crecimiento como mujer dentro de la investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada durante mis estudios de maestría, ya que sin este apoyo no me hubiera sido posible continuar con mi formación académica.

A la geografía por ser un parteaguas en mi vida intelectual, docente, profesional e incluso personal.

A mi tutor de tesis el Dr. Raymundo Montoya Ayala por su apoyo y amistad que siempre es incondicional, por confiar en mí y por ser un gran ejemplo.

A mis sinodales el Dr. Lorenzo Vázquez Selem, el Dr. Arturo García Romero, al Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes y al Dr. Daniel Jesús Muñoz Iniestra, por sus grandes aportaciones para la mejora de este trabajo, porque siempre me ofrecieron su tiempo y su conocimiento para lograr este objetivo de vida.

Dankej

## Dedicatorias

A mi madre por ser mi motivación y mi mejor ejemplo de empoderamiento femenino, por demostrarme tu amor incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, por apoyarme en todo momento, mi vida es un logro compartido contigo mami. Te amo.

A mi padre por enseñarme a ser una mujer fuerte y libre en todos los aspectos de mi vida, por tomar mi mano cuando más lo he necesitado, por educarme con tanto amor. Te amo.

A Bruno, por cambiar el rumbo de nuestra familia. Te amo.

A Rodrigo, por todo lo que compartimos cada uno desde nuestro espacio porque aun estando distantes estamos juntos, siempre siendo tú mi ejemplo. Te amo.

A mi tío Joaquín por su cariño y por apoyarme en tantos momentos de mi vida.

A mis amigxs que siempre están conmigo apoyándome en mis decisiones en especial a Perla, Violeta, Flor, Nayelli por quererme tanto y demostrármelo.

A la huasteca, por ayudarme a encontrar una mejor versión de mi misma.

Y por último a mis alumnos a todos ustedes debo gran parte de mi crecimiento y motivación para continuar mi camino.

# ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Objetivo general</b> .....	2
<b>Objetivos Particulares</b> .....	2
<b>1.0 Caracterización del valle Zapotitlán Salinas.</b> .....	3
1.1 Factores biofísicos .....	4
1.1.1 Altitud y pendiente.....	4
1.1.2 Geología .....	5
1.1.3 Edafología.....	7
1.1.4 Climatología.....	9
1.1.5 Hidrología superficial.....	12
1.1.6 Vegetación y usos de suelo .....	13
1.2 Factores socioeconómicos .....	15
1.2.1 Población y localidades .....	15
1.2.2 Distribución Territorial.....	16
1.2.3 Procesos económicos .....	17
1.2.4 Migración y marginación.....	19
<b>2.0 Delimitación de Unidades Ambientales Biofísicas (UAB)</b> .....	23
2.1 Delimitación de geoformas en el VZS .....	26
2.2 Indicadores ambientales para caracterizar las UAB. ....	32
<b>3.0 Análisis del cambio de uso del suelo en el período 2000 – 2016 en el valle de Zapotitlán Salinas.</b> .....	37
3.1 Clasificación de los tipos de vegetación y uso del suelo .....	38
3.2 Clasificación y validación para las temporalidades en el VZS. ....	39
3.2.1 Validación de la clasificación para el año 2000. ....	39
3.2.2 Validación de la clasificación para el año 2016. ....	41
3.2.3 Usos de suelo y vegetación para el año 2000 en el VZS. ....	42
3.2.4 Usos de suelo y vegetación para el año 2016 en el VZS. ....	44
3.3 Cambio de uso de suelo en el período 2000-2016 para el VZS. ....	45
3.3.1 Cambios y persistencias.....	45
3.3.2 Tasa de cambio del 2000 al 2016 en el VZS.....	49
3.3.3 Cambios de cobertura de las Unidades Ambientales Biofísicas (AUB) período 2000-2016.....	50
<b>4.0 Uso potencial del suelo</b> .....	57
4.1 Esquemas metodológicos de la evaluación de uso potencial del suelo. ....	58

4.2 Propuesta para la evaluación del uso potencial de suelo del valle de Zapotitlán Salinas.....	59
4.2.1 Uso potencial de restauración y conservación del valle de Zapotitlán Salinas. ....	61
4.2.2 Uso potencial agrícola del valle de Zapotitlán Salinas.....	69
4.2.3 Uso potencial forestal del valle de Zapotitlán Salinas .....	77
4.2.4 Uso potencial para el Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en el valle de Zapotitlán Salinas. ....	80
<b>5.0 Áreas con uso inadecuado del territorio en el valle de Zapotitlán Salinas.....</b>	<b>88</b>
5.1 Confrontación del uso potencial de conservación y restauración y uso actual (2016). ....	90
5.2 Confrontación de uso potencial agrícola y uso actual (2016). ....	94
5.3 Confrontación del uso potencial forestal y uso actual (2016). ....	96
5.4 Áreas con mayor susceptibilidad ambiental resultante de la confrontación del uso actual y potencial del suelo.....	99
<b>6.0 Conclusiones.....</b>	<b>103</b>
6.1 Alcances y compromisos.....	107
<b>Bibliografía.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Datos de marginación para tres municipios de Puebla y las principales localidades de Zapotitlán 2005. ....	21
Cuadro 2. Datos de marginación para tres municipios de Puebla y las principales localidades de Zapotitlán 2010. ....	21
Cuadro 3. Clasificación basada en la propuesta del POET, considerando unidades generales. ....	24
Cuadro 4. Descripción de las UAB identificadas en el VZS. ....	24
Cuadro 5. Sistema taxonómico de las geoformas (Zinck, 1988). ....	27
Cuadro 6. El modelo de facetas de vertiente (adaptado para el VZS de Ruhe, 1975) ....	32
Cuadro 7. Indicadores considerados para caracterizar a las unidades ambientales biofísicas del área en estudio. ....	33
Cuadro 8. Características de las imágenes empleadas para la clasificación. ....	38
Cuadro 9. Matriz de confusión para la clasificación del año 2000. ....	40
Cuadro 10. Matriz de confusión para la clasificación del año 2016. ....	41
Cuadro 11. Matriz de transición de uso de suelo y vegetación en el período 2000-2016 en el VZS. ....	47
Cuadro 12. Tasa de cambio por tipo de uso de suelo y vegetación en el VZS. ....	50
Cuadro 13. Cambio neto en hectáreas por cobertura entre 2000 y 2016 de la UAB 1. ....	51
Cuadro 14. Superficie de los principales cambios entre coberturas de la UAB 1. ....	51
Cuadro 15. Cambio neto en hectáreas por cobertura de la unidad 2. ....	52
Cuadro 16. Principales cambios entre coberturas de la UAB 2. ....	53
Cuadro 17. Cambio neto en hectáreas por cobertura de la UAB 3. ....	53
Cuadro 18. Principales cambios entre coberturas de la UAB 3. ....	54
Cuadro 19. Cambio neto en hectáreas por cobertura de la UAB 4. ....	54
Cuadro 20. Principales cambios entre coberturas de la UAB 4. ....	55
Cuadro 21. Clasificación de valores del Índice de Vegetación Normalizada. ....	64
Cuadro 22. Valores de aptitud para arabilidad del VZS (ajustado de los modelos de Mendoza <i>et al.</i> , 2010 y la SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009). ....	70
Cuadro 23. Valores de aptitud de fertilidad del VZS (ajustado de los modelos de Mendoza <i>et al.</i> , 2010 y SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009). ....	71
Cuadro 24. Valores de aptitud de fertilidad del VZS (ajustado de los modelos Mendoza <i>et al.</i> , 2010 y SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009). ....	72
Cuadro 25. Variables consideradas con la asignación del valor de aptitud así como los índices que conforman en conjunto y sus ponderaciones modificado de las propuestas de Mendoza <i>et al.</i> , 2010 y SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009. ....	78
Cuadro 26. Valores asignados a las variables y su correspondencia con alguna clase cualitativa, modificado de Ayala-Niño <i>et al.</i> , 2011. ....	81
Cuadro 27. Atributos evaluados con las ponderaciones en función de su importancia con los valores de potencialidad asignado, basado en la propuesta de Ayala-Niño <i>et al.</i> , 2011. ....	82
Cuadro 28. Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial de conservación. ....	90
Cuadro 29. Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial de restauración. ....	92
Cuadro 30. Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial agrícola. ....	94
Cuadro 31. Superficie en ha para el uso inadecuado con subuso confrontando uso actual (2016) y uso potencial agrícola en sus tres clases bajo, moderado y alto. ....	95
Cuadro 32. Superficie en ha para el uso inadecuado con sobre uso confrontando uso actual (2016) y uso potencial agrícola en sus tres clases bajo, moderado y alto. ....	96
Cuadro 33. Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial forestal. ....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Climograma de la estación Zapotitlan Salinas .....	11
Figura 2. Climograma en donde se muestran la temporada de secas y lluvias, basado en el índice de Gausse. .....	12
Figura 3. Modelo de unidades de relieve según el modelo de Ruhe (1975).....	27
Figura 4. Perfil 1 derivado a partir de la elevación del corte A-A'. A) ubicación del corte dentro del VZS..	28
Figura 5. Perfil 2 derivado a partir de la elevación del corte B-B'. A) ubicación del corte dentro del VZS. .	28
Figura 6. Cambio en las superficies (%) entre las dos temporalidades (2000 y 2016). .....	42
Figura 7. Cambios entre tipos de usos año 2000 y 2016.....	47

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Localización del Valle de Zapotiltán Salinas, Puebla.....	3
Mapa 2. Elevación en msnm del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, mostrando el perfil topográfico.....	4
Mapa 3. Pendiente en grados del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. ....	5
Mapa 4. Geología (tipos de rocas) del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. ....	6
Mapa 5. Edafología del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla .....	8
Mapa 6. Temperatura máxima normal anual del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Interpolados con el método IDW.....	10
Mapa 7. Temperatura mínima normal anual del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Interpolados con el método IDW.....	10
Mapa 8. Precipitación normal anual del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Interpolados con el método IDW .....	11
Mapa 9 .Hidrología superficial del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. ....	13
Mapa 10. Vegetación y usos de suelo del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. ....	14
Mapa 11. Localidades municipales del valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010. ....	16
Mapa 12. Distribución territorial (por localidad) del valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010. ....	17
Mapa 13. Principales actividades de la población del Valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010. ....	18
Mapa 14. Grado de marginación de las localidades del valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010. ....	22
Mapa 15. Unidades Ambientales Biofísica (AUB) del valle de Zapotitlán Salinas .....	25
Mapa 16. Delimitación de geofomas del VZS. ....	30
Mapa 17. Cambio de coberturas para terrazas y suelo desnudo de la UAB 1. ....	34
Mapa 18. Cambio de coberturas para terrazas y suelo desnudo de la UAB 2. ....	35
Mapa 19. Coberturas de uso de suelo y vegetación del VZS para el año 2000. ....	43
Mapa 20. Coberturas de uso de suelo y vegetación del VZS para el año 2016. ....	44
Mapa 21. Cambios identificados entre coberturas en el período 2000-2016.....	45
Mapa 22. Coberturas sin cambios durante el período 2000 – 2016. ....	46
Mapa 23. Cambios por coberturas en la UAB 1 y 2 durante el período 2000-2016.....	52
Mapa 24. Cambios por coberturas en la UAB 3 y 4 durante el período 2000-2016.....	55
Mapa 25. Resultado del análisis NDVI con insumos Landsat 8- 2016. ....	63
Mapa 26. Delimitación de zonas con uso potencial para conservación en el VZS. ....	65
Mapa 27. Delimitación de zonas con uso potencial para restauración en el VZS.....	67
Mapa 28. Delimitación de zonas con uso potencial agrícola en el VZS. ....	73
Mapa 29. Relación espacial zonas con uso potencial agrícola con restauración y conservación.....	76
Mapa 30. Relación espacial zonas sin potencial agrícola con restauración por coberturas.....	77
Mapa 31. Delimitación de zonas con uso potencial forestal en el VZS.....	80



Mapa 32. Delimitación de zonas con uso potencial para pago por servicios ambientales hidrológicos.....	84
Mapa 33. Relación espacial entre zonas con potencial forestal y pago por servicios hidrológicos..	85
Mapa 34. Relación espacial entre zonas con potencial para pago por SAH y zonas sin potencial agrícola.....	86
Mapa 35. Relación espacial de zonas con potencial para PSAH y potencial agrícola. ....	87
Mapa 36. Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de conservación y uso de suelo 2016. ....	91
Mapa 37. Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de restauración y uso de suelo 2016.....	93
Mapa 38. Delimitación de áreas con uso adecuado de uso potencial de agrícola y uso de suelo 2016.....	95
Mapa 39. Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de forestal por subuso y uso de suelo 2016. ....	98
Mapa 40. Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de forestal por sobreuso y uso de suelo 2016. ....	99
Mapa 41. Áreas con mayor susceptibilidad ambiental por sobreuso, confrontando el uso potencial y el uso suelo en el 2016. ....	100
Mapa 42. Áreas con susceptibilidad ambiental por subuso, confrontando uso potencial y uso de suelo 2016. ....	102
Mapa 43. Zonas con mayor susceptibilidad ambiental por uso inadecuado, considerando sub y sobre uso. ....	103

## Introducción.

El conocimiento y determinación del uso potencial del suelo es un aspecto de primera importancia en el proceso de planeación territorial, asimismo, para apoyar la disminución del deterioro ambiental y para incrementar las condiciones de desarrollo y el aumento de la calidad de vida de las poblaciones humanas.

En México se ha partido de la realización de los mapas de uso potencial del suelo a escala 1:250,000 y 1:1,000,000 (INEGI, 2001) y en algunas de las porciones centrales del país, a escala más detallada (1:50,000). Estos mapas se han elaborado en función de las condiciones del suelo considerándolas como factores limitantes de las actividades, presentando los tipos de uso con posibilidades de ser establecidos en una determinada unidad territorial y la aptitud o grado en que las condiciones ambientales satisfacen los requerimientos de las alternativas de uso.

También se ha valorado el uso potencial del suelo de México, a partir del procesamiento de imágenes satelitales y las características intrínsecas de los suelos, encontrando áreas específicas con diversas potencialidades para el desarrollo agropecuario y otros factores relacionados con las propiedades y los procesos en el relieve, como pendiente y erosión (García, 1976). Palacios *et al*; 2009, diagnosticaron el potencial del uso del suelo con base en la evaluación de las características fisiográficas y socioeconómicas del Parque Nacional de las Grutas de Cacahuamilpa.

Olivas *et al*; 2007 evaluaron la aptitud del territorio para el establecimiento de plantaciones de maguey aplicando un modelo Multicriterio y SIG en tres municipios del estado de Durango. Quezada y Vargas (2007), caracterizaron la vegetación y los usos del suelo actuales, de la microcuenca San Marcos, municipio de Chapala, estableciendo una propuesta de manejo sustentable, en función de los niveles de pendiente y los efectos de deterioro provocados por las actividades antrópicas, asimismo, establecieron áreas para las actividades a desarrollarse en el territorio.

Este enfoque de análisis de uso potencial permite realizar diagnósticos de en qué medida el suelo se está utilizando de forma adecuada con respecto al uso actual “real” del territorio, para identificar zonas con uso inadecuado también llamadas zonas de conflicto de uso. El conflicto de uso permite comparar el uso actual y el uso potencial del suelo, para identificar áreas que pueden degradarse como consecuencia de usos inadecuados, así como para planificar (Álvarez- Olgún *et al.*, 2016)

En este contexto, el valle de Zapotitlán Salinas (VSZ), enfrenta una problemática ambiental severa debido a la falta de planeación territorial y a la baja productividad de los sistemas agrícolas que traen como consecuencias una baja calidad de vida de la población y la degradación del ambiente biofísico, que ha permanecido a lo largo del tiempo y que conlleva un impacto negativo para la conservación de los recursos del área, debido a la carencia de estudios de la aptitud territorial y específicamente del uso potencia del suelo. A pesar de tratarse de una región extensamente estudiada, principalmente en rubros referentes a la

conservación de la biodiversidad, aún faltan estudios territoriales que permitan la implementación del ordenamiento territorial y la elaboración de propuestas de gestión de los sistemas productivos y ecológicos en el ámbito regional.

La falta de planeación de las actividades agrícolas que tienen lugar en ese territorio, sin conocer las capacidades de la región para soportar las actividades establecidas, ha provocado impactos fuertes y negativos desde un punto de vista ecológico en los recursos naturales al ocasionar una reducción de la viabilidad de los sistemas que son susceptibles al uso, por parte de los grupos humanos asentados en el área. Por su parte el cambio del uso de suelo como producto de las actividades humanas, provoca la alteración y pérdida de ecosistemas naturales; los problemas de sustitución de la vegetación original por áreas agrícolas o de extracción, han adquirido una dimensión considerable al apropiarse estos usos de los hábitats naturales (Arias *et al.*, 2000).

Existe además un alto grado de degradación física del suelo (erosión) provocada principalmente el cambio de uso de suelo a usos agrícolas y ganaderos en zonas que tienen esa potencialidad, lo cual limita la productividad y la sustentabilidad de esas actividades (Arias *et al.*, 2000). Lo que resulta en la necesidad de conocer la aptitud del territorio para soportar las actividades establecidas y así contar con los elementos para la toma de decisiones y estrategias productivas, evitando así el deterioro de los ecosistemas. Por lo que el presente trabajo persigue los siguientes objetivos.

### **Objetivo general.**

Delimitar las áreas con uso inadecuado del territorio a partir de confrontar el uso actual y potencial del suelo del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

### **Objetivos Particulares.**

Caracterizar el valle de Zapotitlán Salinas en sus ámbitos biofísico y socio-económico.

Delimitar y caracterizar Unidades Ambientales Biofísicas, en función de los componentes geomorfológicos y vegetación en el valle de Zapotitlán Salinas.

Determinar las diferentes clases del uso actual del suelo (2016) en el valle de Zapotitlán Salinas.

Evaluar el cambio de uso de suelo en el período 2000 al 2016 en el valle de Zapotitlán Salinas.

Valorar el uso potencial del suelo de área de estudio.

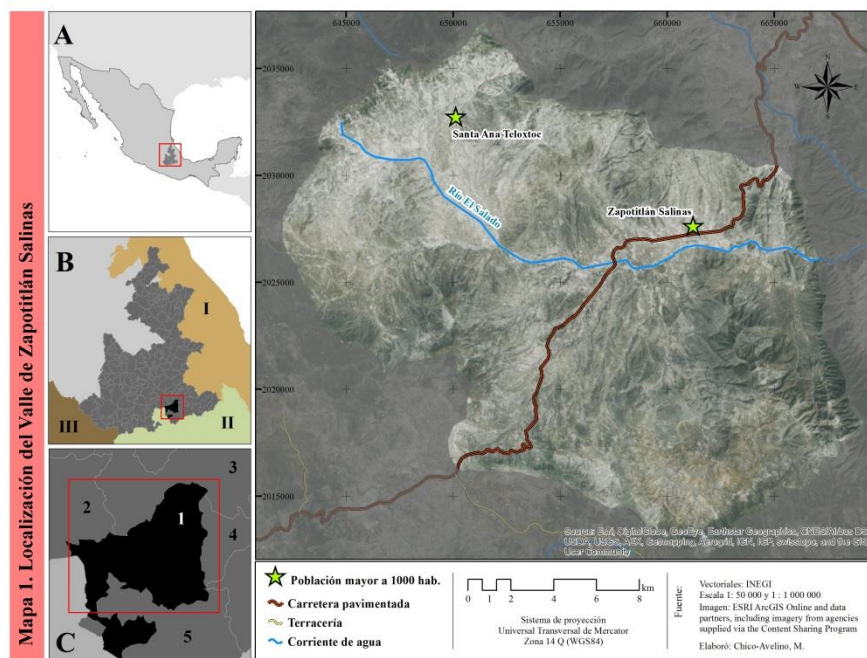
Definir las áreas con mayor susceptibilidad a degradación, confrontando el uso actual de suelo con el uso potencial.

## 1.0 Caracterización del valle Zapotitlán Salinas.

Las escalas para la caracterización fueron variables, en el caso de vegetación y uso de suelo, unidades de suelo, tipos de rocas la escala utilizada 1: 250 000, mientras que altitud, hidrología, climatología fue 1: 50 000. Esto se debe principalmente a la disponibilidad de la cartografía digital.

El valle de Zapotitlán Salinas (VZS) se localiza en la región centro del país (A). Se encuentra, en la porción occidental del valle de Tehuacán–Cuicatlán, al sureste del Estado de Puebla en la mixteca poblana y al sureste de Veracruz (B-I), al noroeste de Oaxaca (B-II), al noreste de Guerrero (B-III). Insertada en el municipio de Zapotitlán (C-1), Atexcal (C-2) y Tehuacán (C-3), al este colinda con San Gabriel Chilac (C-4), y al sur con Caltepec (C-5), cuenta con una extensión aproximada de 39, 642 ha, por su área atraviesa la carretera Federal libre Méx-125, al igual que el río El Salado, que es de tipo intermitente, con una longitud que supera los 12, 000 m.

Las localidades principales son Zapotitlán Salinas y Santa Ana Teloxtoc (Mapa 1). La delimitación del área de estudio fue retomada de los trabajos desarrollados en conjunto por los investigadores del proyecto UBIPRO- FES Iztacala, UNAM.



Mapa 1. Localización del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

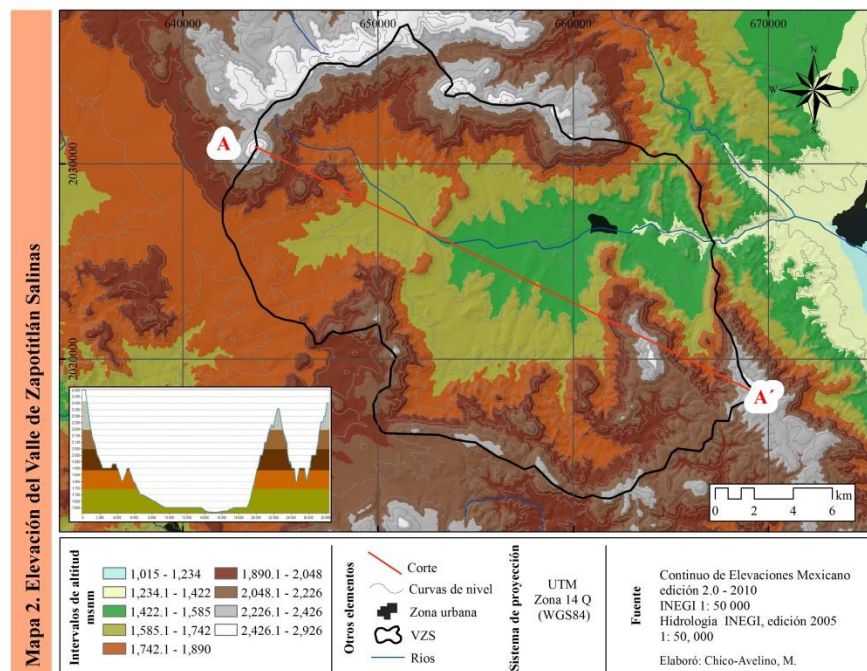
Se caracteriza, por albergar importantes valores faunísticos, botánicos, geológicos, geomorfológicos y paisajísticos (Montoya, 2001), que se encuentran protegidos en materia de espacios naturales, debido a que el área se localiza dentro de la Reserva de Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, es por eso, que presenta una gran importancia ecológica, ya que es una

de las principales áreas de alta diversidad biológica de México (Arias *et al.*, 2000); esto debido a su complejidad geomorfológica interna, lo que deriva en que la diversidad sea geográficamente muy importante, pues su riqueza biológica está representada por altos niveles de endemismo (Dávila *et al.*, 2002).

## 1.1 Factores biofísicos.

### 1.1.1 Altitud y pendiente.

El valle de Zapotitlán presenta un gradiente altitud que comprende los 1,359 msnm en las zonas más bajas, mientras que los puntos más altos del área se encuentran en alturas de 2,661 msnm. Este elemento del ambiente determina diversas características del paisaje como la cliserie de los tipos de vegetación, de igual manera las unidades morfológicas definidas por la pendiente, así como las orientaciones del terreno que influyen en la insolación, ya que la elevación determina la pendiente del terreno, lo que favorece a los microclimas que proveen los sistemas adecuados para la vegetación (Mapa 2).



**Mapa 2.** Elevación en msnm del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, mostrando el perfil topográfico.

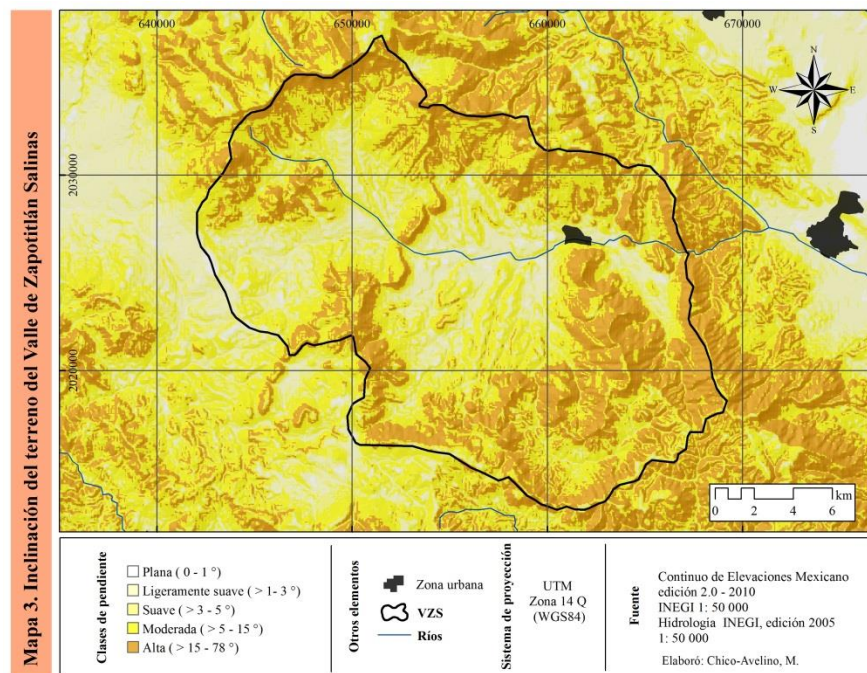
Basado en la elevación se calcularon a una equidistancia de 100 m las curvas de nivel que son la representación gráfica del territorio que se localizan a la misma cota sobre el nivel de mar. Se realizó un perfil topográfico partiendo de un corte horizontal A – A', en donde se muestra como la altitud está fuertemente relacionada con las geoformas, ya que las zonas más bajas representan el valle intermontano, mientras que las máximas elevaciones las laderas y las superficies cumbresales.

La pendiente, en sentido estricto, es la inclinación de un terreno respecto a un plano horizontal. La pendiente se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas del

relieve; prácticamente todas ellas tienen un umbral límite que las clasifica o jerarquiza de acuerdo a su geometría; es decir, la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno.

La inclinación del terreno juega un papel importante en la gestión del territorio, es por eso que existen diversas clasificaciones que permiten determinar el grado desnivel en una escala definida. Para el caso del VZS las pendientes van desde 0 en las zonas más llanas y alcanza inclinaciones hasta los 75°.

De acuerdo a estos rasgos se pueden definir 5 categorías basadas en la clasificación propuesta por el M.O.P.T., 1993 las cuales son: plana (de 0° a 1°), ligeramente suave (de 1° a 3°), suave (de 3° a 5°), moderada (de 5° a 15°) y fuerte (mayor a 15°). Dominan las zonas con pendientes moderadas (5 a 15°) comprendiendo el 54 % de área, mientras que las zonas con pendiente plana, ligeramente suave y suave comprenden el 24 % del total del área. Las pendientes fuertes comprenden el 22 % (Mapa 3).



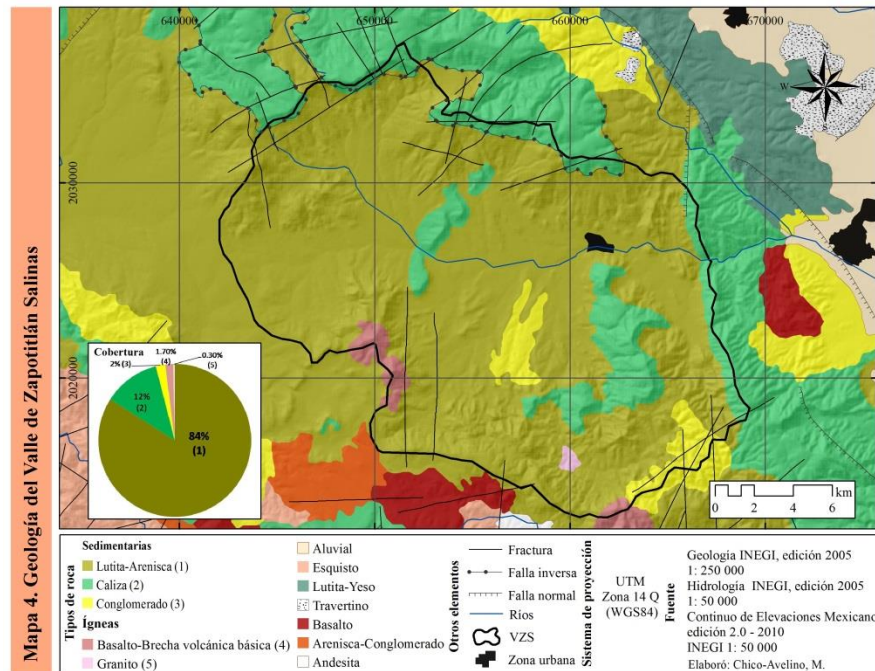
Mapa 3. Pendiente en grados del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

### 1.1.2 Geología.

Se tiene que en el valle en su mayor superficie existen rocas sedimentarias abarcando el 98 % del territorio, mientras que las rocas ígneas sólo comprenden en 2 % de la superficie. Considerando este atributo se puede considerar que el VZS es un ambiente endógeno tectónico; esto se debe principalmente a su historia geológica.

La litología del área es dominada por calizas, conglomerado, lutita - arenisca, de las cuales las que predomina en el área son estas últimas con el 84 % distribuidas en la mayor parte del

área, seguidas por las calizas comprendiendo el 12 %, mientras que los conglomerados sólo cubren el 2 % (Mapa 4)



**Mapa 4.** Geología (tipos de rocas) del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

Las rocas ígneas están representadas por basalto-brecha volcánica básica con un 1.7 % y granito con 0.3 % del total territorial del valle, estos elementos se localizan al sur del valle, asociados a laderas pronunciadas (Mapa 4). Estructuralmente el valle de Zapotitlán pertenece a la Cuenca Zapotitlán con rocas de horizontes de limolitas, con estratificaciones delgadas a masivas del cretácico inferior en su totalidad, del cuaternario y del neógeno, mientras que la región próxima al este del valle en donde existen los sistemas aluviales, que son suelos depositados es una región más reciente geológicamente con bancos profundos y masivos, con altos contenidos de materia orgánica por lo que la agricultura de riego se ha establecido.

**Areniscas.** La mayoría están compuestas principalmente de granos de cuarzo y arcilla en pequeñas cantidades. Pueden ser, por su composición, arcosa, si son ricas en feldespatos; cuarzosas, ricas en SiO<sub>4</sub>; grawacas, ricas en ferromagnesianos, y micazas, ricas en micas. También las areniscas se denominan, por la matriz cementante, así: ferruginosa, silicosa, arcillosa y calcárea. Las areniscas son útiles en construcción, revestimientos y fabricación de vidrio.

**Lutitas.** Principalmente se compone de minerales arcillosos (grupo de la caolinita, grupo de la illita) que se forma en el campo sedimentario y de restos de cuarzo, feldespato y mica. También puede contener hematita, limonita, calcita, dolomita, yeso y sulfuros. Es una roca masiva, terrosa, normalmente bien compactada, a menudo contiene fósiles como foraminíferos, ostrácodos, trilobites.

Calizas. Pueden ser de agua dulce o de origen marino, y componerse de material químicamente precipitado, orgánico o detrítico. La mayoría de las calizas se desarrollaron en aguas poco profundas y las condiciones de turbulencia o de ambiente tranquilo se reflejan en la existencia del soporte de grano con relleno de calcita cementante en el primer caso, o la existencia de espacios porosos rellenos con lodo carbonatado, en el segundo. Las calizas son la materia prima de la cal y el cemento, complementando el proceso con arcillas ferruginosas.

Debido a esta composición de rocas es que se han desarrollado los suelos ya descritos, además de los patrones geomorfológicos. De igual manera en el valle existen algunas fallas y fracturas, que se encuentran asociadas principalmente al piedemonte y laderas pronunciadas (pendientes fuertes) encontrando que las fallas que son de tipo Inversa más extensas con longitudes que van desde los 5.5 a los 14 km, se localizan al norte, donde se presentan las mayores elevaciones del área. Mientras que las fracturas, se encuentran asociadas a las fallas, sin embargo estas además de localizarse en la porción norte, también se encuentran en el sur y a elevaciones más variables, incluso dentro de las zonas de valle intermontano, las longitudes están en el orden de 2 a los 9.4 km la de mayor longitud.

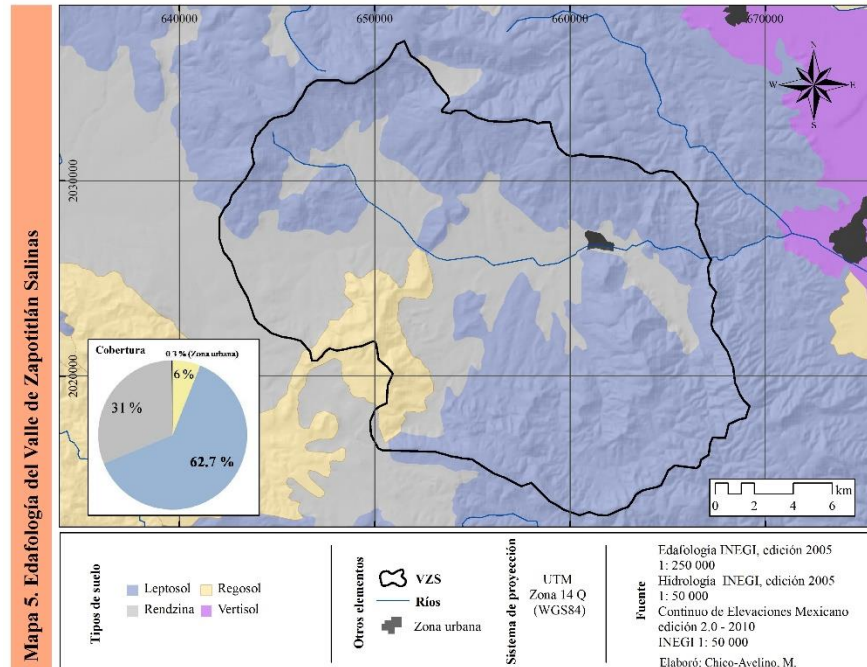
### **1.1.3 Edafología.**

El suelo del VZS presenta una considerable acumulación de carbonato de calcio con capas de humus de mínimo espesor, por lo que el desarrollo de la agricultura es muy limitado. En su defecto, los mejores terrenos de cultivo han sido aquellos que se sitúan en los márgenes del río. Tomando como base principal la carta edafológica del INEGI, 1: 250 000 Serie IV en el área se han desarrollado, de igual manera suelos que son producto de las interacciones ya mencionadas tales como leptosoles, regosoles y rendzinas.

Las proporciones de cobertura de los suelos de tipo leptosol comprenden 65, 371 ha siendo esta unidad la que abarca la mayor parte del territorio del VZS representando esta superficie el 62 % del total del área. Seguida por las rendzinas que cubren el 31 % con 4, 467 ha, mientras que la unidad de suelo desarrollada en menor superficie son los suelos de tipo regosol con 1,264 ha siendo el 6 %, del territorio (Mapa 5).

Leptosoles. Suelos muy someros (menores de 10 cm de profundidad) limitados por un estrato duro y continuo o por tepetate. La delgada capa que presentan se caracteriza por su clase textural media. La formación de este tipo de suelo es de origen residual, a partir de rocas ígneas extrusivas del Terciario y Cuaternario; su espesor está condicionado a la pendiente, ya que ésta influye directamente sobre la escasa acumulación de los materiales edáficos, y son muy susceptibles a la erosión (INEGI, 2001).





**Mapa 5.** Edafología del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

Además de la limitante muy restrictiva para su uso y manejo que representa la profundidad, también están las altas pendientes en las que se desarrolla (mayores a 15 %), así como la pedregosidad y los afloramientos rocosos superficiales.

Estos suelos se distribuyen en la porción norte y en la sureste del valle, asociados principalmente a pendientes pronunciadas, a los lomeríos (Mapa 5), además que en la región es el suelo que predomina, esto como resultado de la geomorfología (montañas) en las que se encuentra en valle.

Rendzinas. Tienen un horizonte A mólico con espesor mayor de 10 cm y menor 50 cm, rico en materia orgánica, de color pardo oscuro o gris y con una alta disponibilidad de nutrientes (saturación de bases mayor de 50 %), el cual descansa directamente sobre roca con altos contenidos de carbonato de calcio. La formación de estos suelos es de origen residual a partir de roca caliza o caliza-lutita (INEGI, 2001).

En general la capa de suelo que presenta se caracteriza por su clase textural medio y por tener concentraciones suaves y pulverulentas de carbonatos de calcio. Su drenaje interno varía de moderadamente drenado a drenado y de igual manera muestran alta susceptibilidad a erosión.

Las limitantes físicas por profundidad somera y pendientes abruptas, hacen muy restrictivo su uso para cuestiones agrícolas, por lo que su uso más adecuado es el forestal. Se distribuyen en la parte central del área, asociado tanto a pendientes altas e incluso a zonas bajas y llanas del valle (Mapa 5). Es decir se localizan en las principales zonas de acumulación.

Regosoles. Suelos poco desarrollados cuya formación generalmente depende de la litología, pues se derivan de la roca que los subyace. No presentan capas con diferencias claras y tienen

un horizonte A ócrico muy claro en color y pobre en materia orgánica, el cual sobreyacen directamente sobre roca o sobre un horizonte C (INEGI, 2001).

En general los regosoles tienen textura media, por lo que su drenaje interno es moderado. El material parental del que se han originado son principalmente rocas ígneas extrusivas. Entre las limitantes físicas que muestran para su utilización agrícola se encuentran las profundidades someras (lecho rocoso a menos de 50 cm de profundidad), pendientes muy pronunciadas, así como alta pedregosidad.

Su distribución esta principalmente, en la porción oeste del valle asociado a los suelos de tipo rendzina, y se encuentra desarrollado en zonas de pendientes fuertes, y los lomeríos, además de tener una continuidad con a la parte oeste adyacente del valle (Mapa 5)

#### **1.1.4 Climatología.**

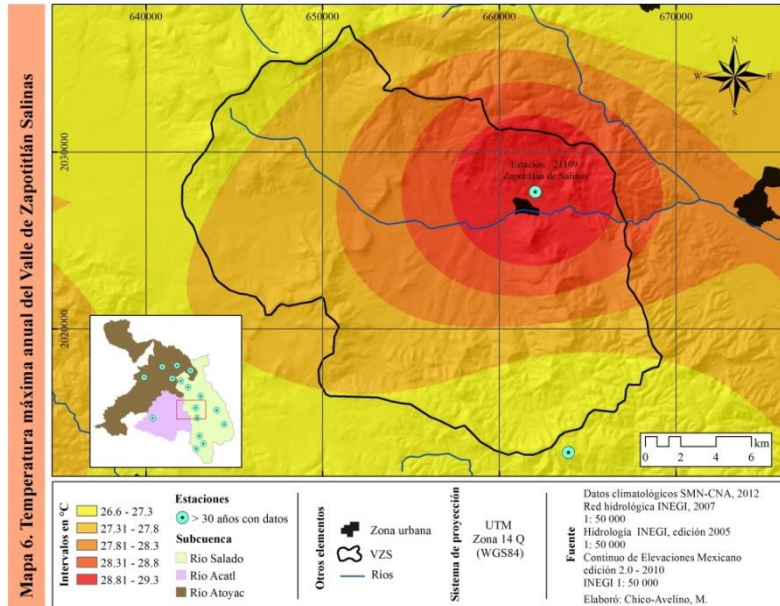
El valle de Zapotitlán cuenta con una estación meteorológica con nombre: Zapotitlán de Salinas, la cual pertenece a la red climatológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), esta estación se localiza al este del área próxima a la cabecera municipal de Zapotitlán.

Para poder obtener la información continua de los elementos climáticos se consultaron los datos generados por SMN, recopilando las climáticas normales. Sin embargo como el área sólo cuenta con una estación, se tomaron datos de otras estaciones aledañas, que se localizaban dentro de las subcuencas del río Salado, río Atoyac y el río Acatl.

El total de estaciones fue 17 para temperaturas y precipitación, mientras que sólo 14 estaciones con datos de evaporación, ya que están contaban con 30 años de datos. La información se interpola mediante el método IDW (método de la distancia inversa) que se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia (García y Cebrián, 2006).

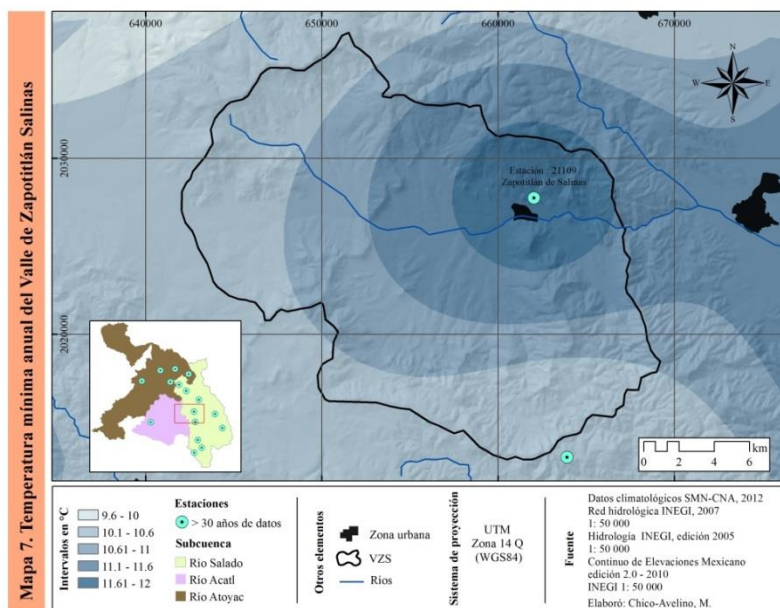
La temperatura máxima promedio anual del valle oscila entre los 26.7 a 29.4 °C (Mapa 6), el gradiente de la temperatura máxima se da de oeste a este; es decir el punto de calor se localiza al este de valle próximo a la zona urbana de Zapotitlán Salinas.

Esto se puede atribuir a la elevación ya que en la zona en donde los valores son menores se encuentran las elevaciones mayores del área, mientras que en donde las temperaturas aumentan las elevaciones van de los 1,300 a 1,600 msnm, esto por las formas del área, debido a que en las partes centrales (valle intermontano y el fondo de valle) se localizan las temperaturas mayores, mientras que en las líneas divisorias se localizan bajas temperaturas, esto por efecto de los vientos fríos que ascienden mucho más que aquellos que tienen más calor.



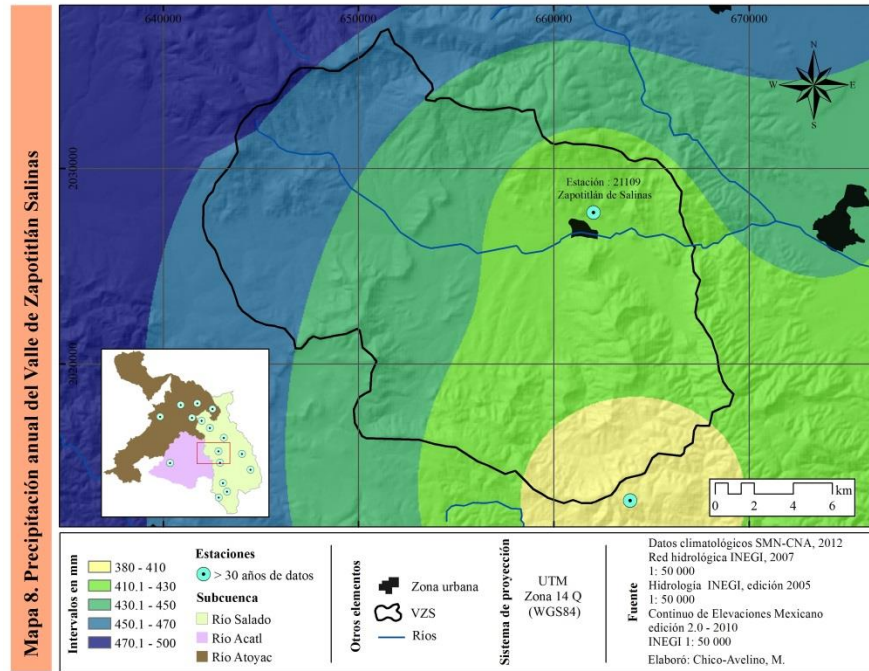
**Mapa 6.** Temperatura máxima normal anual del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Interpolados con él método IDW.

Las temperaturas mínimas anuales van de los 10.2 a 11.9°C (Mapa 7), este elemento resulta de gran importancia ya que la vegetación natural y los cultivos tienen ciertas limitantes con las temperaturas bajas como son los días de heladas, es decir, dependiendo de la especie puede soportar más o menos días, y una vez superado el número de días a las que están adaptado el cultivo la producción no sucede, las zonas con las temperaturas menores se localizan en la porción noroeste y sureste, asociadas al tipo de vegetación que es de tipo forestal, por lo que se conserva mayor humedad que disminuye las temperaturas, por efecto de la elevación.



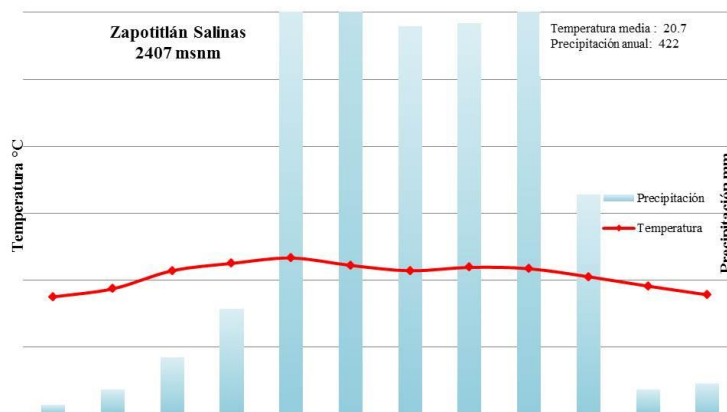
**Mapa 7.** Temperatura mínima normal anual del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Interpolados con él método IDW.

Para la precipitación las principales lluvias se presentan en la porción noroeste del VZS, solo en esa zona llueve en promedio anual, de 445 a 470 mm, mientras que las zonas secas son las regiones noreste, este y sureste, esto debido a que son las partes más bajas del valle y con las mayores temperaturas, con precipitaciones que oscilan en los 395 a 440 mm anuales (Mapa8).



**Mapa 8.** Precipitación normal anual del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Interpolados con el método IDW.

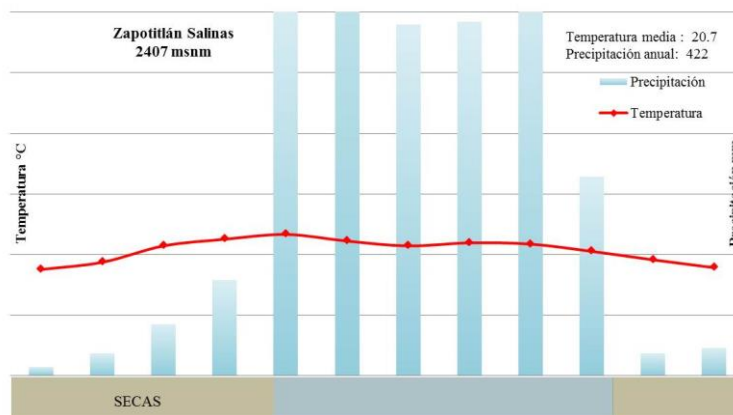
De manera particular, se tiene que para la estación Zapotitlán Salinas (ID 21109), localizada en la porción este del VZS, la temperatura media anual es de 20.7 °C, con una amplitud térmica anual de 5.8 °C. El máximo absoluto es mayo con 23.3 °C, y el mínimo absoluto para el caso es enero con 17.5 °C. Abril es el máximo secundario con 22.5 °C y diciembre es el mínimo secundario con 17.8 °C (Figura 1).



**Figura 1.** Climograma de la estación Zapotitlan Salinas.

La precipitación total anual es de 422 mm, el máximo absoluto para este caso con 101.3 mm es junio y el máximo secundario es septiembre con 71 mm, por su parte enero es el mínimo absoluto con 1.3 mm, y los mínimos secundario son febrero y noviembre con de lluvias de 3.6 mm (Figura 1).

La aridez expresa el déficit debido a la escasez de precipitaciones, por efecto de la temperatura, en el caso local, los meses secos son enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre (Figura 2) ya que según el índice de aridez de Gausson,  $\text{Precipitación} = \text{Temperatura} \times 2$ , por lo que en el climograma la curva de precipitaciones está por debajo de la de temperaturas, lo que indica las temporadas de secas, mientras que la temporada de lluvias la comprende los meses húmedos que son mayo, junio, julio, agosto y septiembre, en donde se tiene las máximas precipitaciones y de manera gráfica las curvas de temperatura y precipitación se intersectan.



**Figura 2.** Climograma en donde se muestran la temporada de secas y lluvias, basado en el índice de Gausson.

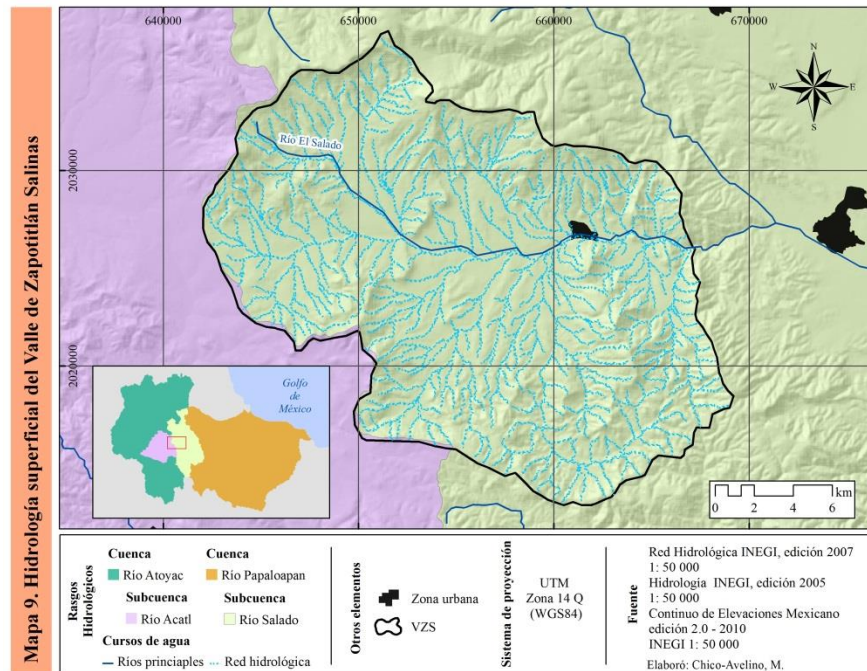
El clima es de tipo árido, basado en el índice pluviométrico de Lang, que define la interrelación de la temperatura con la precipitación, bajo el supuesto que con la temperatura aumenta la evaporación (Capel, 1984) establece el clima por humedad, dando el límite de 40 mm como el umbral de zonas de régimen hídrico óptimo y zonas áridas.

Siendo para el caso de esta estación 20.4, es decir la aridez es alta, ya que los datos se encuentran por debajo de los 40 mm de precipitación, se tienen 7 meses secos y 5 meses húmedos, la precipitación es menor que la temperatura durante la anualidad, concentrándose las precipitaciones en el verano.

### 1.1.5 Hidrología superficial.

El valle de Zapotitlán se encuentra en la región hidrológica del Papaloapan que comprende 47, 537 km<sup>2</sup> y colindando al oeste la región del Balsas que comprende 31, 480 km<sup>2</sup>. A su vez se encuentra enmarcado en el extremo oeste de la cuenca hidrológica del Papaloapan, constituyendo la subdivisión de las regiones mencionadas. La subcuenca del Salado es a la cual pertenece el valle de Zapotitlán, que está relacionada con el río El Salado, el cual es un

curso de agua intermitente, presentan una longitud de 12.61 km; se localiza en la porción central del valle (Mapa 9).



**Mapa 9.** Hidrología superficial del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

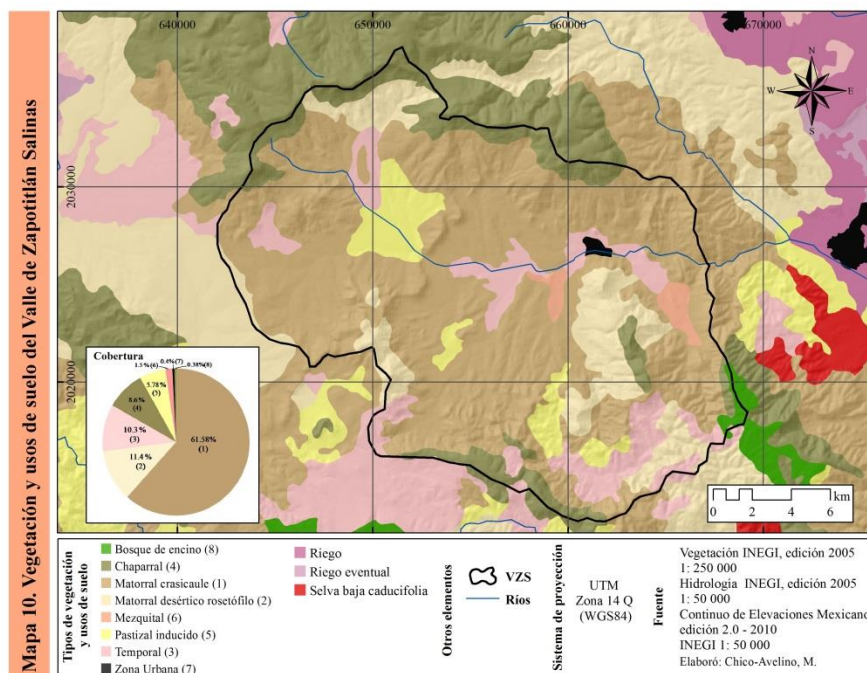
La mayor parte de la región desagua por tres sistemas tributarios del río Papaloapan: uno de ellos, que irriga la zona noreste de la Mixteca es el Zapotitlán o Grande, que se forma de los escurrimientos de la Sierra de Zapotitlán y al que se le conoce también como río Salado debido a la gran cantidad de sales de sodio provenientes de las depresiones de la montaña, que proceden de antiguos depósitos de mares jurásicos y cretácicos.

La red hidrológica está definida por el relieve del área ya que los escurrimientos principales surgen en las partes altas de valle que se encuentran asociadas a las zonas montañosas con laderas pronunciadas, que bajan hacia las zonas de piedemonte, valle intermontano y al fondo de valle (Mapa 9).

### 1.1.6 Vegetación y usos de suelo.

El referente principal para la descripción de la vegetación y usos de suelo es la cartografía de INEGI, 2005, en donde se encontraron 8 tipos de vegetación; siendo la vegetación de zonas áridas (chaparral, matorral crasicuale, matorral desértico rosetófilo y mezquital) cubre el 83 % del territorio, abarcando casi en su totalidad el valle, seguida por los usos de suelo del tipo agrícola que comprende cerca del 16 %, concentrándose en la parte central del área en zonas una pendiente poco pronunciada 0 a 20° y a una altitud que va de los 1,350 a 1,770 msnm, mientras que el bosque de encino que pertenece a la vegetación de zonas húmedas y tropicales, es la menos presentada con apenas 0.38 % del territorio total, localizado en la porción sureste del valle.

Por su parte las zonas urbanas representan sólo el 0.46 % (Mapa 10). Por lo que la vegetación es principalmente de clima semiárido, sin embargo en zonas próximas (al este) se localizan usos de agricultura de riego, favorecido por los suelos que se han desarrollados, como parte de los procesos de acumulación. A continuación se hace una breve descripción de la vegetación con mayor superficie en el área.



Mapa 10. Vegetación y usos de suelo del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

Chaparral. Este tipo de vegetación está constituido por una asociación generalmente densa, de arbustos resistentes al fuego, que se desarrolla sobre todo en laderas de cerros por arriba del nivel de los matorrales de zonas áridas y semiáridas de pastizales naturales.

Es una asociación de árboles esclerófilos de 1 a 4 m de alto, generalmente resistentes al fuego. Se encuentra en las llanuras, valles y lomeríos, entremezclados con otro tipo de vegetación como matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, mezquital y bosques de Encino. Se desarrolla sobre suelos, en climas semicálidos y semifríos con baja humedad, así como en los templados subhúmedos. El uso principal de esta comunidad es la obtención de madera para leña, sin embargo se practica el pastoreo de ganado caprino y bovino principalmente. La dominante más común de este chaparral es *Adenostoma fasciculatum*.

El chaparral está bien adaptado a la época seca y al fuego, después de las quemas, muchas de las especies se regeneran rápidamente por la escarificación que sufren las semillas por el calentamiento durante el incendio. Típicamente el chaparral se establece en las montañas, ocupa también planicies, bajadas y otros lugares con suelos delgados.

Matorral crasicuale. Este tipo de vegetación muestra predominancia de cactáceas grandes con tallos aplanados o cilíndricos que se desarrollan principalmente en las zonas áridas y semiáridas como es el caso. Algunas especies características son: *Opuntia spp*, *Carnegiea*

*gigantea*, *Pachycereus pringlei*, *Stenocereus thurberi*. Se incluyen las asociaciones conocidas como nopaleras, chollales, cardonales, tetecheras

Esta comunidad se desarrolla preferentemente sobre suelos someros de laderas de cerros de naturaleza volcánica, aunque también desciende a suelos aluviales contiguos. La precipitación media anual varía entre 300 y 600 mm y la temperatura es de 16 a 22°C en promedio anual.

Matorral desértico rosetófilo. Este matorral está dominado por especies con hojas en roseta, con o sin espinas, sin tallo aparente o bien desarrollado. Se le encuentra generalmente se localiza el laderas de cerros de origen sedimentario, en las partes altas de los abanicos aluviales o sobre conglomerados. Aquí se desarrollan algunas de las especies de mayor importancia económica de esas regiones áridas como: *Agave lechuguilla* (lechuguilla), *Euphorbia antisiphylitica* (candelilla), *Parthenium argentatum* (guayule), *Yucca carnerosana* (palma samandoca).

## **1.2 Factores socioeconómicos.**

La estructura socio espacial se caracterizó utilizando los datos obtenidos a partir del Censo de Población y Vivienda 2000 y 2010 y el índice de marginación 2010 (CONAPO).

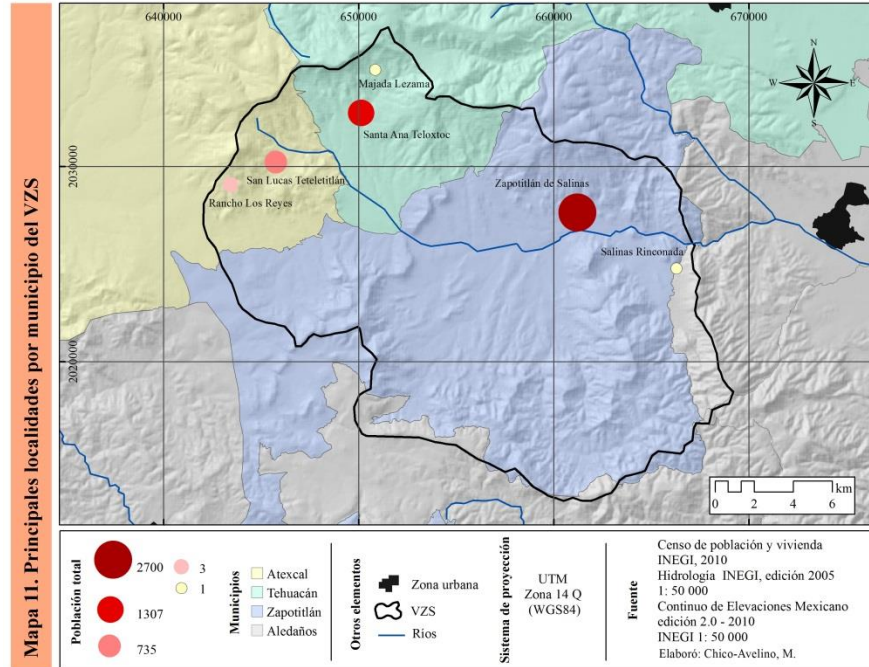
### **1.2.1 Población y localidades.**

Para el año 2010, en el censo de población de INEGI, el valle de Zapotitlán Salinas, contaba con un total de 7,870 habitantes, con 60 localidades, ubicadas en tres municipios. Atexcal que contaba con 1,045 hab., que representa el 13 % de la población total que habita en el valle, por su parte el municipio de Tehuacán, el 22 % con 1,750 hab., mientras que Zapotitlán cuenta con la mayor parte de la población con 5,075 hab., que corresponde al 65 % de la población total.

La localidad con mayor población para el caso del municipio de Atexcal es San Lucas Teteletitlán, mientras que aquella que cuenta con una población de tan sólo 3 hab. es rancho Los Reyes, estas se encuentran en el oeste del área. Para el caso del municipio de Tehuacán la principal localidad con 1, 307 hab. es Santa Ana Teloxtoc y Majada Lezama la localidad con menor población de 1 hab. localizadas al norte del valle.

Para Zapotitlán, la cabecera municipal tiene la mayor población con 2, 700 al noreste y con 1 habitante se tiene la localidad Salinas Rinconada al este del valle (Mapa 11). Se puede ver como la población se concentra en la región norte del área, con el 60 % de la población total reportada en los datos de INEGI en el censo 2010.



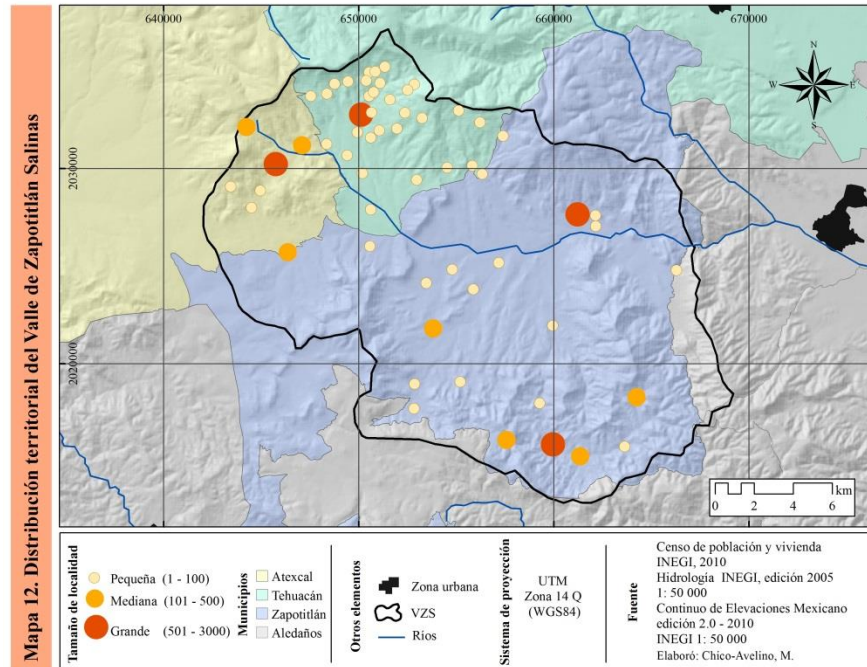


**Mapa 11.** Localidades municipales del valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010.

## 1.2.2 Distribución Territorial.

Tomando como base lo mencionado por la SEDESOL, 2010 que la distribución territorial consiste en conocer la distribución de la población según el tamaño de la localidad, que considera a aquellas localidades con un número de habitantes menor a 15, 000 como localidades rurales, mientras que, las localidades con 15, 000 o más habitantes como localidades urbanas. Para el caso del valle todas las localidades presentes son rurales, sin embargo dentro de las localidades hay pequeñas, medianas y grandes.

La mayoría de las localidades se encuentran en los tamaños que van de los 1-100, distribuidas principalmente en la porción norte de valle, seguidas por aquellas de tamaño mediano localizadas en la parte norte del área, mientras que sólo 4 van en el orden de los 501 a 3, 000 habitantes, que agrupan la mayor población con 5,685 que corresponde al 72 % de la población total del valle, 2 de estas pertenecientes al municipio de Zapotitlán localizadas al este y otra al sur del valle (Mapa 12).



**Mapa 12.** Distribución territorial (por localidad) del valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010.

### 1.2.3 Procesos económicos.

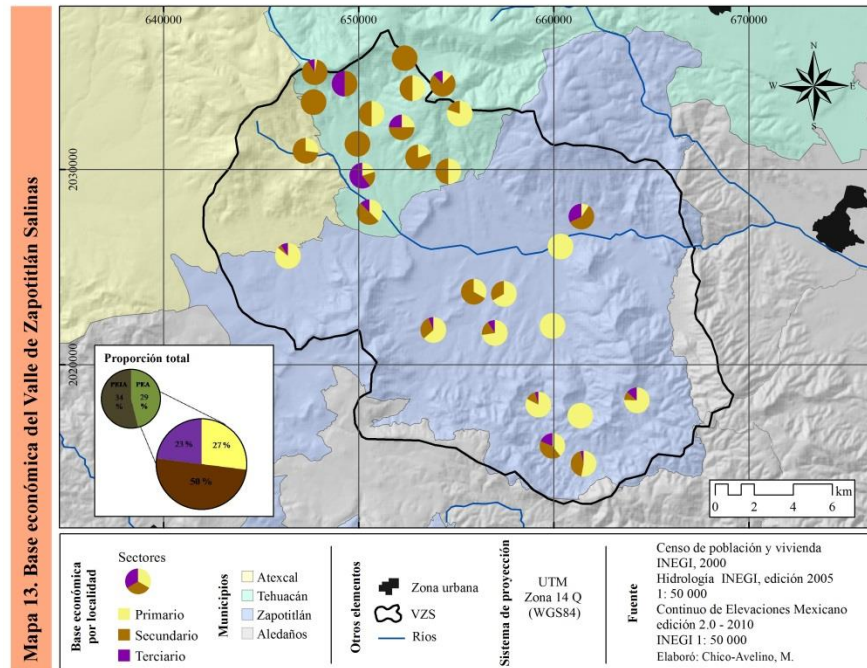
Se identifican y analizan las actividades existentes en el área, que representa la dinámica económica. Identificando el patrón de localización de las actividades económicas en el espacio.

El cálculo de la especialización económica y la identificación de las actividades básicas y no básicas son tan importantes como la identificación del nivel de integración de los sectores económicos. Esto resulta útil para identificar las cadenas de valor, las oportunidades de inversión en aquellos sectores económicos asociados a las actividades básicas (articuladoras de la economía local) (SEDESOL, 2010).

Base económica. Consiste en el análisis de las actividades económicas que constituye la razón de ser del área en cuestión, es decir, de las que depende en gran medida, el crecimiento o la decadencia productiva y poblacional.

La actividad económica a la que la población se dedica más es al sector secundario, esto para el año 2000; aquí se incluye las actividades para la transformación de las materias primas que se obtienen del sector primario en productos manufacturados para su consumo o que constituyen insumos como materia prima para otros productos, esto debido a que la localidad urbana más próxima de Tehuacán, oferta un campo laboral de tipo industrial como son fábricas, talleres e industrias maquiladoras, por lo que 1, 040 habitantes se ocupan en esta rama lo que representa el 14 % de la población total de ese mismo año, y el 51 % de la población económicamente activa. 17 de las 74 localidades reportadas para el año 2000 presentan la mayor población perteneciente a este sector, siendo la localidad de Zapotitlán

Salinas con 524 hab. aquella con mayor número de individuos que se ocupan en la rama, seguida por Los Reyes Metzontla con 168 hab., y Santa Ana Teloxtoc con 162 hab., el resto de las localidades van en el orden de los 2 a los 20 hab., la mayoría de estas ubicadas al noreste del valle en el municipio de Tehuacán (Mapa 13).



**Mapa 13.** Principales actividades de la población del Valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010.

La población que se ocupa en el sector primario es el 7 % de la población total y el 27 % del PEA, este incluye el conjunto de todas las actividades donde los recursos naturales se aprovechan tal como se obtienen de la naturaleza, ya sea para alimento o para generar materias primas, sin embargo las condiciones ambientales agrestes son un gran impedimento para la agricultura productivas en el área, lo que ha llevado a un abandono de las tierras y a estas actividades, llegando a una agricultura de traspatio. La localidad de Xochiltepec es la que mayor población se ocupa en este sector con 65 hab., seguida de la localidad de Zaragoza con 54 hab., estas se localizan en el límite sur de valle, otras localidades en las que domina las actividades primarias son Colonia San Martín y San Juan Raya, estas ubicadas al oeste de valle, sin embargo las condiciones de marginación de estas es muy alto, ya que como se ha mencionado las condiciones ambientales no favorecen a las actividades campesinas de la región (Mapa 13).

El sector en el que menor población se emplea es el terciario que se basa en una economía en donde no se producen bienes materiales en forma directa, sino que integra una diversidad de actividades de distribución y consumo para satisfacer las necesidades de la población, ya que solo el 6 % de la población total, que es el 23 % del PEA, con sólo 421 habitantes, el que se ocupa en esta rama. Siendo las localidades Zapotitlán Salinas y Los Reyes Metzontla aquellas que tiene mayor individuos pertenecientes a este sector. Sin embargo se podrían impulsar más las actividades dentro de esta rama, ya que el valle se localiza dentro de la

reserva de la biosfera de Tehuacán-Cuicatlán, y fortaleciendo a uno de los objetivos de este bajo su categoría de Área Natural Protegida (ANP) que es el de recreación en donde se podría incluir a la población femenina, contribuyendo así a la mejora en la calidad de vida de la población ofertando los servicios tanto turísticos como ecoturísticos como una alternativa de ocupación económica.

Las localidades con mayor PEA son Santa Ana Teloxtoc en el noroeste de valle, Los Reyes Metzontla al sur del valle y Zapotitlán Salinas que es la localidad con mayor número de habitantes al este del valle, ya que en conjunto estas representan más del 50 % de la población económicamente activa, con 190 hab., 405 hab. y 922 hab. respectivamente, y considerando que en estas localidades la población se ocupa en el sector secundario, la economía del valle se centra en la actividad del ramo industrial-manufacturero.

#### **1.2.4 Migración y marginación.**

El municipio de Zapotitlán, como ya se ha mencionado situado en la Mixteca, alberga comunidades de origen indígena tradicionalmente vinculadas a las actividades agrarias, artesanal y recolectora, que en las últimas décadas se han visto abocadas al abandono de su territorio. Es uno de los centros económicos más importantes dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Las actividades que ahí se realizan tienen un efecto importante en las regiones aledañas.

La región presenta un alto índice de marginación y una de las mayores tasas de migración hacia los Estados Unidos de América (Cortina y Gendrau, 2004). Una de las motivaciones es por adolecer de empleos dignos que les permitan arraigarse a su lugar de origen, mantener a su familia y tener una calidad de vida adecuada. La falta de recursos para reactivar el campo, ha llevado a muchos campesinos al abandono de las tierras o a la venta de las mismas o migrar. Esto hace que la producción agrícola sea baja. Esta situación se ha agudizado por la apertura a las importaciones de productos agrícolas de Estados Unidos, como el maíz – incluso transgénico-, como consecuencia del TLCAN.

Bajo este panorama la población ha ido desarrollando diversas actividades la mayoría de ellas aún ligadas al ámbito rural. Se ha identificado que en el área se llevan a cabo prácticas agrícolas (prácticamente escasas), ganaderas, traspatio, y recolección de vegetales comestibles, cuchama (gusano), leña y la extracción de la sal en salinas prehispánicas. Así mismo la migración hacía el área urbana más próxima que es Tehuacán ha ofrecido empleos no agrícolas de tipo industrial (maquiladoras y embotelladoras) sobre todo a la población joven, este fenómeno ha ido en aumento ya que la crisis rural tanto ambiental como económica en el área se ha intensificado. Es así como la gente subsiste de la producción artesanal de sombreros y petates de palma, y de la artesanía de ónix, pero estos productos son muy mal remunerados.

Existe una dinámica de migración regional también para actividades agrícolas a las comunidades de San Diego Chalma o Ajalpan trabajan como jornaleros agrícolas. En estas zonas el jornal está a 40 pesos diarios, que son unos 200 pesos a la semana para mantener a la familia. En el valle la paga es de 75 pesos por día, pero es muy pesado por las condiciones

ambientales que implican el trabajo desde muy temprano hasta ya casi anochecer la siembra es de chiles miahuatecos, pepinos, calabazas y otras hortalizas. En los meses en que se hace la zafra de la caña, muchos campesinos de la Sierra Negra migran a trabajar a Veracruz, a los ingenios de Motzorongo, San José de Abajo, La Margarita y Omealca.

Esta complejidad en el proceso migratorio es muy diversa. En el período entre 1930 y 1970, se da una intensa migración de tipo rural-rural; de 1940 a 1960, básicamente migración rural-urbana. Con respecto a la migración internacional son claros dos períodos: entre 1942 y 1964, con la llegada del Segundo Programa Bracero y que aunque probablemente ha disminuido en la primera región expulsora, se ha intensificado (Ibarra, 2003).

Este proceso migratorio en el municipio y toda la región mixteca se fortaleció en el período bracero, que se caracterizó por la instauración de un programa “bilateral” para la contratación temporal de trabajadores mexicanos (hombres jóvenes del medio rural) ante la necesidad de mano de obra barata para impulsar la agricultura en los Estados Unidos (Rojas, 2009).

Actualmente la migración Internacional ha destacado por una nueva diversificación hacia ciudades de Estados Unidos sobre todo a Nueva York, así como un aumento en la masificación y variación de las comunidades de origen. Actualmente hay incrementos en la migración de mujeres. Es decir se puede hablar que en el área se desarrollan tres tipos de migración: la intermunicipal-intrarregional, la interestatal y la internacional. Siendo mayormente desplazamientos temporales, que se combinan con las épocas de siembra y cosecha en las comunidades de origen (Ibarra, 2003).

El 60 % de las familias recibe remesas de sus familiares. El monto es en promedio de 200 dólares mensuales. El uso de este dinero se destina a la compra, construcción o mejora de la vivienda. Más del 70 % de las familias dedica este ingreso a la vivienda. Cabe señalar que el envío de remesas es uno de tantos ingresos que las unidades domésticas reciben (CONAPO, 2002).

En el municipio se ha impulsado la industria acuícola bajo el programa de Alianza por el Campo de SAGARPA y la Dirección General de Acuicultura de Puebla, CONAPESCA, 2007 que impulsa la producción y cultivo de especies acuícolas con potencial de desarrollo y crecimiento como son el bagre, camarón, artemia y langosta de agua dulce principalmente, y para las especies nativas o endémicas es la acamaya. Lo que ha implicado un gran cambio a las actividades de la población, ya que algunos sectores de la comunidad se han logrado insertar en el programa; sin embargo, sólo aquellos que cuentan con el recursos para hacerse de la infraestructura necesaria, lo que implica un gran costo para el productor sobre todo por las condiciones de escasas de recursos hidrológicos del área.

A pesar de estar incluida la población en diversos programas para el desarrollo rural, existe un alto nivel de marginación, ya que los proyectos presentan perfiles que requieren otro tipo de elementos biofísicos, por su enfoque de tipo ganadero, que requiere tierras para pastoreo, suelos profundos debido a que los procesos ganaderos generan compactación del suelo, alta demanda de recursos hidrológicos, tanto para el ganado como para el forraje.

Según el Índice de Marginación municipal del Consejo Nacional de Población (CONAPO), que consideran privaciones de la población en los ámbitos de la educación, vivienda y la disponibilidad de bienes y servicios esenciales para el desarrollo de sus capacidades básicas (Cuadro 1).

La situación del municipio de Zapotitlán es de un alto grado de marginación, ocupando la 695 posición en el conjunto de municipios nacionales (Ibarra, 2003). Con esto se puede observar que el municipio presenta condiciones desfavorables para el desarrollo de la población y el aumento en su calidad de vida.

**Cuadro 1.** Datos de marginación para tres municipios de Puebla y las principales localidades de Zapotitlán 2005.

Municipios	IM	Grado de marginación	Lugar en el contexto nacional
Puebla	-1.717	Muy bajo	2.388
Tehuacán	-1.033	Bajo	2.059
Zapotitlán	0.548	Alto	695
Localidades	IM	Grado de marginación	Lugar en el contexto estatal
Zapotitlán Salinas	0.788	Medio	-
Los reyes Metzontla	0.008	Alto	-
San Juan Raya	0.194	Alto	-
Dimensiones	Indicadores a nivel municipal utilizados		
Educación	Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta		
	Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa		
Vivienda	Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada		
	Porcentaje de viviendas particulares sin drenaje ni escusado		
	Porcentaje de viviendas particulares con piso de tierra		
	Porcentaje de viviendas particulares sin energía eléctrica		
Disponibilidad bienes	Porcentajes de particulares con algún nivel de hacinamiento		
	Porcentaje de viviendas particulares con refrigerador		

Fuente: CONAPO 2005

Para el año 2010, el mismo índice arrojó que si bien ha disminuido en posición en el contexto nacional, para este año la localidad de Zapotitlán Salinas presenta un grado de marginación mayor, con una categoría de alto (Cuadro 2), es decir que la marginación ha ido en aumento para las tres localidades, por lo que si la tendencia sigue bajo esta dinámica, se espera que alcancen el máximo grado de marginación, lo que pone en vulnerabilidad a la población.

**Cuadro 2.** Datos de marginación para tres municipios de Puebla y las principales localidades de Zapotitlán 2010.

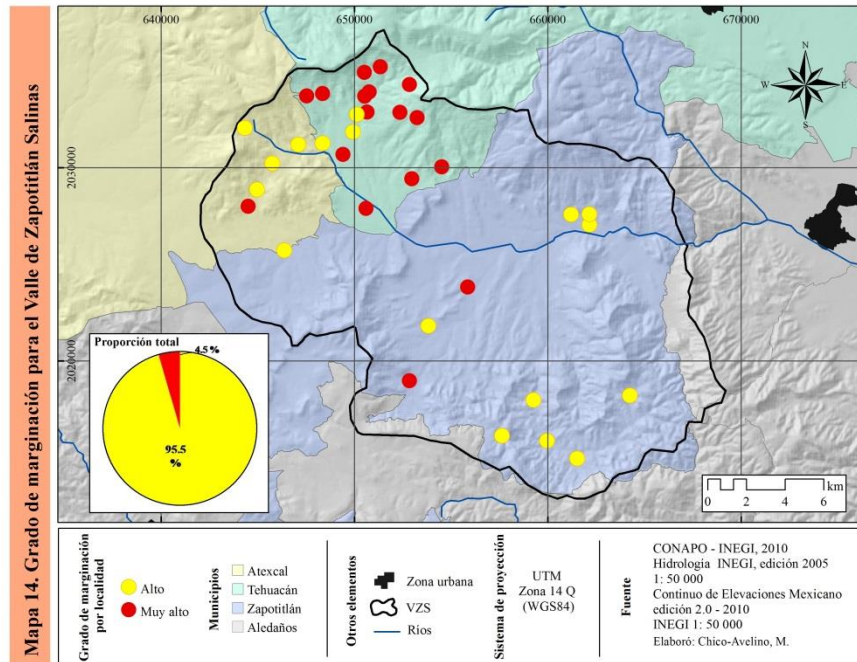
Municipios	IM	Grado de marginación	Lugar en el contexto nacional
Puebla	-1.399	Muy bajo	5,062
Tehuacán	-1.067	Medio	4,930
Zapotitlán	0.422	Alto	1,616
Localidades	IM	Grado de marginación	Lugar en el contexto estatal
Zapotitlán Salinas	0.7941	Alto	4,625
Los reyes Metzontla	0.0796	Alto	2,696
San Juan Raya	0.1402	Alto	2,881
Dimensiones	Indicadores a nivel municipal utilizados		
Educación	Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta		
	Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa		
Vivienda	Porcentaje de viviendas particulares sin agua entubada		
	Porcentaje de viviendas particulares sin drenaje ni escusado		
	Porcentaje de viviendas particulares con piso de tierra		

	Porcentaje de viviendas particulares sin energía eléctrica
	Porcentajes de particulares con algún nivel de hacinamiento
Disponibilidad bienes	Porcentaje de viviendas particulares con refrigerador

Fuente: CONAPO 2010

Para el caso del valle de Zapotitlán, se tiene que cuenta con 34, de las cuales 17 presentan un grado de marginación alto según la CONAPO, mientras que las otras 17 presentan muy alto grado de marginación, estas últimas se localizan en la porción noroeste del valle principalmente en el municipio de Tehuacán, con 14 localidades de las 17 que tienen el máximo grado de marginación.

Basado en estos datos el 95.5 % de la población total tiene un alto grado de marginación, mientras que el 4.5 % tiene un grado muy alto (Mapa 14). Sin embargo si se toma como ejemplo que para el año 2005 la localidad de Zapotitlán Salinas tenía un grado medio, se puede esperar que la marginación aumente para las localidades de la región, alcanzando una categoría superior.



**Mapa 14.** Grado de marginación de las localidades del valle de Zapotitlán Salinas. Censo de población y vivienda INEGI 2010.

La marginación de forma general en la región es muy alta, y algo que basado en los datos abordados, es el adverso panorama que indica un aumento en el grado de marginación, lo que permite identificar las localidades, que tienen carencias que padece la población estos como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y bienes. Bajo estos escenarios, la situación parece ser limitada y restringe el desarrollo rural del valle de Zapotitlán, se puede comentar que el área se enfrenta a severas dificultades de las principales, las condiciones ambientales agrestes, que impiden las prácticas agrícolas productivas, que permitan considerarlas como un modo de vida de la población, y se limita sólo a agricultura de autoconsumo, lo que ha llevado a la necesidad de adoptar como de vida

a la migración que ha ido evolucionando de movimientos rural-rural (localidades, regional), pasando a rural-urbano (regional, estatal), y llegando desde hace más de 10 años internacional, este fenómeno presenta un gran dinamismo y un incremento considerable, sobre todo por parte de los hombres, sin embargo también la población femenina ya está empezando a ser activa.

## **2.0 Delimitación de Unidades Ambientales Biofísicas (UAB).**

De acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) el ordenamiento ecológico de un territorio, es un instrumento que favorece al proceso de planeación dirigido a evaluar y administrar el uso del suelo, el manejo de los recursos naturales, mediante estrategias de sustentabilidad, y favoreciendo a la población (SEDUE, 1988).

Es así como en el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET), que tiene como objetivo la adecuada gestión territorial, se ha propuesto una regionalización ecológica, comprende unidades territoriales sintéticas que se integran a partir de los principales factores del medio biofísico: relieve, vegetación y suelo. La interacción de estos factores determina la homogeneidad relativa del territorio hacia el interior de cada unidad y la heterogeneidad con el resto de las unidades.

La regionalización ecológica es la base fundamental desde el punto de vista espacial y de diagnóstico integral, para hacer propuestas de usos y destinos de la tierra, fundamentalmente la planeación. Su objetivo principal es la delimitación de fronteras de unidades de mapeo homogéneas, con relación a los elementos del medio biofísico (López- Blanco y Villers-Ruiz, 1998).

Siguiendo este principio se obtiene como resultado la diferenciación del territorio en unidades denominadas Unidades Ambientales Biofísicas (UAB), dichas unidades pretenden orientar la toma de decisiones sobre la ubicación de las actividades productivas y los asentamientos humanos en el territorio, así como fomentar el mantenimiento de los bienes y servicios ambientales.

Las Unidades Ambientales Biofísicas (UAB) se pueden definir como unidades espaciales que permiten la identificación, para la aplicación de un abanico posibilidades de manejo sobre los recursos naturales, siendo herramientas base para la toma de decisiones durante el proceso de planeación. Estas unidades se derivan de la información biofísica y socioeconómica disponible y su dinámica está dada por las intervenciones humanas en el paisaje (Dumaski y Craswell, 1998).

Dentro de este proceso de planeación territorial, las UAB son caracterizadas y evaluadas en función de sus propiedades, con el fin de establecer sus aptitudes de uso de suelo para hacer propuestas socioeconómicas sustentables, a partir del uso del suelo y de las características de la población local (López-Blanco y Villers-Ruiz, 1998).



Por lo que a partir de este enfoque se pretende mostrar la importancia que presenta la valoración del medio físico como un factor elemental que aporta un valor amplio en el diagnóstico en el proceso de planeación del territorio, contribuyendo así a la gestión del mismo, a través de la delimitación de UAB en el área de estudio.

Para lograr la zonificación de las UAB, que guardan distintas relaciones ambientales, se aplicó el enfoque geomorfológico, el cual permite establecer relaciones estrechas a partir de ligas existentes entre los aspectos ecológicos del terreno y los procesos geomorfológicos, los criterios aplicados para la delimitación de las UAB, se basan principalmente en la identificación de formas de relieve con los diferentes parámetros ambientales como son geología, edafología, vegetación, hidrología y clima.

Basado en el POET, se realizó una primera clasificación a través de jerarquías taxonómicas, considerando 4 niveles referidos para la regionalización ecológica. Estos con un proceso ordinal, es decir de unidades generales que a su vez incluyen espacialmente a las siguientes unidades con menor jerarquía, las unidades utilizadas son: zona ecológica, provincia geológica y sistemas ecogeográfico, la clasificación se muestra en la siguiente cuadro:

**Cuadro 3.** Clasificación basada en la propuesta del POET, considerando unidades generales.

Nivel de jerarquía	Valle de Zapotitlán Salinas
Zona ecológica	Zona Árida
Provincia geológica	Mixteca
Sistema ecogeográfico	valle de Tehuacán-Cuicatlán

Debido a que en el trabajo, se ha definido al criterio geomorfológico como la directriz para la delimitación de UAB, se siguió un método analítico y sintético, el primero considerando evaluaciones geomorfológicas con propósitos generales, siendo básicos dentro de la geomorfología, incluyendo origen, estructura, geometría y relieve. Mientras que el sintético permite establecer las relaciones ambientales entre el terreno y otros factores del paisaje; toman el mapa analítico como referencia para delimitar al interior de sus unidades sus características ambientales (suelo, hidrología, vegetación-uso del suelo, clima).

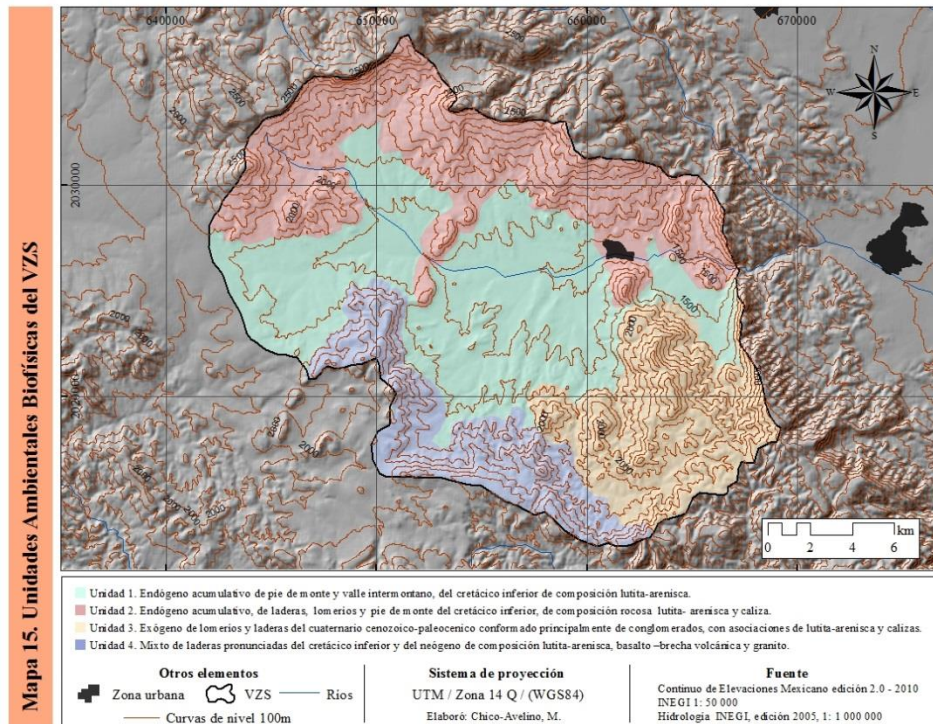
Se delimitaron espacialmente las unidades ambientales biofísicas, a partir de tres aspectos del relieve: 1) origen, 2) edad-litología y 3) clase geométrica del relieve (Rodríguez y López-Blanco, 2006). A partir de estos criterios se delimitaron 4 Unidades (Mapa 15), tres de ellas de origen sedimentario y una de origen volcánico, los criterios se describen en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Descripción de las UAB identificadas en el VZS.

Unidad	Area (ha)	Origen	Edad -litología	Geometría del relieve
Unidad 1	14, 249	Endógeno	Cretácico- lutita arenisca	Piedemonte-valle
Unidad 2	17, 591	Endógeno	Cretácico- caliza / lutita-arenisca	Lomerío-ladera
Unidad 3	2, 210	Exógeno	Cuaternario - conglomerado	Lomerío- ladera
Unidad 4	5, 591	Exógeno/ Endógeno	Neógeno- Basalto-brecha volcánica-lutita arenisca	Ladera

Basado en la clasificación con criterios del relieve antes mencionados, la UAB 1, se localiza en el centro del valle, asociado principalmente a los curso de agua (Río El Salado), representada por formas de piedemonte, valle intermontano y el fondo de valle, a su vez esta unidad, se conecta con el resto de la unidades ambientales, es la unidad con mayor actividad

acumulativa, de origen sedimentario, ya que se localiza en la partes más bajas, con rocas detríticas que resultan de la acumulación de partículas sólidas, como granos de arena o cantos rodados; cuenta con una superficie de 14, 249 ha, que representa el 36 % del total del área de estudio (Mapa 15).



**Mapa 15.** Unidades Ambientales Biofísica (AUB) del valle de Zapotitlán Salinas.

La UAB 2, que se encuentra en la porción norte y abarca unas partes centrales del VZS (Mapa 15), se asocia a las principales laderas con las mayores pendientes, que se vinculan con los lomeríos, esta unidad no presentan procesos acumulativos tan desarrollados como la unidad anterior; sin embargo es de origen sedimentario, con elementos rocosos mayoritariamente de origen químico como las calizas, que se originan a partir de la precipitación de una solución, generalmente acuosa esta unidad es la que comprenden la mayor superficie del área con el 44.4 % del territorio, lo que en ha son 17, 591.

La unidad que se encuentra representada en menor proporción es la UAB 3, comprendiendo el 5.6 % del área, es decir 2, 210 ha, esta se localiza en la parte central y este del valle, vinculada a lomeríos y a laderas con pendientes pronunciadas, de origen sedimentario con rocas detríticas de tipo conglomerados (Mapa 15).

Por último la UAB 4, es la única de origen combinado tanto con origen endógeno volcánico y exógeno sedimentario, de rocas ígneas extrusivas basálticas – volcánicas (estas resultan cuando la solidificación del magma tiene lugar sobre la superficie de la tierra). Esta unidad se localiza en la parte sur del valle asociado a la laderas internas con pendientes altas y lutita-areniscas sedimentarias (Mapa 15), la superficie que comprende es de 5, 591 ha que se traduce en el 14 % de la totalidad territorial.

## 2.1 Delimitación de geoformas en el VZS.

La mayoría de las formas del relieve son originadas por la combinación, tanto de procesos erosivos como por los desposicionales (Ruhe, 1975), así es como el relieve se relaciona genéticamente con los paisaje edáficos, generando ambientes con características únicas que permiten la génesis de suelos. Geoformas y suelos son los componentes esenciales de la epidermis de la tierra (Tricart, 1972), donde comparten la interfase entre litosfera, hidrosfera, biosfera y atmósfera, en el marco de la noosfera por ser los suelos recursos que se encuentran sujetos a uso por parte de la poblaciones humanas.

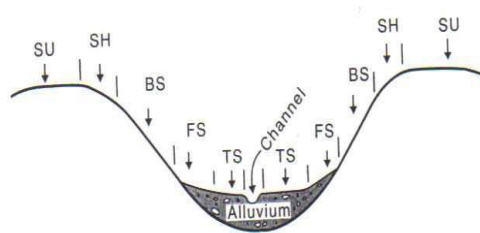
Para comprender el estado del suelo desde el contexto espacial, es necesario realizar una breve descripción geomorfológica local, ya que esto permite conocer ciertos procesos físicos. La pendiente, la forma, la longitud, la elevación interfieren en la velocidad de infiltración y escurrimiento de la precipitación, lo cual se relaciona con la erosión – acumulación. En las zonas más altas como crestas, presentan suelos más secos que las laderas, en tanto a piedemonte suelen tener mayor humedad (Siebe *et al.*, 2006).

La aplicación de la geomorfología en los programas de levantamiento de suelos a diversas escalas, desde detallada hasta gran visión, requiere establecer una taxonomía jerárquica de las geoformas, para que éstas puedan servir de marcos cartográficos en el mapeo de suelos y, adicionalmente, de marcos genéticos para interpretar la formación de suelos; incluso genéticamente, las geoformas son importantes en la formación de suelos, al saber la topografía (relieve), la naturaleza del material parental, y la edad relativa (morfoestratigrafía). Por lo tanto, el contexto geomorfológico es una herramienta particularmente idónea para la cartografía de suelos y para entender su formación (Zinck, 2012).

*Geoforma* es el concepto genérico que designa todos los tipos de formas del relieve independientemente de su origen, de su dimensión y de su nivel de abstracción, similarmente a cómo se utiliza el concepto suelo en pedología o el concepto planta en botánica (Zinck, 1988).

Existen distintos enfoques y modelos que tienen como objetivo principal la caracterización y delimitación de geomofomas en el terreno, dentro de ellos el que se asumió en el presente trabajo es el modelo de Ruhe 1975, en donde en función de los componentes geométricos, establece una diferenciación de acuerdo con la forma dominante en los perfiles longitudinal y transversal.

En su modelo define 5 formas, basadas diferencialmente en inclinación y altura se muestran en la Figura 3.



Posición en la superficie cumbral (SU)  
 Posición en el hombro de la ladera (SH)  
 Posición en ladera: cóncava, convexa, extendida, compleja, ondulada (BS)  
 Posición en piedemonte (FS)  
 Posición de valle (TS)

**Figura 3.** Modelo de unidades de relieve según el modelo de Ruhe (1975).

Otra propuesta que comprende el contexto geomorfológico y pedológico fuertemente es el de Zinck, el cual se vale de una taxonomía de las geoformas de tipo jerárquico para ser utilizada a diversos niveles categóricos de acuerdo al grado de detalle del inventario y de la cartografía de suelos (Cuadro 5). Se utiliza la palabra geoforma como término genérico a todos los niveles taxonómicos, mientras que forma de terreno se utiliza para designar el nivel inferior del sistema de clasificación. El concepto de geoforma incluye a la vez el modelado/relieve y las formaciones superficiales (Zinck, 2012).

**Cuadro 5.** Sistema taxonómico de las geoformas (Zinck, 1988).

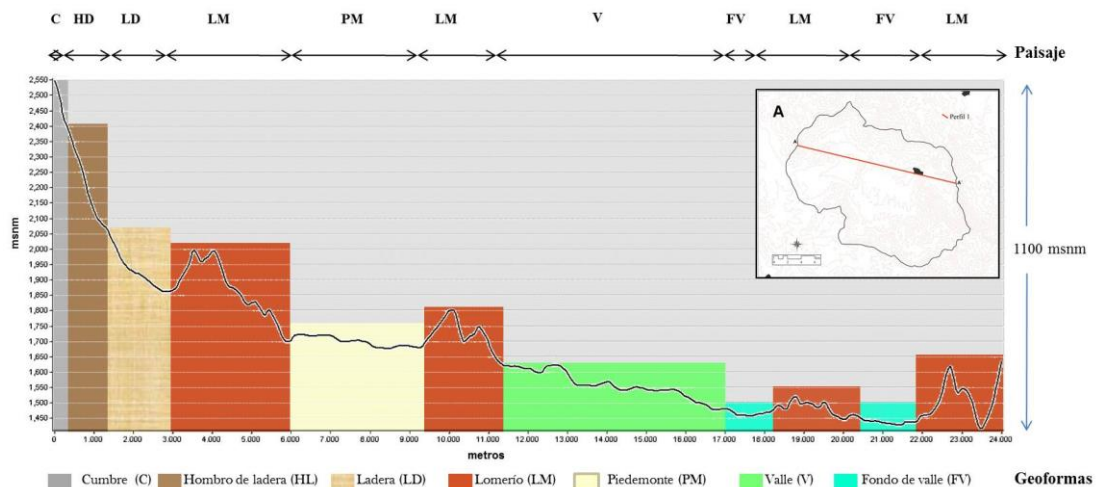
Nivel	Categoría	Concepto genérico	Definición
6	Orden	Geoestructura	Extensa porción continental caracterizada por su macro-estructura geológica (p.e. cordillera, geosinclinal, escudo)
5	Suborden	Ambiente morfo-genético	Amplio tipo de medio biofísico originado y controlado por un estilo de geodinámica interna y/o externa (p.e. estructural, deposicional, erosional, etc.)
4	Grupo	Paisaje geomorfológico	Gran porción de terreno caracterizada por sus rasgos fisiográficos; corresponde a una repetición de tipos de relieve similares o a una asociación de tipos de relieve disímiles (p.e. valle, altiplanicie, montaña, etc.)
3	Subgrupo	Relieve/modelado	Tipo de relieve originado por una determinada combinación de topografía y estructura geológica (p.e. cuesta, horst, etc.). Tipo de modelado determinado por específicas condiciones morfoclimáticas o procesos morfogenéticos (p.e. glacis, terraza, delta, etc.).
2	Familia	Litología/facies	Naturaleza petrográfica de las rocas duras (p.e. gneis, caliza, etc.) u origen/naturaleza de las formaciones no-consolidadas de cobertura (p.e. periglaciario, lacustre, aluvial, etc.)
1	Subfamilia	Forma de terreno	Tipo básico de geoforma caracterizado por una combinación única de geometría, historia y dinámica.

Además la incorporación de técnicas digitales y modelos digitales de elevación (MDE) permite mejorar los modelos de predicción (Dobos *et al.*, 2000; Hengl, 2003). La cartografía digital provee información sobre parámetros individuales de la superficie del terreno y de la capa superficial del suelo (Zinck, 2012).

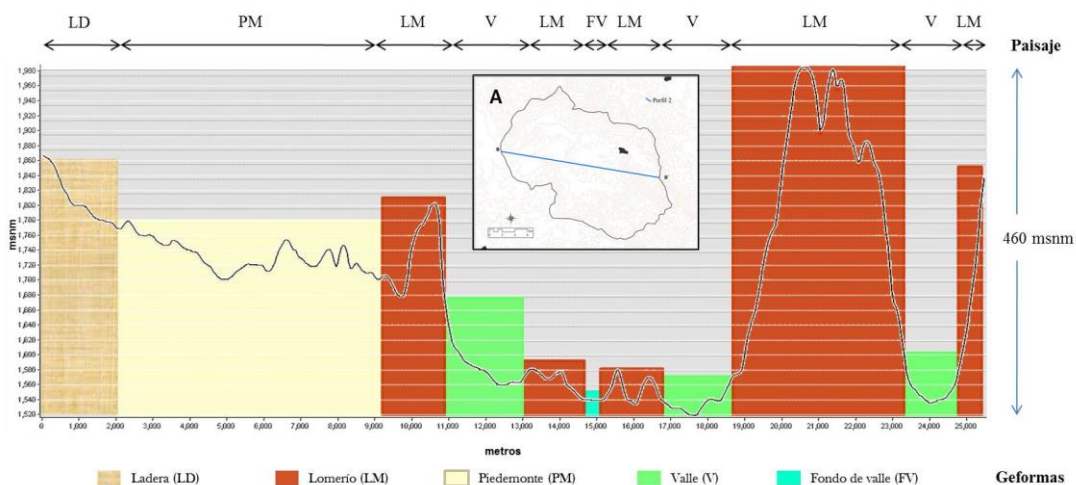
Los MDE, forman parte de la información básica de un sistema de información geomorfológica, que en la actualidad son usados comúnmente para la extracción digital de variables morfométricas del relieve, a partir de datos de altitud en formato de celdas o *raster*

(López-Blanco *et al.*, 1996). Se realizó un mapa geomorfológico basado en la delimitación de geoformas que se han desarrollado en el VZS.

Partiendo de datos topográficos base, como fue el gradiente altitudinal, la inclinación del terreno, curvas de nivel, así como de perfiles topográficos (Figura 4 y 5), que permitieron identificar las formas del terreno. Se generaron mapas de intervalos de elevaciones, pendientes, exposición, el sombreado del relieve, utilizando un tamaño de celda de 50 m, la escala de estos fue de 1: 50,000 utilizando los datos del Continuo de Elevaciones Mexicano del INEGI. Una vez identificadas las principales geoformas se realizó la fotointerpretación de fotografías aéreas escala 1: 75 000 de INEGI, con ayuda de un estereoscopio para definir los límites de cada elemento forma del relieve.



**Figura 4.** Perfil 1 derivado a partir de la elevación del corte A-A'. A) ubicación del corte dentro del VZS.



**Figura 5.** Perfil 2 derivado a partir de la elevación del corte B-B'. A) ubicación del corte dentro del VZS.

Como ya se mencionó en el capítulo 1, la elevación del área presenta un intervalo de 1,015 a 2, 926 msm, y con una pendiente de 0° en las zonas planas y de 78° a las con zonas con inclinación alta, partiendo de estos datos topográficos se realizaron 2 cortes para localizar la

mayor cantidad de geoformas basada en la clasificación de Ruhe 1975 (Figura 4 y 5). A continuación se muestran los perfiles obtenidos.

En el perfil 1 (Figura 4), se puede observar un gradiente altitudinal de 1,400 a 2,550msnm, a partir del corte A-A' se pudo identificar 7 geoformas, encontrando que las cumbres se localizan entre 2,400 y 2,550 msnm, mientras que el hombro de ladera en este caso comprende los 2,050 a 2,400 msnm, por su parte la ladera cóncava está en las elevaciones 1,850 a 2,060 msnm; para el caso de los lomeríos convexos fueron los que más se presentaron en el perfil con 4 elementos, cubriendo un intervalo que va de los 1,400 a 2,000 msnm. De igual manera se identificó un piedemonte que se encuentra en un intervalo de altitud de 20 msnm, de 1,680 a 1,700 msnm, seguido por el valle convexo con elevaciones de 1,480 a 1,640 msnm, por último el fondo de valle cóncavo con altitudes que van de los 1,420 a 1,480m.

Para el perfil 2 (Figura 5), se encontró un gradiente de 1,520 a 1,980 msnm, identificando con el corte B-B' 5 geoformas, la ladera cóncava comprendió elevaciones de 1,770 a 1,870 msnm, así como el piedemonte presentando un intervalo que va de los 1,700 a 1,770 msnm.

Por su parte el valle cóncavo se localiza de los 1,520 a 1,680 msnm, esta unidad representada en este perfil con 3 elementos, otra geoforma que cuenta con más de un elemento son los lomeríos convexos con 5, con intervalos de 1,540 a 1,980 msnm, con una pequeña porción en el perfil a una elevación de 1,540 msnm el fondo de valle.

A partir de este proceso se identificaron al menos 7 geoformas en el valle, lo cual permitió proseguir con la fotointerpretación para realizar la delimitación de cada una de geoformas. Una vez definidos los límites, se procedió a la digitalización para obtener la cartografía digital (Mapa 16).

Basado en la clasificación de Zinck, 1988 y Ruhe 1975 se hace una descripción de las geoformas presentadas en la leyenda del Mapa 16.

*Valle:* porción de terreno alargada y plana, intercalada entre dos zonas circundantes de relieve más alto (p.e. piedemonte, altiplanicie, lomerío, o montaña). Drenado por el río Salado. Es la principal confluencia de corrientes de agua. Presenta un sistema de terrazas.

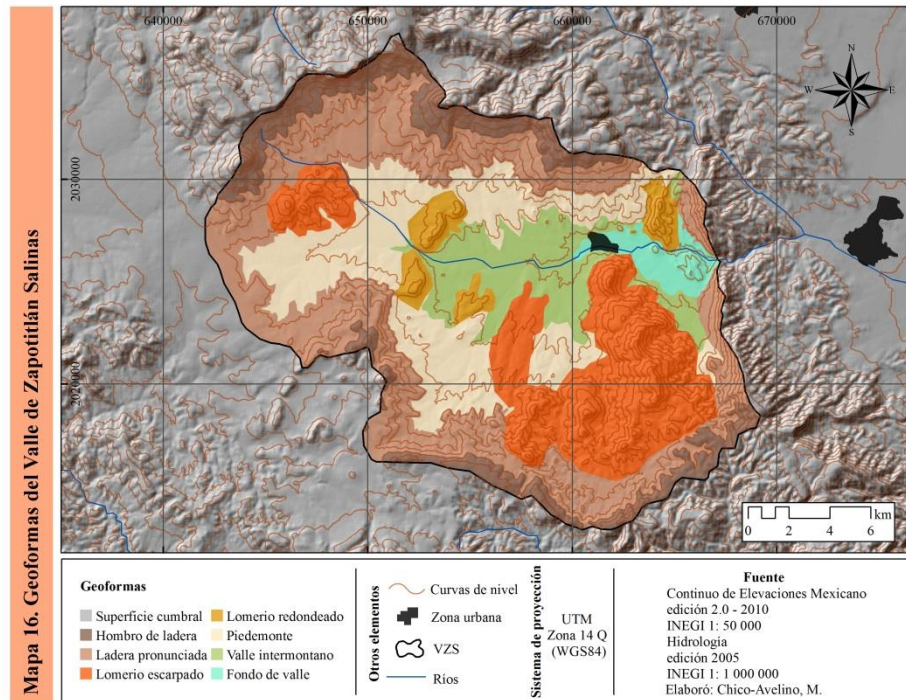
*Piedemonte:* porción de terreno inclinada al pie de unidades de paisaje más elevadas, para el caso incluyen abanicos en posición de terraza, compuesto por material detrítico transportado de las partes altas.

*Lomerío:* porción de terreno quebrada, de repetidas colinas redondas (redondeados) o lomas alargadas (escarpados), con cumbres a alturas variables, separadas por una red hidrográfica.

*Ladera:* Cada una de las pendientes, de sentido contrario, que limita lateralmente un valle o una montaña, con altos procesos de transporte de material.

*Hombro*: porción del terreno sucesiva a la ladera, en donde la pendiente disminuye generando un perfil convexo.

*Superficie cumbral*: es el punto que resulta con mayor altitud en comparación con los puntos inmediatamente adyacentes a él, asociados a las cotas más altas con pendientes fuertes.



**Mapa 16.** Delimitación de geformas del VZS.

En cuanto a la espacialidad de las geformas, la superficie cumbral se localiza al norte del área de estudio, comprendiendo tan sólo el 0.12 % del total representada con 50 ha. Por su parte el hombro de ladera se localiza en la porción norte asociadas a las cumbres y en la porción norte, estas formas prácticamente definen la delimitación del VZS en altitudes de 2,063 a 2,606 msnm asociadas a pendientes de 63 °, estas comprenden 4,462 ha, que se traduce en el 11.5 % del total.

Con elevaciones que van de los 1,439 a los 2,438 msnm y pendientes hasta 49 °, se localizan las laderas altas con una superficie de 10,992 ha, es decir el 28 % del territorio, estas se encuentran adyacentes al hombro de ladera río arriba y al piedemonte y lomeríos en la zona central del valle, ya que las laderas son formas de transición del paisaje, ya que después de estas debido a la pendientes se encuentran los sitios de erosión y conforme disminuye la inclinación se encuentran los sitios de deposición, asociados al margen del río.

Pasando a las partes medias el piedemonte cuenta con 8,024 ha, que representa el 20.2 % del área total, se encuentran vinculadas a elevaciones que van de los 1,472 a 1,802 msnm, y pendientes 0 a 34 °, las zonas con mayor pendiente se localizan al este del área y las zonas

llanas en la parte oeste, en donde se encuentran zonas importantes de acumulación, al igual que las laderas, por su parte el piedemonte, tiene un comportamiento de transformación con respecto al paisaje, ya que se asocia muy bien a las zonas de disminución de pendiente y elevación.

En la partes bajas con una diferencia de 202 msmn, se localiza el valle intermontano en la porción central del área, asociado principalmente al piedemonte y al fondo de valle, las elevaciones que comprende van de los 1, 461 a los 1, 663 msnm, con pendientes de 0 a 16°.

En esta geoforma, se presenta una fuerte relación con el curso de río Salado, en donde evidentemente se muestran altos depósitos de material que han sido aprovechados para la implementación de terrazas como se menciona en el apartado anterior.

El fondo de valle por su parte se encuentra en las partes más planas con pendientes de 0 a 12 °, asociado al valle en esta formación los procesos de acumulación, ya que es en donde por causa de la pendiente media, los materiales se depositan con mayor facilidad, incluso es en donde se muestra la mayor evidencia del curso del río, localizando en altitudes muy por debajo del resto de la geoformas con datos que van 1, 259 a 1, 511 msnm, siendo las partes más bajas del área.

Para el caso de los lomeríos se les clasificó en escarpados, aquellos que presentan un relieve abrupto asociado principalmente a las zonas de ladera, que presentan mayor pendiente y mayor elevación con datos de 1, 450 a 2, 466, y con pendiente altas que pueden llegar hasta 47 °, en una superficie de 9, 190 ha, que es el 23 % del territorio total, sin embargo la pendientes que comprende es muy alta en cada uno, se lograron identificar 3 lomeríos escarpados, localizados dos es la porción sur y otro al noroeste del VZS, todos estrechamente relacionados con laderas y con zonas de alta erosión.

Por su parte los lomeríos redondeados comprenden 1, 651 ha que se traduce en el 4 % del área, estos se encuentran en elevaciones 1, 401 a 1, 852 msnm, en pendientes de 0 a 5 °, es por eso que han clasificado como redondeados, delimitando 4, localizados en la porción central y uno en el fondo del valle, estos asociados principalmente a las zonas de acumulación.

Es importante mencionar que este vínculo de zonas de acumulación y erosión son importantes para la clasificación de las geoformas ya que pueden indicar cambios litológicos.

Por lo tanto las geoformas pueden ser indicadores de procesos erosivos (entalle de surcos o cárcavas) o movimientos en masa (terracetas, deslizamientos y lenguas de solifluxión), como hace mostrar Ruhe, 1975 en su modelo de facetas de vertiente, como se lleva la morfodinámica en función de las formas, en donde las zonas con menor pendientes y generalmente perfiles cóncavos a planos es en donde se favorece a la acumulación, mientras que las zonas con mayor inclinación son catalizadores de erosión y tránsito de materiales (Cuadro 6).



**Cuadro 6.** El modelo de facetas de vertiente (adaptado para el VZS de Ruhe, 1975).

Faceta de vertiente	Perfil topográfico	Morfodinámica
Cumbre	Plano /convexo	Ablación/erosión
Hombro	Convexo	Erosión
Ladera	Rectilíneo-inclinado	Erosión-transito
Piedemonte	Inclinado-cóncavo	Transito-acumulación
Valle	Cóncavo/ plano	Acumulación

## 2.2 Indicadores ambientales para caracterizar las UAB.

La caracterización del territorio es uno de los procesos básicos para llegar al objetivo de la planificación territorial, contribuyendo al manejo sustentable de los recursos y a la mejora de la calidad de vida de la población, para lograrlo es necesario contar con elementos que brinden información que permitan generar perspectivas de los territorios a caracterizar. Debido a la gran complejidad que el mundo real contiene, es importante considerar indicadores que favorezcan dicho análisis.

Los indicadores ambientales se definen como parámetros que proporcionan información y tendencias sobre las condiciones de los fenómenos ambientales (INE, 1997). Los cuales permiten sintetizar fenómenos y ayuda a entender la realidad compleja, por lo que, un indicador se convierte en una herramienta para conocer los cambios involucrados en los sistemas, en donde cada elemento presentan fuertes relaciones con los demás.

Por su parte algunos autores, establecen que el valor de los indicadores ambientales depende de su escala temporal, espacial ya que de esto depende la utilidad y la magnitud de funcionamiento para los tomadores de decisiones, que les permitan establecer propuestas de gestión y aprovechamiento del capital natural debido a que representan un vínculo de comunicación general (Stein y Riley, 2001).

Es importante mencionar que no deben ser considerados como una pieza de información cuantitativa, sino que describen un factor ambiental y registran sus tendencias de progreso para conseguir un objetivo establecido (CSIRO, 1998).

Como ya se ha mencionado los indicadores del relieve y la geomorfología son de gran importancia en el ambiente, debido a que es un elemento que representa el soporte dinámico de la mayoría del resto de los factores que comprenden un sistema, tanto biofísicos como socioeconómicos, asimismo, es un factor condicionante para el desarrollo, ocupación de los territorios, distribución de los recursos biológicos y de las actividades humanas.

Así el suelo considerado un elemento resultado de los procesos del relieve y el clima, es un factor esencial ya que determina las relaciones con todas las formas de vida vegetal y que derivan en relaciones tróficas, de igual forma limita el uso de suelo para actividades productivas, que permiten satisfacer las demandas de la población. Para el caso de la vegetación, como indicador contribuye al conocimiento de las condiciones ambientales del paisaje, ya que la vegetación resulta de la interacción entre los demás componentes del medio.

Considerando que la utilización del territorio establece los modos de apropiación de una población, reflejando de cierta manera el sistema de sobrevivencia de un área, se identificó que en el VZS existen dos tipos de cobertura relevantes en este tenor, como son las terrazas y las zonas con suelo desnudo, por lo que se les ubicó como un factor relevante en el proceso de erosión, es por ello que también se les incorporo a los indicadores ambientales.

De acuerdo a la importancia de los indicadores ya mencionados, se realizó la caracterización de las UAB, esto basado en la cartografía digital recopilada a escalas 1: 50, 000, 1: 75, 000 y 1: 250, 000 (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Indicadores considerados para caracterizar a las unidades ambientales biofísicas del área en estudio.

Factores	Indicadores	Fuente / Técnica
Clima	Temperatura /Precipitación	SMN- 1981-2010/ Método IDW
Relieve	Altitud/ Pendiente	Modelo Digital de Elevación -CEM2.0 INEGI 1: 50 000
Geoformas	Perfil topográfico, pendiente	Fotointerpretación Ortofotos 2013 1: 75 000 Modelo Digital de Elevación -CEM2.0 INEGI 1: 50 000
Suelo	Tipos de suelo	INEGI 2005 1: 250 000
Vegetación	Usos de suelo y vegetación Suelo desnudo - terrazas	INEGI 2005 1: 250 000 Ortofotos 1995/2013 1: 75 000

Considerando estos indicadores se caracterizaron las 4 UAB, que la mayoría presentan rocas del Cretácico, conformada por lutitas. Los tipos de relieve que predominan son valle y lomeríos. En el cuadro 9, se presentan las características para cada UAB, en función de los indicadores seleccionados. A continuación se hace la descripción.

Unidad 1. Comprende geoformas como piedemonte y valle intermontano, de zonas de acumulación, del cretácico inferior de composición lutita-arenisca. Esta unidad se encuentra a altitudes que comprenden 1, 417 a 2, 186 msnm., con pendientes que van de 0 a los 26 °, comprende un intervalo de precipitación con lluvias anuales de 397 a 554 mm. En cuanto a la temperatura presenta un efecto inverso ya que en aquellas zonas con mayor precipitación se asocian a temperaturas de 16 °, mientras que en aquellas zonas bajas en donde llueve menos la temperatura media anual alcanza los 20 °.

En tanto a las terrazas aluviales, esta es la unidad en la que se localizan la mayor cantidad de estas, asociadas principalmente al curso del río; si bien las terrazas tienen objetivos de conservación del suelo, a través del aumento de la infiltración del agua en el suelo utilizable para cultivos, disminución del volumen de escurrimiento, así como el mejoramiento de la superficie de los terrenos, acondicionándola para las labores agrícolas, pueden ser una problemática en la conservación del suelo, si no se hace un buen manejo de éstas.

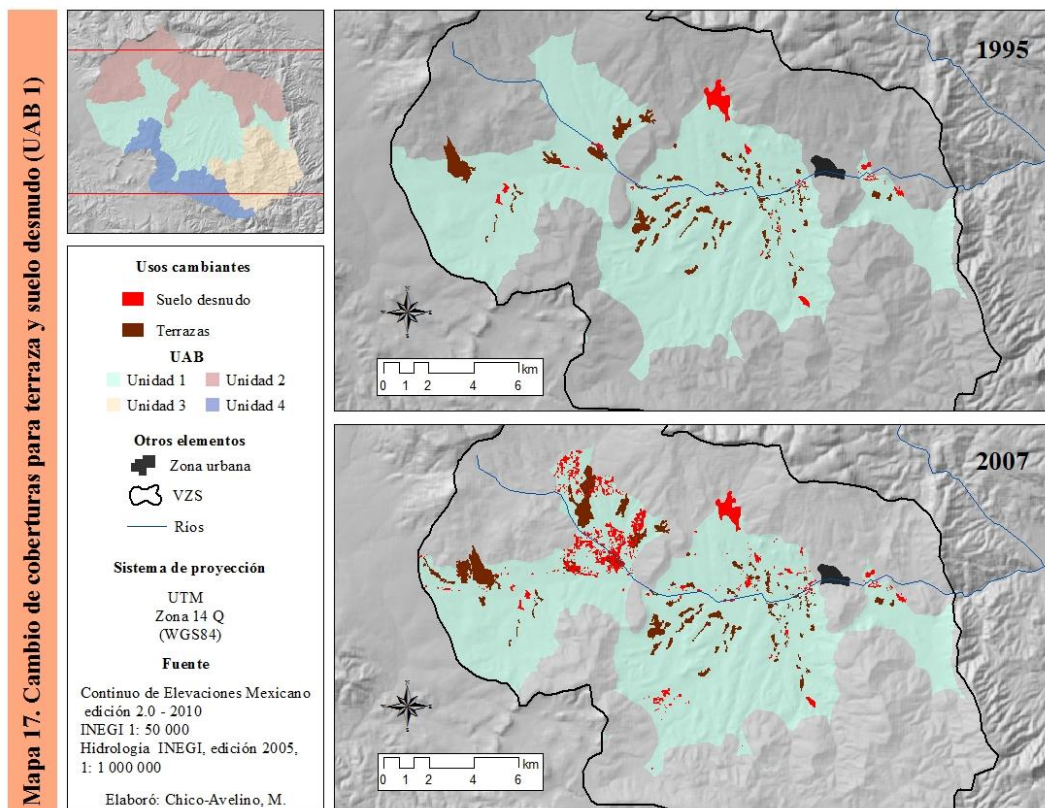
De manera particular para el VZS las condiciones tanto de precipitación como de los tipos de suelos pobres en materia orgánica que se encuentran en el valle no han permitido el desarrollo de una agricultura viable, a pesar de la utilización de terrazas, ya que se tiene que complementar con procesos de rotación de cultivos y un manejo del suelo ajustado a su capacidad de uso y un sistema completo de manejo del agua, lo que ha provocado un aumento de zonas con erosión evidente.

En el análisis de cobertura de las terrazas, se encontró que en el caso de las que se identificaron para el año 1995 comprendían una superficie de 614.31 ha y para el año 2007

incrementó a 907.78 ha, que se traduce un aumento del 47 % de cobertura, lo que involucra una mayor demanda del suelo en el área.

De igual manera se logró identificar que algunas terrazas existentes en la imagen de 1995 para el año 2007, ya no presentaban cobertura vegetal identificándose como zonas de suelo desnudo, lo que se puede atribuir al abandono de terrazas por falta de productividad, que son el resultado de las condiciones agrestes del área. Esto pone en una situación crítica a la terrazas, debido a que si sigue aumentando y cambiando su distribución, se puede llegar a graves procesos de erosión incluso irreversible como lo reportó Lopez-Galindo *et al.*, 2003, que las zonas de parcelas localizadas en las terrazas aluviales de la subcuenca del Valle de Zapotitlán Salinas, presentan procesos de encostramiento y sellamiento de la capa superficial del suelo y compactación con efectos moderados a severos.

Esto se refleja en las zonas de suelo desnudo sobre todo para el año 2007, ya que en la primera temporalidad no se presentaban esas zonas sin vegetación aparente en la UAB 1, debido a que se observaban como terrazas aluviales, por lo que el análisis reflejo que en un período de 12 años partiendo de una superficie de 0 ha para el año 1995, aumentó para el año 2007 ocupando 115.24 ha que han cambiado de terrazas a zonas sin vegetación (Mapa 17). Esto podría explicarse debido a que como menciona Lopez-Galindo *et al.*, 2003 que identifican a las terrazas aluviales como sitios de *tierras con limitantes severas* que incluyen afloramientos, tierras malas y los lugares donde el suelo ha perdido totalmente su potencial bioproductivo. Esto puede indicar el abandono de estos sitios por falta de productividad.



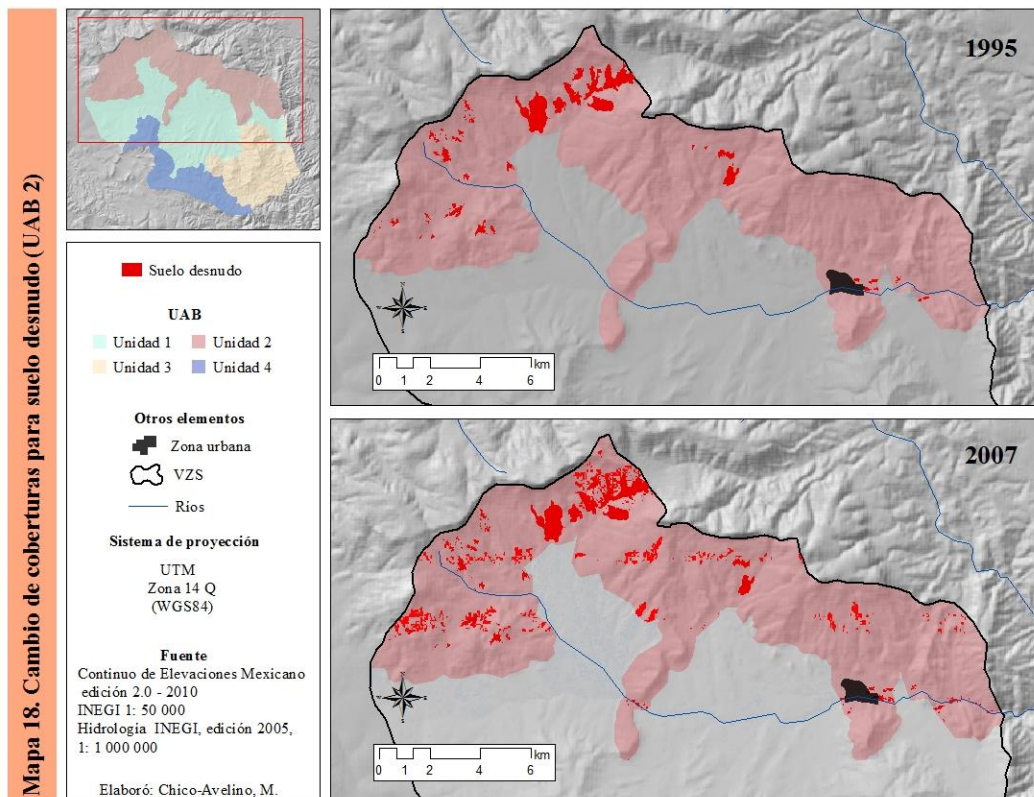
Mapa 17. Cambio de coberturas para terrazas y suelo desnudo de la UAB 1.

UAB 2. Es aquella que abarca mayor variedad de formas, como son mayoritariamente laderas, seguidas por lomeríos y zonas de piedemonte. La composición rocosa está definida por lutita- arenisca, y asociados a los lomeríos roca caliza.

El gradiente altitudinal va de los 1, 360 a 2, 645 msnm, con pendientes de 5 a los 63° de inclinación que se localizan en las zonas de laderas y lomeríos. En cuanto a los elementos climáticos como la temperatura va de 18 a 21 °C, relacionado con precipitaciones de 402 mm en las zonas más bajas en la porción este de la unidad a 496 mm, en las zonas de mayor altitud en la parte oeste.

Por su parte el sistema edafológico debido a las formas del relieve se tiene un suelo leptosol predominante en la unidad, que ha dado origen a vegetación propia de ambientes semiáridos como matorral y chaparral, además que en esta unidad es en donde se localiza la principal zona urbana que es la localidad de Zapotitlán Salinas.

Con respecto a las zonas con suelo desnudo, esta unidad (UAB 2) es en la que se concentra la mayor superficie lo cual causa interés desde la perspectiva de la pérdida de suelo y el deterioro ambiental, ya que se encontró que para el año 1995 está comprendía una cobertura de 199.56 ha, aumentando considerablemente para el año 2007 a 514.64 ha, lo que implica una importante y notoria dinámica en la cobertura, que ha llevado a procesos de erosión acelerada; esto sobre todo en la poción oeste de la unidad, lo cual se refleja en la presencia de numerosas poción sin cobertura vegetal (Mapa 18).



**Mapa 18.** Cambio de coberturas para terrazas y suelo desnudo de la UAB 2.

UAB 3. Relieve exógeno del cuaternario cenozoico-paleoceno conformado principalmente de conglomerados, con asociaciones de lutita-arenisca y calizas en las partes más bajas de lomerío y laderas, por lo que presenta pendientes de 2 a 49° de inclinación, sin embargo con elevaciones de 1, 521 msnm en las partes más planas, y a 2, 436 en las zonas más accidentadas.

En cuanto al suelo predominante, se tiene leptosol con asociaciones de rendzina. Se han desarrollado coberturas principalmente de matorral con erosión aparente y chaparral. Esto se refleja en el cálculo de la cobertura de las zonas con suelo desnudo, ya que en los datos de 1995 sólo existía un área de 15.5 ha, aumentado a 47 ha. De igual manera aumento su distribución ya que en la primera temporalidad se localizaba en la parte occidental de la unidad mientras que para el segundo año se presentaron nuevas áreas hacia el este.

Dado este panorama, se pudo identificar una dinámica de pérdida de cobertura vegetal acelerada basada en la digitalización de suelo desnudo y la evidencia de abandono de terrazas, lo que implica un conflicto de uso que deriva en procesos severos de degradación ambiental, y debido a que el recurso vulnerable es el suelo, involucra problemas sociales debido a la falta de oportunidades en el contexto agropecuario.

Así mismo las UAB presentaron una cobertura propia de sistemas semiáridos con vegetación de tipo matorral, con asociaciones de chaparral y mezquital, en el caso de usos antrópicos se presentaron los agrícolas, se encontró también que el relieve influye en ciertas propiedades edafológicas que alteran ciertos procesos de disponibilidad de nutrientes, que ponen en desventaja los sistemas productivos del área, comprometiendo la rentabilidad de los mismos, lo cual se ve reflejado en el desarrollo de suelo de tipo rendzina, leptosol y regosol, que presentan poca cantidad de materia orgánica así como poca profundidad.

En las unidades donde se practica agricultura, es decir aquellos en las zonas bajas y próximas al río, se refleja un gran aumento de las coberturas de suelo desnudo, que han llevado a altos procesos de erosión, afectando también a la principal cobertura que es el matorral. De igual manera las terrazas presentan una dinámica muy importante en el área, sobre todo en las unidades 1 y 2, llevando a proceso de pérdida de cobertura vegetal, por abandono debido a la baja productividad en los sistemas.

UAB 4. Con altitudes entre los 1,697 a 2,364 msnm, que corresponden a un terreno con pendientes de 3 a 48 °C. Presenta lluvias mínimas de 395 mm y máximas de 558 mm, reflejando temperaturas de 16 a 18 °C, mostrando un comportamiento inverso al elemento precipitación. En tanto al suelo predominante se tiene litosol con asociaciones de rendzina, se han desarrollado coberturas principalmente matorral con erosión aparente y chaparral.

Esto se refleja en el cálculo de la cobertura de las zonas con suelo desnudo, ya que en los datos de 1995 sólo existía un área de 15.5 ha, aumentado a 47 ha, de igual manera aumento su distribución ya que en la primera temporalidad se localizaba en la parte occidental de la unidad mientras que para el segundo año se presentaron nuevas áreas hacia el este.

Dado este panorama, se pudo identificar una dinámica de pérdida de cobertura vegetal acelerada basada en la digitalizaciones de suelo desnudo y la evidencia de abandono de terrazas, lo que implica un conflicto de uso que deriva en procesos severos de degradación ambiental, y debido a que el recurso vulnerable es el suelo, involucra problemas sociales debido a la falta de oportunidades en el contexto agropecuario.

### **3.0 Análisis del cambio de uso del suelo en el período 2000 – 2016 en el valle de Zapotitlán Salinas.**

La vegetación es la expresión evolutiva del conjunto de especies vegetales en un lugar y en un tiempo determinado. Se puede considerar un elemento indicador del estado o condición que tienen los ecosistemas. Su expresión espacio-temporal es la cobertura vegetal (Lambin y Turner, 2001). La cobertura y los usos del suelo constituyen el conjunto de los elementos vegetativos propios de los sistemas o introducidos, que presentan una relación estrecha con el aprovechamiento antrópico que se hace del medio biofísico de un área.

El análisis del cambio puede realizarse incluyendo dos dimensiones (espacio y tiempo), a fin de categorizar y resumir con mayor precisión la relación que guarda el hombre con su medio (Bocco *et al.*, 2009).

El cambio de cobertura y uso del suelo se define como las modificaciones o recambio en los componentes que se encuentran en un área, ya sea de manera natural o artificial (Mendoza *et al.*, 2001). Entre los factores naturales se encuentra el proceso de sucesión secundaria, las variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, etc.; mientras que entre los antropogénicos se encuentran los factores demográficos, sociales y económicos, entre otros (Burel y Baudry, 2002). La interacción de estos procesos modifica la capacidad del paisaje para cumplir con su función ecológica, social o económica (Bhagawart, 2011).

La transformación perceptible y generalizable de la vegetación o los usos antrópicos por medio de un intervalo de tiempo en determinada porción de terreno es conocida como el Análisis del Cambio en la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo (ACCUS), de esta manera se conceptualiza como una herramienta para caracterizar una región y es un elemento básico del diagnóstico para el ordenamiento territorial (Lambin y Turner, 2001).

Es importante mencionar que en el análisis de cambio de cobertura y uso del suelo, maneja de manera indistinta dos conceptos completamente diferentes. Uno se refiere a “vegetación”, la cual es la capa verde visible pero que en su definición la hacen única para cada área o región del planeta y son producto de una historia evolutiva. Otro concepto se refiere al “uso del suelo”, que se refiere a la manera de como el hombre se apropia de los recursos a través de diversas prácticas, como las agrícolas, las forestales y urbanas, entre otras, es decir del análisis se hace referencia a cobertura, sin desconocer la relación de ésta con la vegetación y usos (Jasen y DiGregorio 2002, en Gopar, 2008).

La fragmentación es la transformación del paisaje, dejando pequeños parches de vegetación original rodeados de superficie alterada. Este proceso genera «islas» de vegetación

generalmente albergan menos especies que una superficie equivalente incluida dentro de una gran extensión de vegetación ininterrumpida (Ritters *et al.*, 2000).

Por otra parte los cambios de cobertura y uso de suelo se relacionan con la desertificación, la alteración del ciclo hidrológico e incremento de la vulnerabilidad de grupos humanos, localmente, inducen el deterioro y degradación de suelos, cambios en el microclima y modificaciones en los ciclos hídricos (Reyes *et al.*, 2006).

Bajo este contexto en donde las actividades en el VZS han sido determinantes resultando en efectos como la degradación ambiental, debido a que la utilización del suelo es diversa y varía en intensidad, duración y extensión, lo que repercute en la sustentabilidad de los sistemas productivos, que disminuyen sus rendimientos. Es por eso que la evaluación y análisis de los cambios de uso del suelo como factor territorial son fundamentales para entender cómo, dónde y qué tanto se están perdiendo los recursos naturales, que contribuya a la toma de decisiones que contribuyan en los ámbitos ecológicos y sociales.

Es por eso que en el presente capítulo se hace la evaluación de los usos de suelo de dos tiempos 2000 y 2016 esto con el fin de conocer cuáles han sido los cambios en la cobertura vegetal y los procesos deterioro ambiental, para ello se identificaron las modificaciones en la vegetación y usos de suelo mediante el análisis multi-temporal.

El análisis incluyó el uso de dos escenas obtenidas por el satélite LANDSAT 7 y 8. Los datos incluyeron bandas pancromáticas de 30 m de resolución espacial y al menos 7 bandas multi-espectrales de los años 2000 y 2016. Las imágenes se obtuvieron del servidor USGS (<http://glovis.usgs.gov/>) de manera gratuita, estas se encuentran referidas al sistema UTM, Datum WGS84, Zona 14, ambas escenas se obtuvieron en el período de secas. Para cada una de las imágenes se realizó el corte de un área que comprendió 66, 047.4 ha, en el Cuadro 8 se muestran algunas especificaciones, de las escenas procesadas.

**Cuadro 8.** Características de las imágenes empleadas para la clasificación.

Fecha de adquisición	Sensor	Número de bandas	Cobertura de nubes
04/Septiembre/2000	Landsat 7 ETM	1-7	2.00 %
10/Septiembre/2016	Landsat 8 OLI	1-11	2.32 %

### 3.1 Clasificación de los tipos de vegetación y uso del suelo.

La clasificación en el contexto de la teledetección es un proceso que asigna a cada píxel de la imagen original una etiqueta correspondiente a una de las clases que, o bien predefinimos con anterioridad al proceso de clasificación o bien, por semejanza de características de los píxeles de la imagen a clasificar, se agrupan automáticamente en el proceso. La imagen resultante es un mapa en el que las variables continuas contenidas en la imagen original son agrupadas en variables discontinuas según clases (Quirós Rosado, 2009).

Las operaciones de clasificación se realizan en base a las mediciones de reflectancia que están almacenadas en cada píxel de la imagen, de manera que tendremos un vector M-

dimensional correspondiente a la medición en un determinado píxel en el espacio espectral con M bandas de información (Gorte, 1999).

Por su parte la clasificación supervisada construye una regla de decisión basada en casos conocidos para los que sabe qué decisión se ha de tomar. Por eso, en este tipo de clasificación, es necesario definir un conjunto de aprendizaje que contenga las observaciones para cada una de las clases a discriminar junto con la clase a la que se sabe con certeza que pertenece (Quirós Rosado, 2009).

En este método se especifican ejemplos de las distintas clases de interés (áreas de entrenamiento o regiones de interés), de forma que los patrones que caracterizan las diferentes clases se obtienen de estas áreas. Las áreas de entrenamiento actúa como modelo de una clase y que es necesario para estimar la función de probabilidad asociada a cada clase.

Para la clasificación se usó un método de clasificación supervisada con base a imágenes actuales de *Google Earth* de los años 2000 y 2016 y la carta de uso del INEGI (2005), de donde se obtuvo la leyenda.

Con las imágenes satelitales se realizó una composición con las bandas 7,4,2 para el 2000 y 6,5,4 para el 2016, a las cuales se les asignó una categoría de uso, para las dos imágenes se logró discriminar 7 tipos de cubiertas que fueron: matorral crasicaule, matorral rosetófilo, chaparral, agricultura de temporal, pastizal, suelo desnudo y zona urbana.

El método de clasificación que se efectuó para obtener los datos de vegetación y usos de suelo de las fechas utilizadas, fue el de máxima probabilidad. Este clasificador evalúa, en función de la teoría estadística de Bayes, la probabilidad de que un píxel dado pueda pertenecer a una categoría, y clasifica el píxel a la categoría con la mayor probabilidad de pertenecer a él. Es decir el método se considera los ND de cada categoría ajustándolos a una distribución normal, que permite describir a una categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y matriz de probabilidad. Para determinar a qué clase pertenece un determinado píxel, se calcula la probabilidad de pertenencia a todas las clases y se asignará a la clase a la cuál hayamos obtenido la máxima probabilidad.

## **3.2 Clasificación y validación para las temporalidades en el VZS.**

### **3.2.1 Validación de la clasificación para el año 2000.**

Con el objetivo de conocer la fiabilidad del método de clasificación supervisada se elaboró la matriz de confusión. La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce el acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad), mientras que las marginales suponen errores de asignación. Las columnas se ocupan por las clases de referencia (terreno) y las filas por las categorías deducidas en la clasificación. La fiabilidad global de la clasificación de la imagen del 2000 fue de 87 %, la cual se considerada aceptable y se encuentra del rango de fiabilidad reportada para diversos estudios que emplean criterios espectrales y visuales para la clasificación (Britos y Barchuk, 2008; Villegas *et al.*, 2011). Con los datos de clasificación se efectuó el índice kappa el cual resultó de 0.85, este valor



indica que la clasificación global es 85 % mejor que una clasificación no supervisada (Cuadro 9). Estos valores se obtuvieron a partir de la realización de una matriz de confusión, con el fin de validar la clasificación. Se realizó a partir de 130 datos referencia basados en imágenes de alta resolución, datos puntuales de usos de suelo de INEGI y datos de campo.

**Cuadro 9.** Matriz de confusión para la clasificación del año 2000.

Tipo	Chaparral	Matorral crasicaule	Matorral rosetófilo	Pastizal	Suelo desnudo	Agricultura temporal	Zona urbana	Fiabilidad productor (%)	Error de omisión (%)
Chaparral	25	0	0	0	0	0	0	92.59	8
M. crasicaule	0	29	2	0	0	0	0	96.66	3.22
M. rosetófilo	2	1	12	0	0	0	0	85.71	0
Pastizal	0	0	0	13	0	3	0	100	0
Suelo desnudo	0	0	0	0	14	1	1	73.68	29.41
A. temporal	0	0	0	0	5	15	0	78.94	20
Zona urbana	0	0	0	0	0	0	4	80	0
Fiabilidad usuario (%)	100	93.54	80	81.25	82.35	75	100	89.01	84.28
Error de comisión (%)	0	6.45	0	18.75	17.64	25	0	8.48	
		Fiabilidad global	87%		Índice Kappa	0.85			

Un dato importante en este proceso es el error de omisión, que representa aquellas áreas que pertenecen a una categoría basados en las referencias y no fueron incluidos en ella durante la clasificación. La clase que tuvo los errores de omisión más altos fue el suelo desnudo con un valor del 29.4 %, el cual fue confundido con agricultura de temporal, esto se puede atribuir a la dificultad de discriminar de forma adecuada la firma espectral. A su vez la agricultura se confundió con pastizal y suelo desnudo, arrojando un valor del 20 %. El chaparral presentó un dato por omisión del 8 % y el matorral crasicaule con el 3.22 %, siendo ambos clasificados como matorral rosetófilo (Cuadro 9), debido a que presentan una respuesta espectral semejante. Para el resto de los usos definidos se presentó un valor nulo por omisión, es decir el clasificador no resto superficies por confusión con otras clases.

Por el contrario el error de comisión refiere a las clases que durante la clasificación se les asignan áreas que no pertenecen a ella en la realidad. Los valores más altos de comisión los presento la agricultura con un valor de 25 %, ganando de las clases de suelo desnudo, pastizal con 18.75 % ganando áreas de uso de agrícola. Mientras que la categoría de suelo desnudo mostró un valor de 17.64 %, que fue confundido con zonas urbanas y agricultura de temporal. Por último el matorral crasicaule con un error de comisión de 6.45 %, confundido con matorral rosetófilo (Cuadro 9).

Al hablar de estos dos errores se expresan las dificultades en la modelización, los datos de omisión sugieren una definición imperfecta de la clase, mientras que los de comisión una delimitación más amplia. Por lo que el error de omisión es bajo existe una alta probabilidad de que la superficie que comprende la clase en la realidad se encuentre bien representada en el mapeo. Para el caso se obtuvo una fiabilidad del productor global 84.2 %, aquella que menor fiabilidad presentó fue la clase de suelo desnudo con un 73.6 %, mientras que el pastizal alcanzó el 100 %, es decir todos los datos de referencia coincidieron con las cubiertas de la clasificación.

Por su parte para los errores de comisión altos puede implicar una alta probabilidad de que un uso en el mapa se represente mucho más que como se encuentran en realidad. Para este caso la fiabilidad del usuario se calculó obteniendo un valor de 89 %, para las clases va de 75 – 100 %, siendo el chaparral y zona urbana aquellas que obtuvieron la mayor fiabilidad.

### 3.2.2 Validación de la clasificación para el año 2016.

En el caso de la clasificación actual (septiembre 2016) se obtuvo una fiabilidad global del 84 % lo que es considerado aceptable para imágenes de este tipo (Chuvienco, 1996), mientras que el índice kappa arrojó un valor de 0.81 %, que en la clasificación de Chávez, 2006 lo considera como un valor bueno, para la calidad del resultado.

Siguiendo con la fiabilidad se obtuvo una fiabilidad de productor del 78.7 % (Cuadro 10). Siendo el suelo desnudo aquel que presentó el valor mayor con 95 %, y la agricultura de temporal con 93.3 % y el chaparral con el 92.3 %, estos asociados a un valor de omisión bajo es decir que la probabilidad de que se encuentren adecuadamente mapeados con respecto a la realidad es alta, los datos fueron para suelo desnudo y agricultura de temporal nulo (0), siendo confundidos por pastizal y para el chaparral de 7.69 %, que fue confundido por matorral rosetófilo y pastizal.

**Cuadro 10.** Matriz de confusión para la clasificación del año 2016.

Tipo	Chaparral	Matorral crasicaule	Matorral rosetófilo	Pastizal	Suelo desnudo	A. temporal	Zona urbana	Fiabilidad productor (%)	Error de omisión (%)
Chaparral	24	2	0	0	0	0	0	92.3	7.69
M. crasicaule	0	25	2	1	0	0	0	83.33	10
M. rosetófilo	1	2	11	0	0	0	0	78.57	7.14
Pastizal	1	0	0	11	1	1	0	84.61	7.69
Suelo desnudo	0	0	0	0	19	0	0	95	0
A. temporal	0	1	1	1	0	14	2	93.33	0
Zona urbana	0	0	0	0	0	0	3	60	40
Fiabilidad usuario (%)	92.3	89.28	78.57	73.33	86.36	73.68	100	86.69	78.75
Error de comisión (%)	7.69	10.71	0	20	13.63	10.52	0	7.82	
		Fiabilidad global	84%		Índice Kappa	0.81			

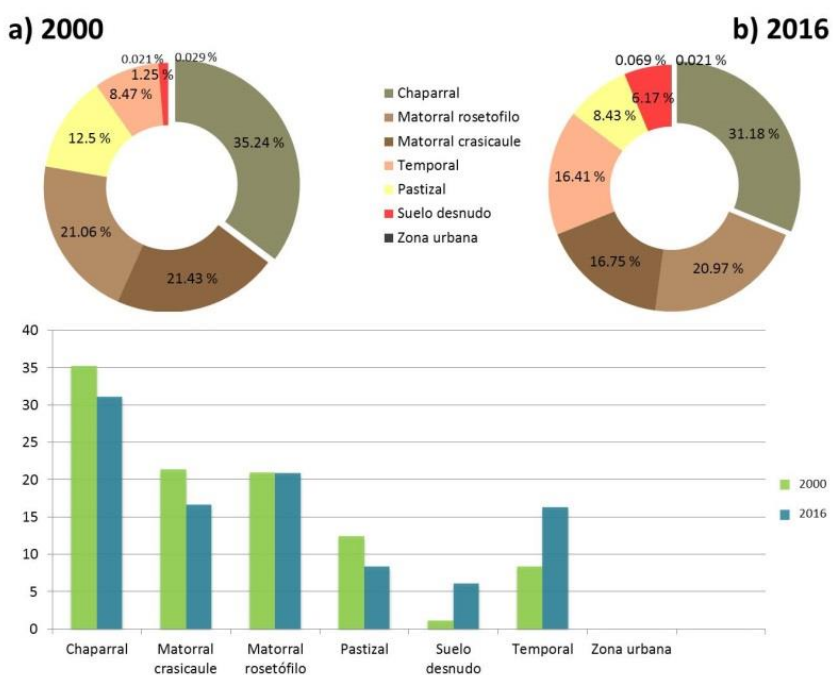
Mientras que la zonas urbana mostró un valor bajo con 60 % (Cuadro 10), lo que implica que estas últimas pueden estar representadas en menor superficie en el mapa que en realidad, ya que para el caso del valor por omisión esta clase presenta 40 % (alto), es decir el clasificador las confundió asignado las superficies comprendidas por estas a otras categorías de uso como fueron la zona urbana por agricultura de temporal.

Para el caso del error por comisión el pastizal fue aquel que obtuvo el valor más alto de 20 % (Cuadro 10), que fue confundida con suelo desnudo y agricultura de temporal, seguido del suelo desnudo con 13.63 % siendo confundido con pastizal, siendo estas clases aquellas que probablemente esté sobrestimada su distribución en el mapa con respecto a la realidad, lo

cual se relaciona a que sus valores de fiabilidad de usuario son para el caso del pastizal el más bajo con el 73.33 %, y para el suelo desnudo 89.28 %. Por su parte la zona urbana mostró un error nulo (0) con las mayor fiabilidad de usuario.

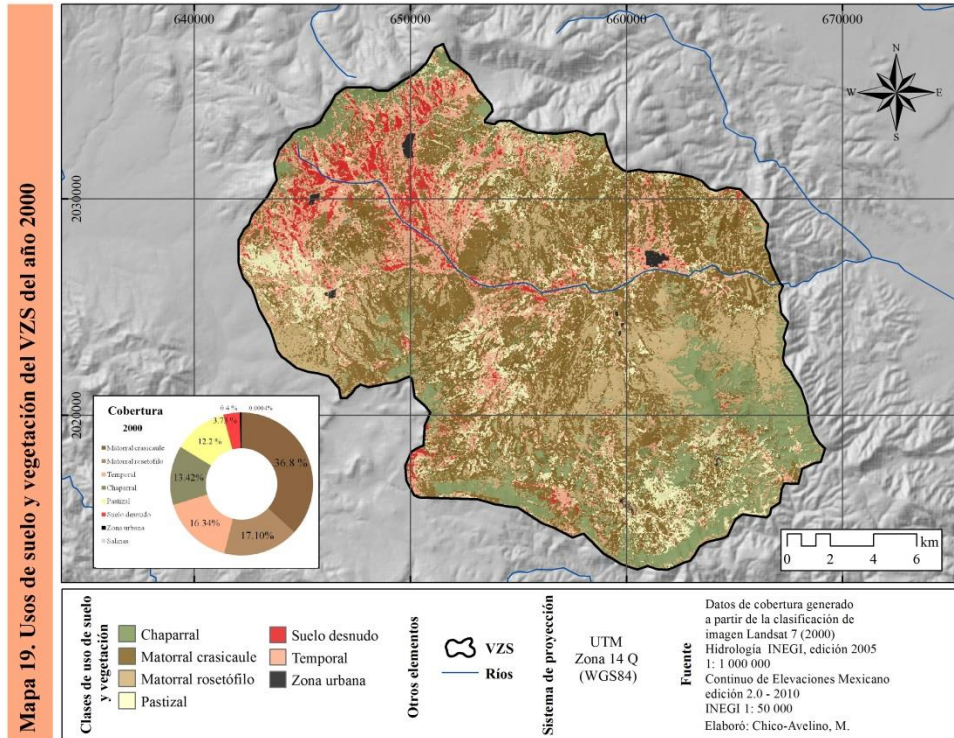
### 3.2.3 Usos de suelo y vegetación para el año 2000 en el VZS.

Basado en la clasificación para el año 2000, se tiene que la principal vegetación la presentaba el matorral crasicaule con 14, 588 ha que corresponde al 36.8% (Figura 6), es la que se encontró mayormente distribuida, sobre todo en la región central del valle, asociada a lomeríos, piedemonte y laderas. Por su parte, el matorral rosetófilo con 6,780 ha representaba el 17.1 %, localizado al oeste y principalmente al este del área, se encuentra asociada a lomeríos escarpados y laderas pronunciadas, así mismo guardan relaciones de distribución con el matorral crasicaule y con el chaparral, de igual manera con usos antrópicos como los pastizales inducidos.



**Figura 6.** Cambio en las superficies (%) entre las dos temporalidades (2000 y 2016).

A su vez el chaparral se concentraba en la parte sur y al noroeste del valle, contando para esa temporalidad con 5, 321 ha es decir el 13.42 % del total superficial, esta vegetación guarda relación con lomeríos escarpados, laderas pronunciadas y hombros de ladera, asociada principalmente a los dos tipos de Matorral, sin embargo en la parte norte asociado a la agricultura de temporal, lo que implica un borde significativo para la pérdida de este tipo de cobertura (Figura 6), mientras que en la parte sur se encontró asociado a los pastizales inducidos, siendo también un factor importante de cambio y pérdida (Mapa 19).



**Mapa 19.** Coberturas de uso de suelo y vegetación del VZS para el año 2000.

Por su parte uno de los usos de tipo antrópico mayormente distribuida fue el de tipo agrícola de temporal con una superficie que abarca el 16.34 % de la superficie total del valle, traducido en 6, 479 ha (Figura 6), localizado principalmente en la porción central y al noroeste del área, en los márgenes del cauce del río Salado, asociado al fondo de valle, valle intermontano y al piedemonte.

En la porción norte en geformas con mayor complejidad como lomeríos escarpados y laderas pronunciadas, lo que ha implicado un alto proceso de pérdida de cobertura (Figura 6), derivado del cambio por abandono como se verá en el análisis de cambio de uso, ya que estas zonas presenta pendientes arriba de 15 °, siendo además una limitante importante para la productividad de este uso (Mapa 19).

Seguido de las zonas de pastizal que también se encuentran bien representadas en el valle con el 12.2 % (Figura 6), localizada en la región sureste, asociado a lomeríos escarpados y laderas pronunciadas, en la zona central vinculado con el fondo de valle, valle y piedemonte y una pequeña porción en la parte oeste, en laderas pronunciadas, este uso se consideró un importante factor como detonante para el cambio, tanto por sustitución de vegetación nativa (matorral y chaparral) como por cambio a áreas de suelo desnudo (Figura 6), las cuales para este año representaban el 3.73 % con 1, 476 ha, se encontraron en la región central en los bordes del río y asociados a usos de temporal y pastizal principalmente, sin embargo la mayor superficie se localiza en la región norte del valle.

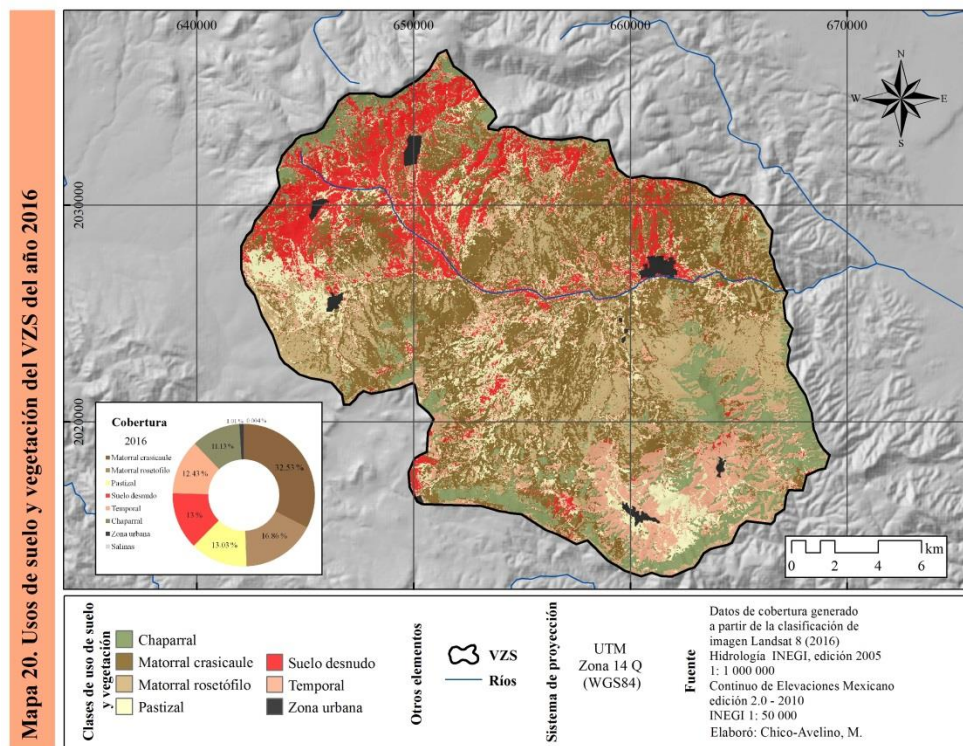
En cuanto a las zonas urbanas con solo 160 ha, comprendiendo 0.4 % distribuidas de manera heterogénea en el valle, sin embargo se logra identificar que su espacialidad se desarrolla en

función a la presencia del río, asociadas principalmente a usos de tipo agrícola y pastizal (Mapa 19; Cuadro 16).

### 3.2.4 Usos de suelo y vegetación para el año 2016 en el VZS.

Para la segunda temporalidad se encontró que es el matorral crasicaule representa la cobertura vegetal principal con el 32.53 % con 12, 899 ha (Figura 6), mientras que el matorral rosetófilo abarca un 16.86 % siendo 6, 684 ha. Por su parte, el chaparral cuenta actualmente con 4, 414 ha siendo el 11.13 %, estas coberturas espacialmente se han conservado asociadas a lomeríos, piedemonte y laderas (Mapa 20).

En tanto a los usos antrópicos, para este año se tiene que el pastizal es el más extendido en el área aumentando a 5, 170 ha que representa el 13.03 % (Figura 6), en cuanto a la localización esta aumentó hacia el oeste y al norte en donde no se localizaba en el año 2000, encontrándose en zonas de laderas pronunciadas, lo que implica un factor de riesgo a erosión debido a las pendientes altas, porque son áreas que suelen ser abandonas generando áreas con suelos desprovistos de vegetación.



Mapa 20. Coberturas de uso de suelo y vegetación del VZS para el año 2016.

Estas zonas de suelo desnudo alcanzaron para este año 5, 141 ha que equivale al 13 % de la superficie (Figura 6), aumentando sobre todo su distribución en la parte noroeste y próximas al principal núcleo urbano (Zapotitlán), en zonas de ladera y piedemonte (Figura 10), asociadas principalmente a los usos agrícolas, estas presentan una superficie de 4,928 ha que son el 12.43 %.

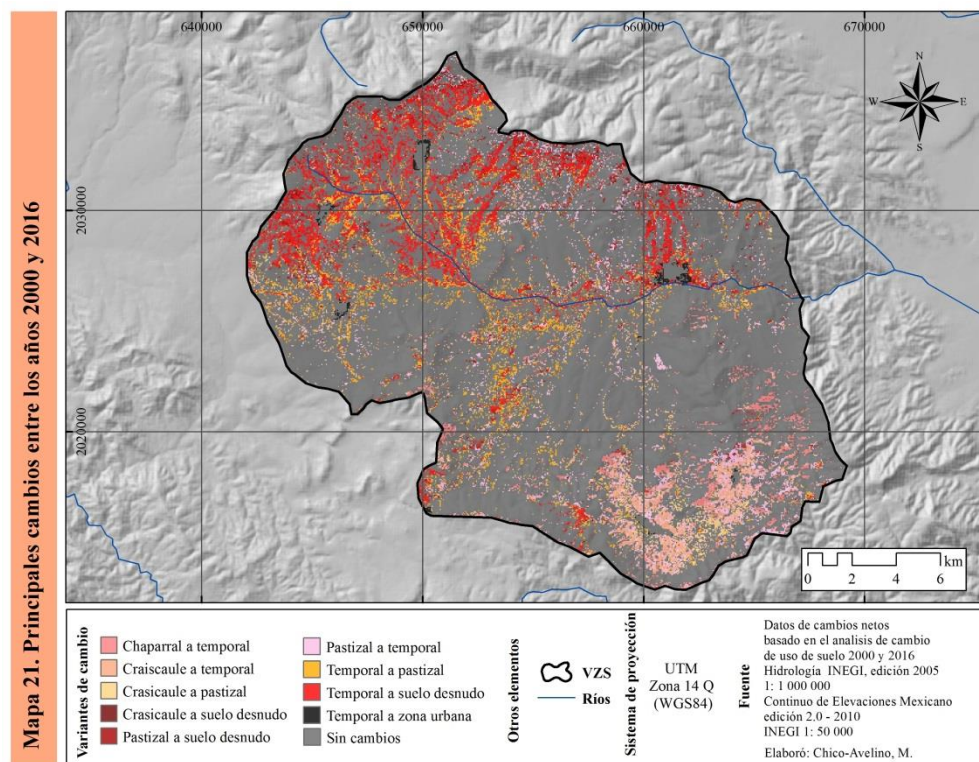
Para el uso agrícola en particular se presentó un cambio en la espacialidad ya que para este momento se distribuye en la región sureste del valle, en lomeríos escarpados, dejando de distribuirse en la porción norte, lo que implica una migración de este uso (Mapa 20), de igual manera se puede deber al abandono de las actividades agrícolas, en las zonas de altas pendientes (norte del valle) debido a la falta de productividad. Las zonas urbanas presentaron una proporción territorial del 1.01 % correspondiendo a 402.8 ha (Cuadro 17).

### 3.3 Cambio de uso de suelo en el período 2000-2016 para el VZS.

#### 3.3.1 Cambios y persistencias.

Los cambios identificados comprendieron 10,112.4 ha que implica el 25.50 % del total del área, esto coincide con lo reportado por Rosete *et al.*, 2008 que encontraron que en el período 1978-2000 el 7.7% de su superficie presentó algún cambio en la cobertura vegetal, el 92.3 % del territorio permaneció sin cambio alguno en la Península de Baja California, Estos cambios se presentaron en mayor medida en las zonas sureste con transiciones del tipo matorral crasicaule, chaparral y pastizal a usos de temporal, matorral crasicaule, y agricultura de temporal a pastizal.

Así mismo la agricultura de temporal cambio a zonas urbanas. Al norte del valle el matorral, pastizal y la agricultura transitaron hacia suelo desnudo, atribuido a desmont (Mapa 21).

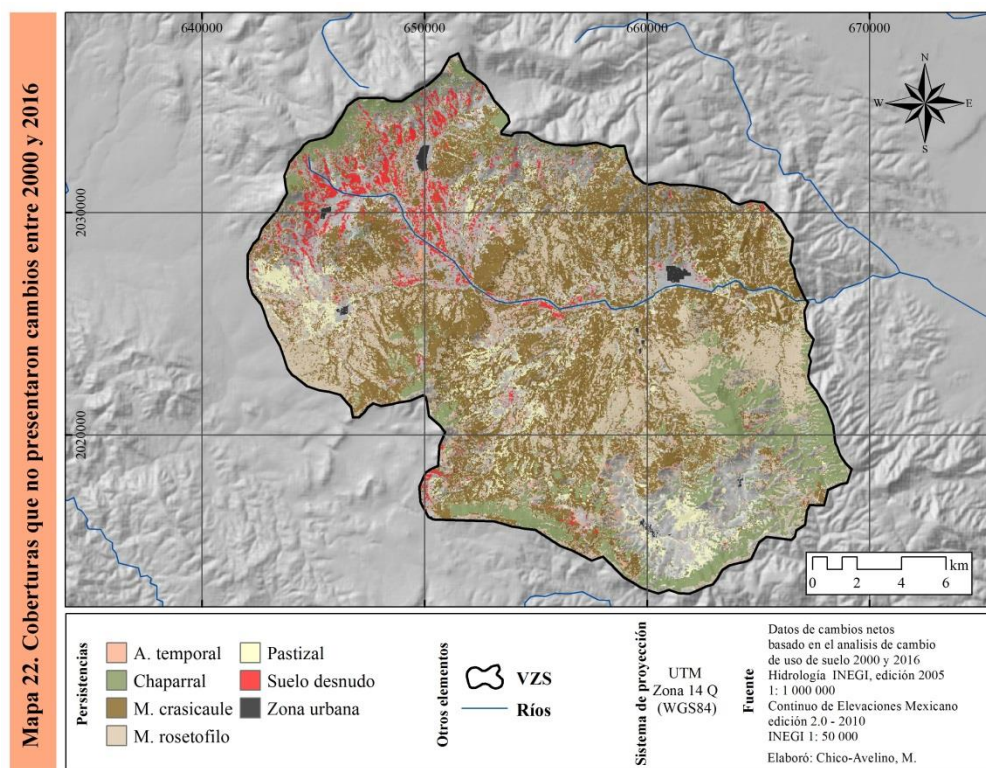


**Mapa 21.** Cambios identificados entre coberturas en el período 2000-2016.

Las principales transformaciones ocurrieron de matorral crasicaule a temporal y a pastizal, en segundo lugar rotación de cultivos con cambio de pastizal a temporal y viceversa principalmente en zonas de laderas, o aquellas que indican abandono de tierras agrícolas en las zonas centrales próximas al cauce del río sin embargo fueron menores, estos cambiaron de manera mayoritaria de temporal y pastizal a suelos desnudos (Mapa 21).

Por lo lado se observó en la mayoría de las clases persistencias es decir, no hubo cambios importantes entre los años 2000 y 2016 se encontraban ubicadas en la misma zona, siendo el 74.50 % de todo el territorio del valle que guardo el mismo uso con 29, 531.25 ha, de esta superficie aquel que presento la mayor persistencia fue el matorral crasicaule 43.68 %, seguido del matorral rosetófilo y chaparral con 22.63 % y 14.94 % respectivamente.

Mientras que aquellos con menores valor de persistencia, es decir que cambiaron de un tiempo a otro fueron suelo desnudo, temporal y pastizal con 4.47, 4.74 y 8.98 % (Mapa 22).



**Mapa 22.** Coberturas sin cambios durante el período 2000 – 2016.

La agricultura de temporal mostró la mayor pérdida en su superficie disminuyendo en un 30.42 % pasando de 6, 479 ha a 4, 508 ha. Este cambio a otras clases como suelo desnudo 3,121.29 ha, el cambio a pastizal fue de 1, 838.7 ha y 117.72 ha pasaron a zonas urbanas. (Figura 7; Cuadro 11).

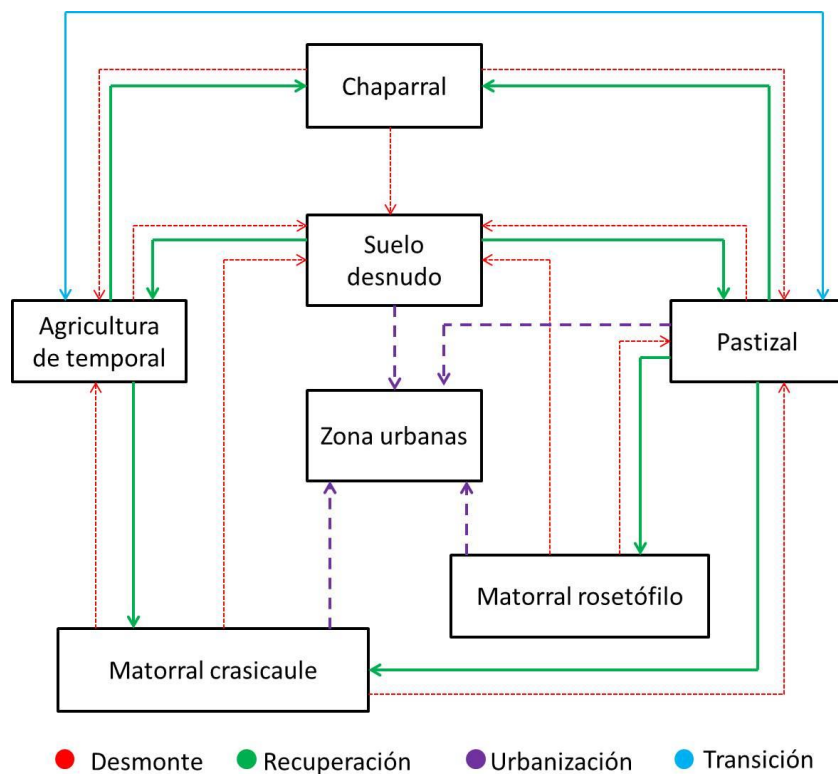


Figura 7. Cambios entre tipos de usos año 2000 y 2016.

Cuadro 11. Matriz de transición de uso de suelo y vegetación en el período 2000-2016 en el VZS.

Tipo	Chaparral (ha)	Matorral crasicaule (ha)	Matorral rosetófilo (ha)	Pastizal (ha)	Suelo desnudo (ha)	Temporal (ha)	Zona urbana (ha)	Total ha año 2000
Chaparral (ha)	4,414.68			97.11	8.55	795.69	5.4	5,321
Matorral crasicaule (ha)		12,899.52		473.85	117.27	1,064.97	31.41	14,588
Matorral rosetófilo (ha)			6,684.21	14.4	31.68	10.98	39.6	6,780
Pastizal (ha)				2,652.75	541.62	1,617.93	24.12	4,836
Suelo desnudo (ha)				92.7	1,320.48	36.54	26.73	1,476
Temporal(ha)				1,838.7	3,121.29	1,401.57	117.72	6,479
Zona Urbana (ha)		0.09		1.44	0.36	0.81	157.86	160
Total año 2016	4,414	12,899	6,684	5,170	5,141	4,508	403	39,643.65

A su vez la agricultura de temporal ganó superficie por parte de otras clases como el pastizal que le aportó 1, 617 ha, matorral crasicaule 1, 064 ha, chaparral 795.69 ha, en forma menos significativa suelo desnudo 36.54 ha, matorral rosetófilo 10.98 ha y zonas urbanas 0.81 ha (Cuadro 11); lo que indica que la agricultura de temporal es una de las clases más dinámicas, ya que aporta espacio a otros usos y también recibe de estos, en mayor o en menor medida (Figura 7). En este sentido Rosete *et al.*, 2008, report que en la Península de Baja California



los tipos de vegetación que mayor incremento en el período de 22 años fueron los asentamientos humanos, la agricultura de riego y humedad y la agricultura de temporal.

Otra clase que mostró pérdida fue el chaparral disminuyendo 17.04 % de su cobertura, ya que para el 2000 mostró 5, 321 ha y para el 2016 presentó 4, 414 ha. Las principales transiciones fueron agricultura de temporal con 795.69 ha, otro cambio fue el paso a pastizal que comprendió 97.11 ha. Para el suelo desnudo el chaparral aportó el 8.55 ha de su cobertura y 5.4 ha a zonas urbanas (Figura 7; Cuadro 11).

Por su parte el matorral crasicuale con una pérdida neta de 11.57 % pasando de 14, 588 ha a 12, 899 ha. De este porcentaje los principales cambios que esta clase tuvo fue a agricultura de temporal con 1, 064.97 ha, seguido del cambio hacia pastizal de 473.85 ha, 117.27 hacia suelo desnudo y 31.41 ha a zonas urbanas (Figura 7; Cuadro 11).

La clase que presentó menor decremento en superficie fue el matorral rosetófilo con 1.41 %. La superficie transformada para el matorral rosetófilo fue de 96.66 ha, pasando de 6, 780 ha a 6, 684 ha (Cuadro 11), pasando principalmente a zonas urbanas y a suelos desnudos con 39.6 ha y 31.68 ha respectivamente, así mismo tuvo cambio hacia pastizal y temporal con 14.4 ha y 10.98 ha (Figura 7).

Lo anterior concuerda con lo reportado por Trucios *et al.*, 2012 que encontraron que el chaparral y el matorral presentaron cambios sustantivos en un período de 10 años (1992 a 2002) en los estado de Coahuila y Durango.

Para el caso de aquellas clases con ganancias se tiene (Cuadro 11; Cuadro 12) que el suelo desnudo es aquel que presentó un aumento superior al 248.30 % pasando de 1, 476 ha a 5, 141 ha, es decir aumentaron 3, 666 ha. Esto concuerda con los reportes de Trucios *et al.*, 2012 que mencionan que las zonas de sin vegetación aparente aumentaron entre 5, 000 a 6, 000 ha. El suelo desnudo es uno de los más importantes desde el punto de vista ambiental, ya que esta clase implica una problemática severa de erosión y pérdida de suelo, reducción de bioproductividad, pérdida de vegetación nativa, entre otras (Figura 7).

Este aumento se puede atribuir al abandono de zonas agrícolas de temporal que aportó 3, 121.29 ha, seguido por el pastizal contribuyendo 541.62 ha, el matorral crasicuale contribuyó a esta cobertura 117.27 ha, mientras que el matorral rosetófilo 31.68 ha, chaparral 8.55 ha y sólo 0.36 ha las zonas urbanas (Figura 7; Cuadro 11).

Con un incremento del 151.87 % fueron las zonas urbanas que extendieron su superficie de 160 ha a 403 ha. Las zonas urbanas obtuvieron superficie principalmente de la agricultura temporal que aportó 117.72 ha, el matorral crasicuale y rosetófilo cedieron 39.6 ha y 31.41 ha, mientras que el chaparral sólo 5.4 ha. Por su parte el suelo desnudo y pastizal cedieron 26.73 ha y 24.12 ha, incrementando así los espacios urbanos dentro del área (Figura 7; Cuadro 11). En este sentido Valdez-Lazalde *et al.*, 2011 demostraron que la agricultura de temporal y en menor grado el bosque, la agricultura de riego y el pastizal cedieron área a los asentamientos humanos en la cuenca del río Metztitlán.

En tanto al pastizal este ganó un 6.9 % con respecto a su superficie inicial que comprendía 4, 836 ha alcanzando 5, 170 ha. El pastizal presentó aumento en superficie, siendo el principal aportador la agricultura de temporal con 1, 617 ha, lo cual puede deberse a los procesos de abandono de tierras, que da como resultado vegetación secundaria. Sin embargo 473. 85 ha fueron transformadas a este uso por parte del matorral crasicaule, 97.11 ha del chaparral y 14.4 ha de matorral rosetófilo, esto puede ser debido a los desmontes para uso pastoril o para preparación del terreno agrícola (Figura 7; Cuadro 11).

Mientras que algunas áreas presentaron procesos de sucesión ya que 92.7 ha que en el 2000 pertenecían a suelo desnudo pasaron a pastizal, generando cobertura vegetal (Cuadro 11), como lo menciona López-Galindo et al., 2003, que el 3.52% del área de la subcuenca de Zapotitlán Salinas, son áreas de regeneración natural, es decir tierras que fueron modificadas para diversos fines y posteriormente abandonadas, que presentan un proceso natural de sucesión secundaria (Figura 7).

Por lo que se puede mencionar que las zonas con vegetación nativa como el matorral crasicaule y el chaparral son las más vulnerables a los cambio de uso principalmente a zonas de uso urbano (Figura 7). Por su parte la agricultura de temporal presentó una pérdida significativa, lo cual se puede atribuir al abandono de tierras de cultivo, que por consiguiente generan zonas de pastizales y suelo desnudo por falta de cobertura vegetal aumentando el riesgo de erosión (Figura 7).

### **3.3.2 Tasa de cambio del 2000 al 2016 en el VZS.**

Para conocer la dinámica en la que se encuentran los usos de suelo en el área basado en el período estudiado. Se realizó el cálculo del cambio (pérdida y/o ganancia) neto de cada una de las clases durante el tiempo definido, el cual se estimó con la ecuación que se tomó de Villegas *et al.*, 2011.

$$\delta n = (S2/S1)^{1/n} - 1$$

En donde:

Utilizando los valores de S1= superficie, al inicio del período en este caso el año 2000 y S2= superficie, al final del período (2016), así considerando el total de cambio en hectáreas entre los dos tiempos (n); se obtiene la  $\delta n$ = tasa de cambio es el cambio neto total de la categoría de uso de suelo en el período evaluado (para expresar en %, multiplicar por 100).

A partir de esta propuesta se obtuvieron los siguientes datos de tasa de cambio para los tipos de uso de suelo y vegetación (Cuadro 12).

El suelo desnudo es la clase que presentó la mayor tasa de cambio con 0.7 %, aumentando una superficie de 3, 666 ha, es decir que en el tiempo referido incremento 229.12 ha por año (Cuadro 12), esto concuerda con lo reportado por Pérez, 2009 que encontró que para la Mixteca en el municipio de Asunción Nochixtlán, Oaxaca, las áreas de poca o nula vegetación incrementaron reconociéndolas como un factor alto riesgo en la pérdida de

fertilidad del suelo, este autor encontró que en un período de 9 años esta cobertura aumenta 90 has por año, este valor es muy cercano a la estimación para el VZS.

**Cuadro 12.** Tasa de cambio por tipo de uso de suelo y vegetación en el VZS.

Clase	2000 (ha)	2016 (ha)	Cambio (ha)	Años	Tasa de cambio %*	Ha /año
Chaparral	5,321	4,414	907	16	0.23	56.6
Matorral crasicaule	14,588	12,899	1,688	16	0.5	105.5
Matorral rosetófilo	6,780	6,684	95	16	0.03	5.93
Pastizal	4,836	5,170	335	16	0.17	20.93
Suelo desnudo	1,476	5,141	3,666	16	0.7	229.12
Temporal	6,479	4,508	1,970	16	0.6	123.18
Zona Urbana	160	403	244	16	0.09	15.18

\*Estimación basada en la propuesta de Villegas *et al.*, 2011.

En cuanto a los pastizales y zonas urbana presentaron una tasa de cambio del 0.17 % con un cambio de 335 ha y 0.09 % con 244 ha respectivamente, siendo estas dos aquellas que menor superficie por año aumentan (Cuadro 12), al igual que el matorral rosetófilo.

El matorral rosetófilo con una tasa de cambio de 0.03 % con 95 ha netas de cambio, con una tasa de cambio baja ya que al año pierde 5.93 ha; seguido del chaparral que presentó un cambio neto de 907 ha, obteniendo así una tasa de 0.23 %, esta clase pierde por año 56.6 ha. Mientras que el matorral crasicaule con una tasa de cambio del 0.5 % que corresponde a una pérdida anual de 105.5 ha. Otro de los usos con un valor alto de tasa de cambio de 0.6 % fue la agricultura de temporal con una pérdida total de 1, 970 ha y 123.18 ha por año, como se puede observar en el Cuadro 12, este valor de tasa de cambio coincide con el trabajo de Pérez, 2009 que reporta la agricultura con una tasa de cambio de 0.7 % en un período de 9 años con 79.7 ha por año, valores que se aproximan a la caso de VZS (Cuadro 12).

Las tasas de cambio estimadas para el VZS fueron bajas para el período 2000 al 2016, ya que los valores oscilan entre los 0.03 a 0.7 %, en esto con base en los valores reportados por Villegas *et al.*, 2011.

### **3.3.3 Cambios de cobertura de las Unidades Ambientales Biofísicas (AUB) período 2000-2016.**

Como se ha analizado ya, sustentado en el proceso metodológico empleado para el análisis de cambio del VZS se ha encontrado un cambio de zonas con vegetación nativa, hacia cobertura como agricultura y pastizal, las cuales pasan a zonas sin vegetación aparente. En este apartado se hará el análisis de las coberturas a nivel de Unidad Ambiental Biofísica (AUB), para conocer cuál de estas presenta mayor cambio y a qué tipo de cobertura deriva.

Para el caso de la UAB 1 localizada en la parte central del área, es una zona de acumulación con formas de tipo valle y piedemonte, tiene un total de cambio de 2, 975 ha, presentando un mayor cambio en superficie la agricultura de temporal, mientras que aquella cobertura que más ganancia presentó en superficie es el suelo desnudo. Por otro lado aquellas coberturas

que podrían ser menos dinámicas son el matorral rosetófilo y la zona urbana, ya que su superficie cambiante es baja (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Cambio neto en hectáreas por cobertura entre 2000 y 2016 de la UAB 1.

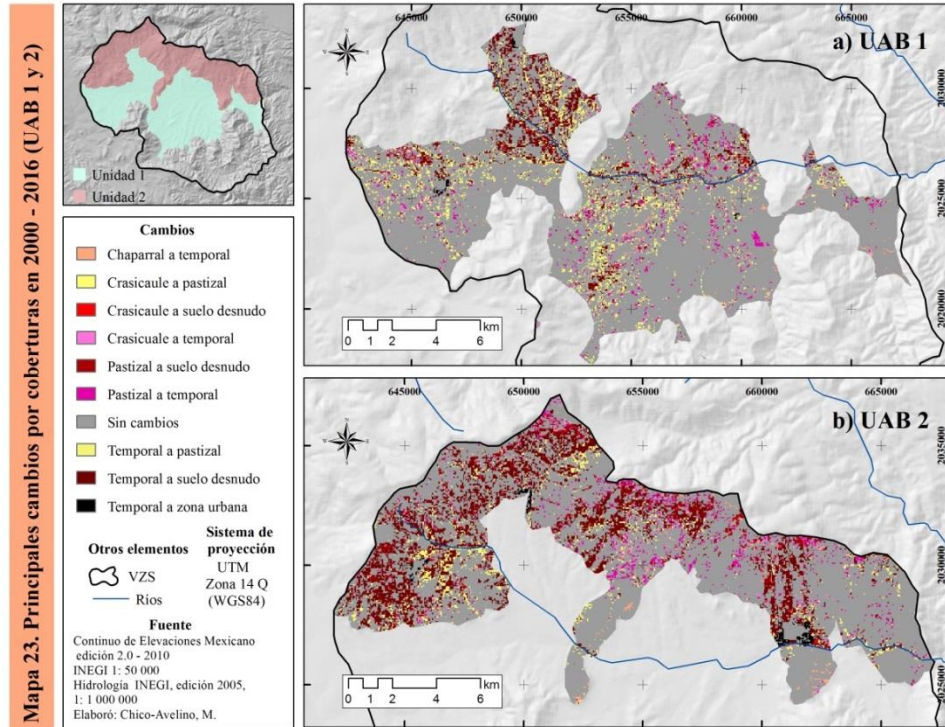
Clase	2000 / ha	2016 / ha	Cambio total en ha
Chaparral	356.67	244.98	-111.69
Matorral crasicaule	5,656.32	5,382.9	-273.42
Matorral rosetófilo	3,405.6	3,362.31	-43.29
Pastizal	1,956.87	2,703.69	746.82
Suelo desnudo	520.11	1,572.12	1052.01
Ag.Temporal	2,692.98	1,266.39	-1,426.59
Zona urbana	61.56	117.72	56.16

En cuanto a los cambios de manera particular para las coberturas se realizó el análisis de los cambios más importantes dentro de la unidad, encontrando que el 79.7 % de la superficie total de área de la UAB 1 no presentó ningún cambio en el período evaluado, por su parte el área cambiante fue el 20.3 % de la superficie total del área, siendo el cambio agricultura a pastizal la que mostró mayor superficie de cambio comprendiendo el 7.5 % y hacia suelo desnudo (6.3 %). A su vez el pastizal presento un cambio a agricultura comprendiendo un 3 % de superficie (Cuadro 14). Con esto se puede observar que existe una relación entre estas dos clases, que puede atribuirse a los períodos de rotación de cultivos.

**Cuadro 14.** Superficie de los principales cambios entre coberturas de la UAB 1.

2000	2016	Ha
Sin Cambios	Sin Cambios	11,672.19
Matorral crasicaule	Pastizal	139.23
Ag. Temporal	Pastizal	1,098.99
Matorral crasicaule	suelo desnudo	33.21
Pastizal	suelo desnudo	136.53
Ag. Temporal	suelo desnudo	918.99
Chaparral	Ag. Temporal	86.22
Matorral crasicaule	Ag. Temporal	90.27
Pastizal	Ag. Temporal	445.68
Matorral rosetófilo	Z.urbana	26.19

Los principales cambios en esta unidad se basan en transformaciones a pastizal, agrícola y suelo desnudo, en donde el cambio más evidente se da asociado a zonas de alta acumulación sobre todo cambios hacia pastizal, mientras que en la porción oeste se identifican cambios hacia suelo desnudo siendo el temporal y el matorral crasicaule el que aporta la mayor superficie (Mapa 23a), lo que puede implicar un riesgo en la pérdida del suelo si no se retoman esas áreas para cultivos o repoblamiento con vegetación nativa.



**Mapa 23.** Cambios por coberturas en la UAB 1 y 2 durante el período 2000-2016.

En el caso de la unidad localizada al norte del VZS la UAB 2, que presenta laderas, piedemonte y lomeríos se tienen cambio neto en superficie de 3, 680 ha, siendo esta unidad la que presenta el mayor cambio del resto de las unidades. Con un cambio neto del 30 % de su superficie, siendo estos cambios sobre todo en disminución de superficie para coberturas como agricultura, matorral crasicuale, pastizal y chaparral, de estas presentando la mayor pérdida la agricultura (1, 998 ha), pasando a coberturas como son suelo desnudo (2, 416 ha), y zona urbana (118 ha). Bajo este panorama Rosete *et al.*, 2008 mencionan que los tipos de vegetación que mayor disminución sufrieron en un período de 22 años en la península de Baja California fueron el matorral xerófilo, los pastizales, la agricultura de temporal y la agricultura de riego y humedad. La cobertura que menos cambios en superficie mostró, fue el matorral rosetófilo (14.9 ha) (Cuadro 15).

**Cuadro 15.** Cambio neto en hectáreas por cobertura de la UAB 2.

Clase	2000 / ha	2016 / ha	Cambio total en ha
Chaparral	1,096.83	980.01	-116.8
Matorral crasicuale	4,930.38	4,691.7	-238.7
Matorral rosetófilo	1,007.73	992.88	-14.9
Pastizal	1,289.25	1,121.58	-167.7
Suelo desnudo	878.67	3,294.9	2,416.2
Ag.Temporal	2,953.62	955.26	-1,998.4
Zona urbana	76.32	195.03	118.7

Los cambios se han presentado con mayor intensidad en la porción oeste de la unidad asociados a zonas de laderas, que confiere mayor vulnerabilidad a erosión del suelo (Mapa

23b). En cuanto a los cambios por cobertura se tiene que aquellas que más transformaciones presentaron fueron matorral crasicaule pasando a agricultura y pastizal.

Por su parte la agricultura pasó a coberturas como suelo desnudo, pastizal y zona urbana. Los cambios que más superficie representaron fueron el temporal a suelo desnudo (16.5 %) y temporal a pastizal (4.2 %). En esta unidad la superficie que no sufrió ningún cambio correspondió al 70 % de su total (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Principales cambios entre coberturas de la UAB 2.

2000	2016	Ha
Sin cambios	Sin cambios	8,544.24
Crasicaule	Pastizal	55.71
Ag. Temporal	Pastizal	512.1
Crasicaule	Suelo desnudo	68.94
Pastizal	Suelo desnudo	367.56
Ag. Temporal	Suelo desnudo	2,010.51
Chaparral	Ag. Temporal	87.93
Craiscaule	Ag. Temporal	99.45
Pastizal	Ag. Temporal	394.83
Ag. Temporal	Zona urbana	80.55

La UAB2 es en donde se observa el mayor cambio en superficie, sobre todo hacia suelo desnudo, que ganó 2, 447 ha, provenientes de cobertura de tipo matorral crasicaule, pastizal y temporal, siendo esta última la que aportó más al suelo desnudo, esto se podría atribuir al abandono de tierras de cultivo, ya que en esta zona se tienen pendientes grandes, y formas de tipo laderas y lomeríos, representando así una limitante para este tipo de usos (Mapa 23 b).

Por su parte la UAB 3 que se localiza al sureste del valle, presenta cambios totales de 1, 900 ha en los 16 años, siendo la unidad con menos cambios en cuanto a superficie se refiere. Sin embargo es en esta unidad es en la cual se presentó la mayor pérdida por parte del matorral crasicaule y del chaparral cediendo 783 ha y 488 ha respectivamente. Mientras que aquella que más superficie ha ganado es la agricultura de temporal con una superficie de 1, 490 ha (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Cambio neto en hectáreas por cobertura de la UAB 3.

Clase	2000 / ha	2016 / ha	Cambio total en ha
Chaparral	2,554.83	2,066.4	-488.43
Matorral crasicaule	1,705.14	921.24	-783.9
Matorral rosetófilo	1,581.3	1,544.67	-36.63
Pastizal	1,020.06	732.6	-287.46
Suelo desnudo	4.95	54.72	49.77
Ag. Temporal	291.33	1,781.82	1,490.49
Zona urbana	20.16	76.32	56.16

La UAB 3 la superficie que no ha presentado cambio aparente es de 5, 253 ha que corresponde al 73.4 % de su total. Sin embargo el resto que presento cambios significativos fueron las transiciones de matorral crasicaule, pastizal y chaparral a agricultura de temporal que en conjunto presentaron un cambio del 22 %, siendo el matorral el que mayor superficie de cambio aporto a la agricultura. De igual manera uno de los cambios importantes son hacia pastizal sobre todo de matorral crasicaule (Cuadro 18). Dados los cambios identificados se puede observar como en esta unidad se tienen cambios importantes que podrían indicar procesos de desmonte para usos agrícolas o ganaderos sobre todo de vegetación nativa, lo que implica una fuerte presión en la unidad, en donde se ve una estrecha relación de cambios de matorral y chaparral y a su vez el pastizal y las zonas agrícolas tienen intercambios (Mapa 24 a).

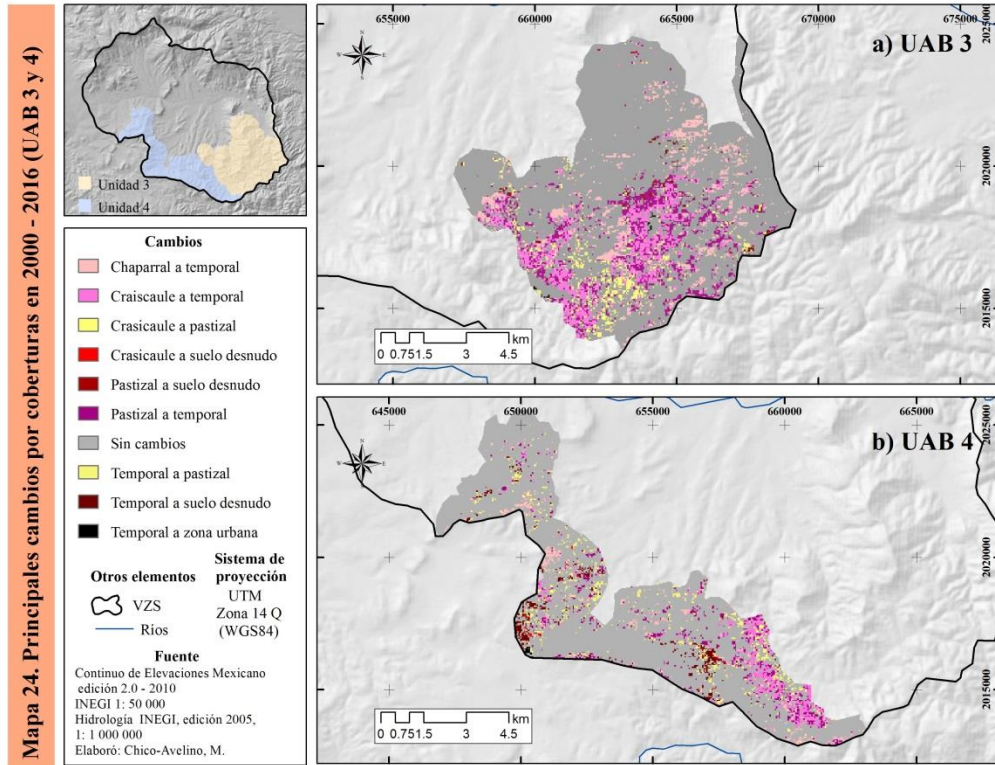
**Cuadro 18.** Principales cambios entre coberturas de la UAB 3.

2000	2016	Ha
Sin cambios	Sin cambios	5,253.12
M.crasicaule	Pastizal	194.31
Ag. Temporal	Pastizal	74.43
M.crasicaule	Suelo desnudo	2.97
Pastizal	Suelo desnudo	12.69
Ag. Temporal	Suelo desnudo	28.8
Chaparral	Ag. Temporal	443.43
M.crasicaule	Ag. Temporal	585.54
Pastizal	Ag. Temporal	552.78
Ag. Temporal	Zona urbana	6.48

La unidad 4, localizada al suroeste del valle presenta un cambio neto de 1, 085 ha, siendo el matorral crasicaule el que muestra una mayor pérdida de superficie con 393.5 ha, seguido del chaparral con 188.2 ha. Por su parte la zonas agrícolas ganaron mayor superficie con 382.41, seguido del suelo desnudo con un aumento de 143.7 ha (Cuadro 19).

**Cuadro 19.** Cambio neto en hectáreas por cobertura de la UAB 4.

Clase	2000 / ha	2016 / ha	Cambio total en ha
Chaparral	1,303.38	1,115.1	-188.28
Matorral crasicaule	2,290.77	1,897.2	-393.57
Matorral rosetófilo	768.69	766.89	-1.8
Pastizal	568.17	612.45	44.28
Suelo desnudo	71.73	215.46	143.73
Ag. Temporal	539.01	921.42	382.41
Zona urbana	2.97	16.2	13.23



**Mapa 24.** Cambios por coberturas en la UAB 3 y 4 durante el período 2000-2016.

Por lo que el 80.4 % de la unidad no presento cambio aparente, siendo de las cuatro unidades la que menor cambio refleja. En cuanto a los cambios por tipo de cobertura se identificó que al igual que la unidad anterior los cambios más destacados se dan hacia la agricultura por parte de matorral crasicale y pastizal estos cambios presentan una superficie del 4.9 % y 4.1 % respectivamente, mientras que la agricultura presenta cambios importantes hacia pastizal y hacia suelo desnudo con el 3.1 % y 2.2 % (Cuadro 20).

**Cuadro 20.** Principales cambios entre coberturas de la UAB 4.

2000	2016	Ha
Sin cambios	Sin cambios	4,448
M. crasicale	Pastizal	100
Ag. Temporal	Pastizal	172
M. crasicale	Suelo desnudo	12
Pastizal	Suelo desnudo	15
Ag. Temporal	Suelo desnudo	123
Chaparral	Ag. Temporal	152
M. crasicale	Ag. Temporal	276
Pastizal	Ag. Temporal	229
Ag. Temporal	Zona urbana	6

Lo que puede mostrar procesos de desmonte para usos primarios (agrícolas y ganaderos) y a su vez estos entran en estadios de descanso y pueden pasar a zonas de pastizal por sucesión natural o hacia suelos desnudo sobre todo en zonas con altas pendientes (laderas) en los



límites del valle. Los cambios se llevan sobre todo en la parte próxima a la UAB 3 (Mapa 24 b).

Como se ha mostrado los cambios más significativos en el área se han derivado bajo dos vertientes, por una parte los cambios derivados del desmonte por parte de los usos con mayor grado de endemismos, es decir la cobertura vegetal primaria, es removida casi en su totalidad, para dedicar el terreno a actividades agrícolas, pastizales o zonas urbanas; conocidas como coberturas antrópicas, siendo estructural y funcionalmente muy diferente a la original.

La otra vertiente en donde estas coberturas antrópicas, dadas las características ambientales de la zona son abandonadas, debido al sobrepastoreo que rebasa la capacidad de carga de los sistemas, a la intensificación de los cultivos que resultan poco productivos, ya que se introducen especies poco tolerantes a las condiciones agrestes, llevando a un proceso de pérdida de cobertura vegetal.

Esto implica un severo conflicto ambiental que ha derivado en un proceso de degradación porque al alterar está cubierta en una zona semiárida las condiciones ambientales se vuelven aún más secas y las temperaturas máximas se tornan más altas, aumentando la vulnerabilidad en el sistema ambiental hacia la erosión (pérdida de suelo) y al proceso de desertificación.

De las unidades ambientales aquella que presentó una dinámica mayor es la UAB 2, que ha aumentado su superficie de zonas sin vegetación aparente, mientras que aquella que presento cambios importantes hacia zonas de agricultura fue la UAB 4, en donde los cambios de cobertura provienen de coberturas nativas sobre todo de matorral crasicuale y chaparral.

Lo cual puede indicar una gran presión ambiental a los recursos naturales de los cuales el suelo se ve afectado, ya que debido a las características ambientales del área los suelos que se desarrollan son poco profundos, que son mayormente vulnerables a erosión ante zonas desprovistas de vegetación, que es la dinámica más observada en el análisis, de esto es importante mencionar que el análisis tiene un enfoque ambiental.

Así mismo estos cambios de la vegetación original, pueden generar una dinámica espacial en donde la cobertura quede en pequeños manchones degradados, llegando a una vegetación de tipo islas que disminuye en número de especies nativas, es decir a la fragmentación de la cobertura nativa, que favorece al desplazamiento de especies nativas por causa del efecto borde.

Aunado a esto considerando que la zona es semiárida, en donde los ritmos ecológicos son de los más lentos del mundo, efectos de las actividades humanas son más evidentes y más difíciles de revertir. Es por ello que los procesos de pérdida de cobertura presentan un mayor impacto llegando a fenómenos tan graves como la desertificación.

## 4.0 Uso potencial del suelo.

El suelo es, por definición, un recurso natural renovable. Sin embargo, su continua y extrema utilización por parte de los grupos humanos ha truncado su evolución y ha condicionado negativamente sus propiedades de renovación (FAO, 1982).

El uso potencial del suelo se define como la máxima productividad que se puede obtener de un sitio, lo que permite tomar las mejores decisiones sobre el uso de este último, garantizado una producción que oferte permanente en el tiempo bienes y servicios ecosistémicos, sin deteriorar los recursos naturales (Fournier, 1993).

El Ordenamiento Territorial define como uso potencial del suelo el uso más intensivo que puede soportar el suelo, garantizando una producción agropecuaria sostenida y una oferta permanente en el tiempo de bienes y servicios ambientales, sin deteriorar los recursos naturales.

La expresión “uso potencial del suelo” suele ser asociada con el concepto de uso óptimo o de máximo aprovechamiento de los recursos de la tierra. Otras ocasiones se confunde con el concepto de capacidad de uso, pero en realidad es un indicador de la relación entre la capacidad de uso del suelo y la aptitud que este presenta frente a cada alternativa de uso (INEGI, 2001).

Así mismo se aplica otro término para referir al uso potencial que es el de vocación de la tierra, que de acuerdo a la FAO (1985) puede definirse como la aptitud de un tipo dado de tierra para un tipo de uso específico de la tierra.

La capacidad de uso se define entonces, como la cualidad que presenta un área determinada para el establecimiento de un cierto número de tipos alternativos de utilización del suelo, esta capacidad será mayor tanto más amplia sea la gama de alternativas de uso que sean posibles de llevar en un terreno (INEGI, 2001). Esta capacidad tiene en cuenta las características y cualidades del suelo que permiten obtener homogeneidad en cuanto a clima, geomorfología, materiales parentales y suelos.

Por su parte la aptitud del suelo, es la medida del grado en que las condiciones ambientales satisfacen los requerimientos de las alternativas de uso que muestran la posibilidad de ser establecidas en un terreno, es decir, el conjunto de requisitos locacionales que debe poseer un lugar para poder acoger una determinada actividad. La aptitud varía a medida que varían los factores del medio o las clases de los factores, estableciéndose así un rango de aptitudes para una actividad en un territorio dado (Barredo, 1996).

La aptitud del suelo también puede definirse como la adaptabilidad de un área particular a un uso definido e involucra el conocimiento de las posibilidades de desarrollo económico de un área, para tomar una decisión consensuada entre los intereses de la sociedad, las oportunidades para los inversionistas y la creación de servicios e infraestructura para una región (IMADES, 2005).

## 4.1 Esquemas metodológicos de la evaluación de uso potencial del suelo.

Existen métodos variados para estimar el uso potencial, que se soportan en una estrategia metodológica que conjunta una amplia diversidad de técnicas que es la Evaluación de Tierras. Esta se puede definir como todo método para explicar o predecir el potencial del uso de la tierra. Una vez determinado este potencial, la planificación de uso de la tierra puede tener una base lógica, por lo menos con respecto a lo que puede ofrecer la tierra a los usuarios.

Este enfoque de Evaluación de Tierras definido por la FAO (1985), se orienta sobre los principios, conceptos, la estructura y los procedimientos que deben guiar la creación y aplicación de sistemas de evaluación de tierras, orientado a usos específicos. Puede utilizarse a diferentes escalas, y a una amplia gama de usos de la tierra. Es un sistema abierto, que persigue su desarrollo para casos particulares. No establece jerarquías entre los distintos usos y se basa en aptitudes y no en limitaciones. La estructura que presenta es orden, clase, subclase y unidad de aptitud de tierras.

Por su parte la clasificación mundial de los suelos del USDA (*Soil Taxonomy*), la cual fue publicada en 1960 por el *Soil Survey Staff* del *U.S. Department of Agriculture*, en donde sus unidades taxonómicas van de menor a mayor concreción son: Órdenes, Subórdenes, Grandes Grupos, Subgrupos, Familias, Series y Tipos. La caracterización y clasificación del perfil del suelo en tales unidades taxonómicas se basan en la presencia de horizontes de diagnóstico, descritos minuciosamente en cuanto a sus propiedades morfológicas, físico-químicas y microestructurales (USDA, 2006).

Este orden de clasificación de las tierras por su Capacidad de Uso (*Land Capability*), desarrollada en los EEUU en los años 1950, por el Servicio de Conservación de Suelos del USDA, es uno de los sistemas más difundidos en todo el mundo, pero exige adaptación a las condiciones locales. Este sistema consiste en agrupar unidades de terreno, basados en unidades cartográficas de suelo. Este agrupamiento se realiza principalmente para fines agrícolas. En esta clasificación, se considera a los suelos “arables” y a los “no arables”. La clasificación no considera aspectos de productividad, beneficio económico u otros factores socioeconómicos (Santé y Crecente, 2005).

En el caso de México el estudio del uso potencial del suelo (posibilidades de uso de la tierra) fue elaborado por el INEGI (2001), que tomando como base la clasificación del USDA, propuso una clasificación en donde indica las condiciones ambientales, en términos de su comportamiento como factores limitantes del uso agrícola, pecuario y/o forestal a que puede destinarse un determinado espacio geográfico.

Esta clasificación de uso potencial se basa en la utilización de tres sistemas de clasificación de las tierras que, en general, presentan enfoques similares. Estos sistemas se fundamentan en la caracterización y evaluación de las condiciones ambientales de las diferentes unidades de terreno que limitan o impiden su utilización agropecuaria y forestal.

En el Sistema de clasificación de la capacidad agrológica de la tierra de 1968-1974, se consideran ocho clases de uso, en forma jerárquica, para clasificar un terreno según su capacidad agrológica o capacidad de uso. En primera instancia, se debe considerar que los factores limitantes descritos en cada una de las ocho clases de capacidad agrológica del suelo, no necesariamente se presentan juntos; es decir, para determinar la clase a la que pertenece un terreno, se toma en cuenta el factor más restrictivo de todos los que lo afectan. Los factores limitantes que se consideran son suelo, clima, topografía, erosión, exceso de agua (inundación), salinidad y/o sodicidad (INEGI 2005).

Mientras que la segunda propuesta fue el sistema de clasificación de tierras para uso potencial (1974 -1978). A partir de 1974, el Sistema de clasificación de la capacidad agrológica de la tierra, sufrió modificaciones que aumentaron el nivel de información representada, aunque los conceptos referentes a las clases de uso de tal sistema se conservaron sin cambios fundamentales. Al igual que el primer sistema, el actual maneja ocho clases de uso. Los factores limitantes que consideran son profundidad efectiva del suelo y obstrucción (pedregosidad) que presenta, los cuales se agrupaban anteriormente en el factor suelo; también se incluyen el drenaje interno del suelo, acidez, fijación de fósforo e inestabilidad (movilidad del suelo o material del suelo móvil), además de los anteriormente definidos como topografía, erosión, exceso de agua (inundación), salinidad y/o sodicidad (INEGI 2005).

En el esquema de ordenamiento definido por la SEMARNAT se habla de la aptitud natural de un territorio como el resultado de la combinación de características y elementos ambientales representativos con relación a una acción determinada en un lugar. Lo que se pretende entonces, es determinar los lugares más aptos de acuerdo a la combinación de una serie de factores geográficos que permita, entre una variada gama de posibilidades, elegir la mejor (SEMARNAT-Gobierno del Estado de Durango, 2009).

## **4.2 Propuesta para la evaluación del uso potencial de suelo del valle de Zapotitlán Salinas.**

Como ya se ha revisado la evaluación de uso potencial es un tema muy amplio, en el sentido conceptual y metodológico; sin embargo dentro del esquema nacional tanto de INEGI como del Ordenamiento Territorial (SEMARNAT), se han desarrollado lineamientos que comprenden la base metodológica a partir de información geográfica ambiental considerando marcos de diagnóstico, para la propuesta de aptitudes del suelo.

No obstante en los documentos oficiales se habla de un uso potencial, basado en la aptitud de la tierra para usos específicos, por lo que en el presente capítulo se tiene como objetivo rector la evaluación del uso potencial del suelo basado en la aptitud del territorio considerando los elementos biofísicos.

Para ello se ha hecho una revisión de documentos oficiales en donde se manejan las consideraciones tanto de variables, requerimientos de uso, usos de suelo destino, uno de estos documentos es la guía de interpretación de la carta de uso potencial (INEGI, 2005), otro que fue de igual manera necesario revisar fue la Guía para la Interpretación de la carta edafológica (INEGI, 2004) y por último un documento de la aptitud de suelo como parte del

Ordenamiento Territorial del Estado de Durango (SEMARNAT -Gobierno del Estado de Durango, 2009), los cuales han sido ya descrito en el apartado anterior. Así mismo el documento Análisis de la aptitud territorial de Mendoza *et al.*, 2010.

Considerando así las propuestas consultadas en este estudio se ha diseñado un modelo para la evaluación del uso potencial sustentado la aptitud físico-ambiental. Sin embargo es necesario mencionar que debido a la carencia de información geográfica se han hecho modificaciones y ajustes a los métodos base. En este sentido se han establecido como primera instancia la definición de la unidad de evaluación, seguido de la definición y propuesta de requerimientos de los tipos de uso a implementar en el área, propuesta de los intervalos por características de las variables para asignación de aptitudes.

Para la definición de los tipos de uso se consideraron las características del medio físico existentes información geográfica de los factores considerados, los usos potenciales que se han propuesto son agrícola, ganadero, forestal, restauración (erosionadas) y conservación.

En el proceso de definición y propuesta de los requerimientos por uso, se realizó una evaluación de los datos con los que contaba, así como las características de las variables en el área de estudios, con el fin de saber cuáles eran los datos y como serían utilizados, generando resultados intermedios que serían la base de la evaluación de uso potencial para cada uso.

Los datos geográficos que se emplearon provienen de la caracterización del capítulo I, principalmente datos vectoriales del INEGI, datos tabulares de la CONAGUA que se procesaron para obtener datos climáticos. La escala que se trabajo fue 1: 250,000. Basado en los datos, las características propias del área y la revisión de documentos especializados se generó una propuesta de modelos y los criterios que aplicaban para el contexto del VZS, tomando restricciones, las variables y una ponderación tomada de los documentos ya mencionados, para obtener los mapas continuos de aptitudes para uso en escala 0 – 1 (en donde 0 es aptitud nula y 1 es aptitud alta) esta cartografía fue reclasificada en cuatro clases de aptitud, que se aplicaron a cada uno de los usos, estas clases se describen a continuación:

**P1. Aptitud baja.** Las limitaciones para el uso son altas, con poca productividad.

**P2. Aptitud moderada.** Limitaciones moderadamente graves, con implicaciones ambientales.

**P3. Aptitud Alta.** Sin limitaciones para el uso o menores, sin demeritar la productividad.

**N0. Nulo.** Limitaciones importantes, de índole generalmente físicas, que implicarían esfuerzos técnicos costosos.

Para el caso de las zonas con uso potencial de restauración y conservación, se aplicó un índice de vegetación normalizado (NDVI), ya que basado en datos de reflectividad, permite ubicar aquellas áreas con densidad vegetativa y aquellas sin cobertura vegetal. Así definiendo aquellas áreas con un valor menor a 0 (zonas desprovistas de vegetación) como zonas para

restauración ecológica, mientras que aquellas que tengan un valor de 1 como zonas de conservación.

#### **4.2.1 Uso potencial de restauración y conservación del valle de Zapotitlán Salinas.**

En Teledetección se ha diseñado un área de conocimiento que permite conocer la estructura de las comunidades vegetales basada en los denominados *índices de vegetación*. De forma genérica se podría definir un índice de vegetación (IV) como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda y que pretende extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de perturbaciones como las debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas (Gilabert *et al*; 1997).

El índice de vegetación (IV) ideal ha sido descrito por Jackson *et al.*, 1983 como “aquel particularmente sensible a la cubierta vegetal, insensible al brillo y color del suelo y poco afectado por la perturbación atmosférica, los factores medioambientales y las geometrías de la iluminación y de la observación”. Evidentemente este IV no existe, sin embargo las regiones roja e infrarroja del espectro son las más utilizadas para modelarlos, debido a la diferencia espectral de la vegetación y el suelo en estas regiones.

Un Índice de Vegetación puede entonces ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert *et al*; 1997). Estos índices no miden directamente productividad, pero tienen una estrecha relación con estas variables.

Los métodos para evaluar el riesgo de erosión a escala de cuenca y regional incluyen la aplicación de modelos de erosión y aproximaciones cualitativas mediante Teledetección y SIG, demostrando un gran potencial para la evaluación de la erosión a escalas regionales, incluyendo la identificación de áreas con erosión activas, así mismo la estimación de factores que la controlan, y debido a su capacidad de incorporar la componente temporal eficientizan el monitoreo del avance de la erosión a lo largo del tiempo, el análisis vegetal y sus características (Lambin, 1996; Alatorre *et al.*,2010)

##### **4.2.1.1 Zonas potenciales para conservación ecológica en el VZS.**

En el presente apartado se ha propuesto la evaluación de las zonas con uso potencial de restauración y conservación, abordado por un enfoque de análisis espectral, basado en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual es utilizado para conocer el crecimiento, cobertura de vegetación y cantidad de biomasa, debido a que el índice está relacionado con la actividad fotosintética de la vegetación. El fundamento de NDVI, se soporta en el análisis de bandas de imágenes de satélite que obtienen datos de reflectancia de la vegetación.

En donde estas categorías se orientan a regular el uso y ocupación territorial, en favor de la conservación, preservación, recuperación, manejo y control del aprovechamiento de los recursos naturales no renovables (agua, suelo, flora y fauna) y paisajísticos del municipio.

Siendo áreas que presentan una elevada fragilidad ecológica, alta susceptibilidad a procesos de alteración o sus singularidades las hacen ser ecológicamente significativas y dominantes.

El utilizar estos índices tiene su fundamento en el particular comportamiento radiométrico de la vegetación. Una cubierta vegetal en buen estado de salud, tiene una firma espectral que se caracteriza por el contraste entre la banda del rojo, la cual es absorbida en gran parte por las hojas, y el infrarrojo cercano, que es reflejada en su mayoría. Esta cualidad de la vegetación permite la realización de su valoración cualitativa.

Este índice varía en valores que van de -1 a 1, esto debido a que el rango de valores de las reflexiones espectrales se encuentra entre 0 y 1; ya que, tanto la reflectividad del infrarrojo cercano como la del rojo, son cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. La interpretación se define en función del valor 0, aquellas que se encuentran por debajo del cero y cercanas a la unidad negativa (-1) son zonas desprovistas de vegetación que pueden presentar riesgo de erosión. Mientras que aquellas áreas con valores que van hacia la unidad positiva (1) presentan vegetación con crecimiento vigoroso.

El NDVI fue calculado como (Rouse *et al.*, 1974):

$$NDVI = \frac{\rho_{IR} - \rho_R}{\rho_{IR} + \rho_R}$$

Donde  $\rho_{IR}$  es la reflectividad en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético y  $\rho_R$  es la reflectividad en la región del rojo.

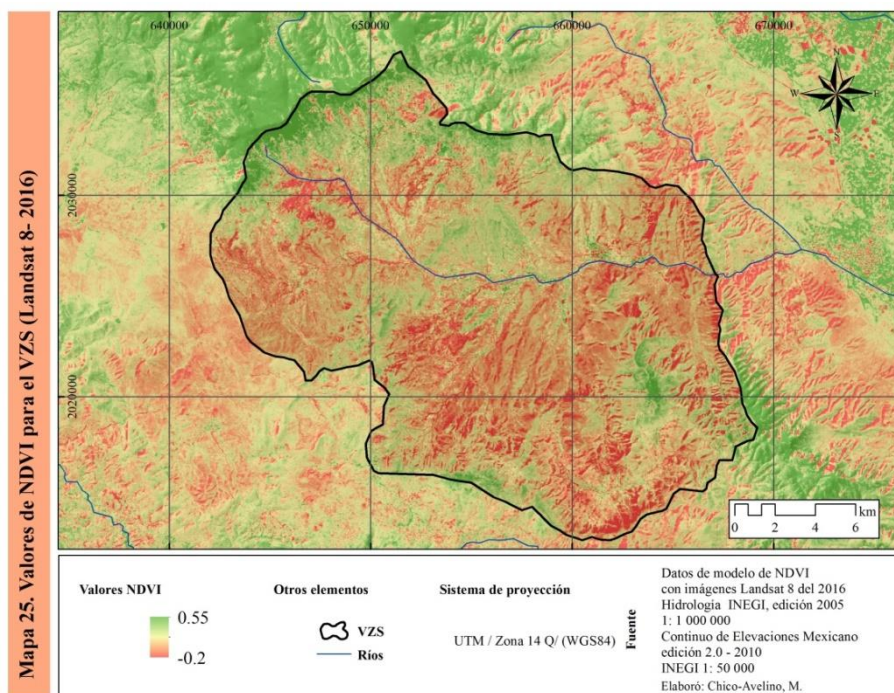
La vegetación presenta una respuesta ante la radiación solar particular, de esta forma la vegetación sana absorbe en el rojo visible (0.61 - 0.68  $\mu\text{m}$ ) efecto de la clorofila, reflejando poca energía solar con respecto a otras coberturas. A su vez presenta la mayor reflectancia de la energía solar en el infrarrojo cercano (0.78 - 0.89  $\mu\text{m}$ ), esto a razón de las moléculas de agua que almacenan las hojas. En contraste, la vegetación senescente refleja más en el rojo visible y absorbe en el rojo cercano, con respuesta invertida con respecto a la vegetación sana.

Este método normaliza la respuesta del infrarrojo sobre el rojo en la vegetación, resultado de la división de entre la suma de ambas respuestas, es por eso que valores -1 equivalen vegetación nula y 1 vegetación sana.

El NDVI posee un gran valor en términos ecológicos, ya que ha sido utilizado en numerosos estudios para estimar biomasa vegetal, cultivos, producción primaria, especies dominantes, índice de área foliar (LAI), fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (e.j. Gopal *et al.*, 1999; Senay and Elliott, 2000; Telesca *et al.*, 2006).

Una vez aplicado el modelo del NDVI, se obtuvieron valores que van de -0.2 como mínimo y un máximo de 0.55 para el área de estudio (Mapa 25), los valores bajos se vinculan al tipo de vegetación, debido a que los elementos vegetativos que se encuentran en la región, corresponden a ambientes semiáridos de tipo matorral, chaparral. Sin embargo a pesar de esa consideración se tiene que las coberturas que generan mayor impacto son las zonas de

cultivos agrícolas y áreas sin vegetación aparente que muestran los valores más bajos, lo que puede indicar que estos usos generan un efecto importante en la calidad de la vegetación.



**Mapa 25.** Resultado del análisis NDVI con insumos Landsat 8- 2016.

A pesar de que los valores no fueron tan altos como el modelo teórico lo expone se han considerado los datos máximos de 0.55 como las zonas con mayor complejidad y estructura vegetal por lo tanto son zonas que se han propuesto como áreas de importancia ambiental en donde se sugiere implementar procesos intensos de conservación ya que proveen de servicios ambientales, con el objetivo de preservar estas áreas en la zona ya que siendo un ambiente semiárido los procesos ecológicos de restauración son mayormente lentos (Mapa 25).

Mientras que aquellas celdas que presentan los valores mínimos de -0.2, se han considerado como zonas que requieren de restauración debido a que indican áreas con vegetación escasa o estructura pobre en esta caso zonas sin vegetación aparente, zonas de pastizales y agricultura, esto debido a las características propias de estas actividades que implican procesos de desmonte y como ya se ha revisado de altos procesos de erosión y de desertificación como secuencia de esto (Mapa 25). Se consideró que los valores cercanos a 0 implican una calidad baja, mientras que los valores cercanos a 0.55 indican una calidad alta.

Debido a los valores resultados del modelo NDVI, se realizó una clasificación en dos categorías con la finalidad de identificar las zonas que se delimitaron como áreas de conservación y como zonas de restauración y aquellas zonas que no entran en estos usos no se incluyen en la clasificación.



Por lo que se definieron los siguientes intervalos para cada una de los usos destino:

**Cuadro 21.** Clasificación de valores del Índice de Vegetación Normalizada.

Intervalo NDVI	Nueva categoría	Aptitud de uso
-0.2 - 0.05	1	Restauración
0.26 - 0.55	2	Conservación

Basado en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2012) y la guía para el desarrollo local sustentable (SEDESOL, 2011) se han definido como áreas de conservación aquellas zonas que presenten una mayor estructura (en este caso basado en valores altos de NDVI), que lleve a la permanencia de los elementos naturales con el fin de asegurar a las generaciones presentes y futuras un ambiente propicio para su desarrollo y la de los recursos naturales.

Estas zonas de conservación además aportan un alto potencial de servicios ecosistémicos, siendo una directriz económica local para la conservación de los recursos naturales. Propiciando la participación social en su manejo, vigilancia, incluyendo la investigación científica y el estudio de los ecosistemas, permitiendo generar su rescate y divulgación.

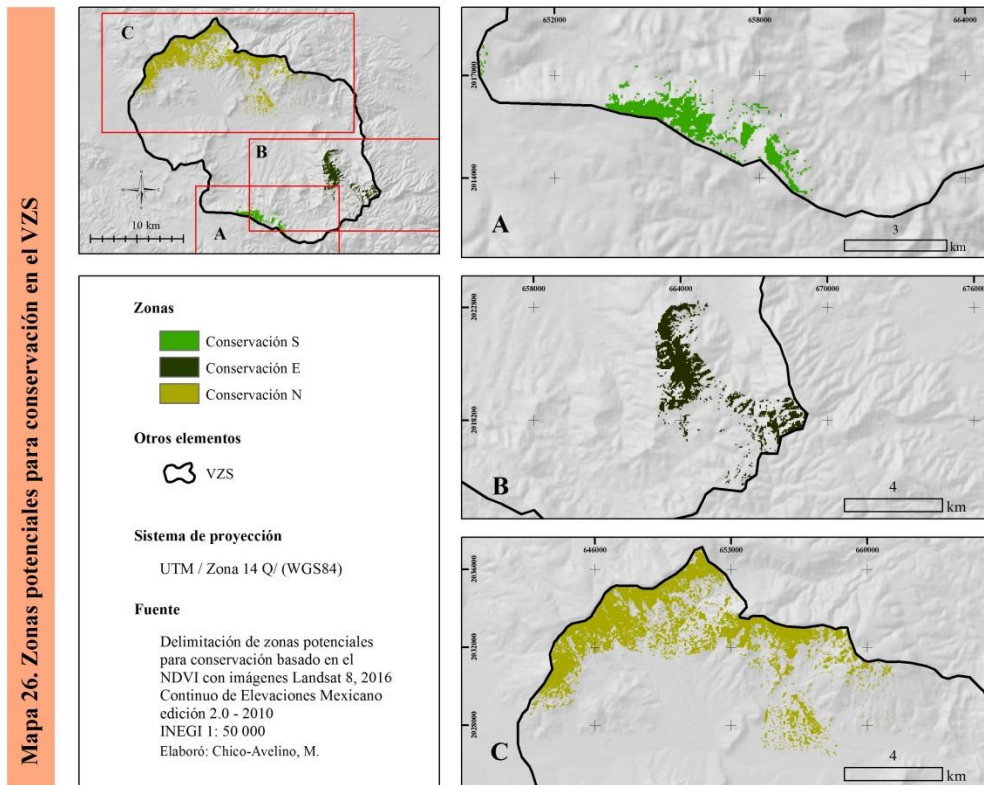
Los servicios ecosistémicos, son los beneficios tangibles e intangibles, generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, y para que proporcionen beneficios al ser humano (LGEEPA, 2012).

En estas áreas se caracteriza y se limita el impacto de las actividades antropogénicas que vayan en detrimento en estas áreas ya que proveen de la mayor parte de servicios ecosistémicos, aunado a evitar problemáticas ambientales tales como incendios provocados, tala clandestina, saqueo de especies, asentamientos humanos irregulares, entre otros, sobre todo encaminar hacia la conservación de los ecosistemas existentes.

Así mismo estas áreas podrían considerar para incorporarse a actividades de manejo de fauna silvestre como las UMAs (Unidades de Manejo Ambiental) o el turismo ecológico, las cuales gestiona SEMARNAT y la SECTUR. En caso de territorio comunitario existen modalidades de áreas de conservación como las reservas comunitarias, la cual depende de los propietarios de las zonas, por consiguiente estas son manejadas por la población, tomando en cuenta los Principios de la Ley General de Vida Silvestre y considerando además sus propias normativas (SEDESOL, 2011).

Estas áreas de conservación se han posicionado como una medida importante en donde se mitigan aquellas actividades antrópicas reduciendo el impacto sobre los ecosistemas, todo con la finalidad de favorecer el mantenimiento de la biodiversidad, incorporando a la población en el proceso con el fin de que estas áreas no queden desvinculadas con su entorno, generando interacciones y beneficios hacia las personas que viven dentro de ellas (SEDESOL, 2011). Estas zonas de conservación se localizan en la porción sur y al norte del

área del valle, comprendiendo un total de 3, 947.50 ha, las cuales se encuentran asociadas a pendientes altas y vegetación de tipo matorral y chaparral (Mapa 26).



**Mapa 26.** Delimitación de zonas con uso potencial para conservación en el VZS.

Se lograron identificar tres zonas importantes con aptitud para conservación una se localiza al sur del valle, cuenta con 303.75 ha (Mapa 26 a), asociada a coberturas de tipo chaparral, matorral, agricultura de temporal y pastizales; se encuentra dentro de la UAB 4 de laderas pronunciadas, con pendientes moderadas a altas ( $>7^\circ$ ), si bien en esta zona en particular no se muestran cambios significativos se tienen algunas transiciones hacia suelo desnudo, pastizal y agrícola. Por lo que es de gran importancia destinar esta zona a conservación, ya que presentan cierta estabilidad y estructura que permite mantener los elementos del sistema natural, aunado a que se identificaron cambios hacia usos antrópicos que podrían generar un alto impacto ya que se encuentran en zonas con alta vulnerabilidad a erosión debido a las pendientes y suelos pocos profundos.

La segunda zona se localiza en la porción este, cuenta con 633.25 ha (Mapa 26 b), asociada principalmente a lomeríos escarpados; coberturas chaparral y matorral, siendo de las coberturas nativas con mayor estructura, esta zona se localiza en la UAB 3, con pendientes altas  $>15^\circ$ , en esta zona se observaron cambios menores hacia usos agrícolas y de pastizal en el período 2000-2016, es por tal motivo que establecer el manejo como área de conservación permitiría mantener la cobertura de vegetación nativa.

En el caso de la tercera zona con aptitud para conservación, comprende 2, 977.25 ha y abarca la parte norte del valle (Mapa 26 c), se encuentra asociada principalmente a coberturas

nativas como matorral y chaparral. Se encuentra en pendientes que van de los 18 – 78 ° de inclinación asociadas a formas de laderas y cumbres, siendo no aptas para usos agrícolas o pastoriles. Sin embargo también se observó cierta relación con suelo sin vegetación aparente, de igual forma en el análisis de cambio se identificaron transformaciones sobre todo hacia pastizal y suelo desnudo. Lo cual implica que en esta zona en donde los elementos vegetativos que presentan la mayor estructura tanto en cobertura como en endemismos presentan alta vulnerabilidad a los cambios de uso, que como ya se ha analizado se muestra una tendencia en el área de transformaciones a usos agrícolas – pastizales y derivan en suelos sin vegetación, que involucran pérdida de vegetación, especies, suelo y servicios ambientales, entre otros.

Debido al enfoque en que se sustenta el análisis NDVI se puede concluir que la vegetación del VZS presenta una calidad media, debido a los bajos valores para las zonas con datos cercanos a 1 que el modelo define como aquellas con vegetación sana ya que pueden presentar la mayor estructura asociado a la biomasa y la continuidad de los elementos vegetativos, como las zonas que se han delimitado con aptitud para conservación. Lo cuál en el ámbito ambiental es de gran importancia ya que por procesos como la fragmentación se pueden perder o derivar en islas con alto impacto.

Así mismo se han realizado algunos estudios que han permitido establecer relaciones importantes entre las zonas de mayor conservación con altos valores de NDVI, proyectando así, a ciertas porciones del territorio como zonas potenciales para pago de servicios ambientales (Achkar s.f.), los cuales se soportan en la valoración de la naturaleza a través de su capacidad de proveer de bienes y servicios constituyendo una importante articulación entre las ciencias ambientales, la economía y la población inmersa en el territorio, por lo que se sugiere que se realicen estudios en el área que permitan conocer el funcionamiento de los sistemas ambientales que permitan la conceptualización de los servicios ecosistémicos como un recurso valuado por la población con el fin de incluirlo a un mercado para beneficio de la misma.

#### **4.2.1.2 Zonas potenciales para restauración ecológica en el VZS.**

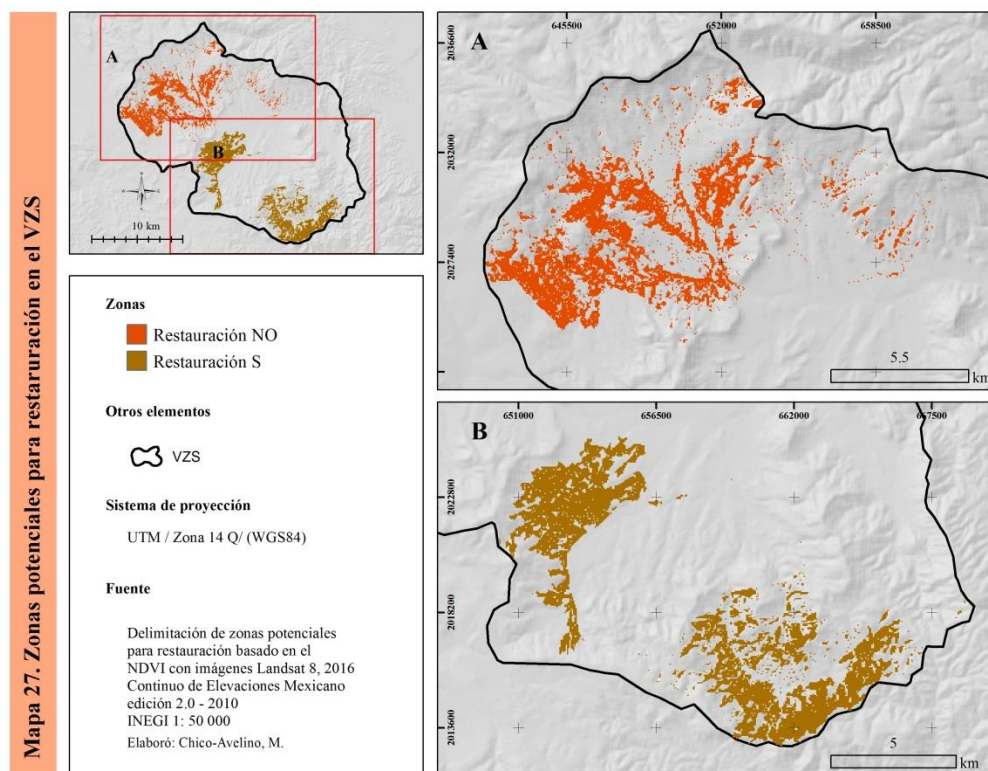
Basado en la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica, esta consiste en asistir a la recuperación de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos. El objetivo de la restauración ecológica es la conservación y reposición del capital natural, así como la restitución de los servicios ecosistémicos para su disfrute y aprovechamiento por parte de la sociedad.

Las zonas de restauración se han considerado como aquellas en donde la perturbación es demasiado intensa, terrenos con erosión severa y muy severa y alta susceptibilidad a la pérdida de suelos a tal grado que las propiedades del sistema ambiental han sido modificadas o afectadas en estructura y funcionamiento, causando deficiencias en la disponibilidad de agua, pérdida de suelo con el subsecuente detrimento en nutrientes y materia orgánica lo que provoca la degradación del sistema, así como bajos rendimientos agroecológicos y alta vulnerabilidad social.

Las actividades humanas se han convertido en las causas motor de estas afectaciones ambientales que se producen como consecuencia de los cambios en el uso del suelo, transforman grandes extensiones de vegetación natural, principalmente para destinarlo a otras actividades, como la agricultura, ganadería, minería, urbanización e infraestructura en general, lo que acarrea una pérdida de especies y la fragmentación de los ecosistemas.

Debido a la problemática del área aunado a la gran complejidad de los ambientes semiáridos, en donde los procesos ecológicos suelen ser más progresivos y lentos, se han definido estas zonas con el objetivo de implementar estrategias que incluyan actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los procesos naturales (LGEEPA, 2012).

En el caso de las zonas con aptitud de restauración se delimitaron dos grandes porciones una localizada en la UAB 2 y la otra en la UAB 3. La superficie que comprenden está representada por 6, 796 ha. Que comprende únicamente el 1.7 % del total de VZS, lo que se contrasta con Corzo *et al.*, 2012 que en la Reserva Forestal de los Cerros Orientales, Colombia observaron que más del 50% de la superficie presentó un potencial biótico de moderado a alto. La zona localizada al noroeste de la UAB 2 cuenta con 3,108.75 ha (Mapa 27 a), de este total 1, 688.5 ha se ubica en la porción oeste de la UAB 1, asociada a formas de piedemonte y valle, con pendientes suaves a moderadas (3 – 9°).



**Mapa 27.** Delimitación de zonas con uso potencial para restauración en el VZS.

Esta zona con aptitud de restauración también abarca una pequeña área de la UAB 4, con tan sólo 8.75 ha orientada al oeste, asociada a laderas pronunciadas de pendientes altas > 15°. Así mismo en la UAB 2 existen áreas que se proponen para restauración en este caso la superficie comprendida es de 1,411.5 ha asociadas principalmente a laderas y lomeríos con pendientes de 20 a 60°.

Es importante resaltar que en esta zona es en donde se presentaron transiciones hacia suelo desnudo ganando superficie de coberturas como matorral crasicaule, pastizal y agrícola, por lo que se han definido como áreas que requieren cierta protección, en este caso, restauración debido a que se han visto ya afectadas con cambios en la cobertura.

Esto implica un alto grado de vulnerabilidad a pérdida de suelo por intensificación agrícola, baja productividad que deriva en abandono de tierras, con suelos desnudos que por efecto de las condiciones del sistema suelen ser degradados, ya que la sucesión de la vegetación en ambientes semiáridos implica una amplitud en el componente temporal.

La segunda zona que reúne condiciones para restauración, cuenta con 3, 129 ha (Mapa 27 b), de las cuales 1, 107.75 ha se encuentran en la UAB 1, en formas de piedemonte y lomeríos, con pendientes suaves a moderadas (4 – 13°), en suelos someros como rendzina y leptosol.

Por su parte en la UAB 4, hay 916.75 ha que se encuentran con esta aptitud de restauración asociadas a laderas y hombro de ladera, en pendientes altas superiores a los 25° en suelo leptosol. En la UAB 3 es aquella porción del territorio en donde mayor superficie hay con 1, 104.5 ha propuesta para restauración asociado a lomeríos escarpados con pendientes altas >20°, con suelos leptosol.

Es preciso mencionar que esta zona presentó cambios importantes hacia usos agrícolas, perdiendo superficie tanto el matorral como el chaparral las cuales son coberturas nativas que han sido impactadas por las actividades de corte antrópico, sobre todo de agricultura ya que siendo zonas de pendientes altas no presentan aptitud que permitan buena productividad lo que lleva a la intensificación agrícola, por lo que se recomendaría que en estas zonas de alta transición se permitiera la recuperación del sistema ambiental original con el fin de evitar procesos de deterioro mayor, como pérdida de especies, erosión - pérdida de suelo, desertificación.

En este contexto la vegetación del área presenta una calidad media, ya que los valores de NDVI son bajos, con respecto a los propuestos por el modelo teórico, sin embargo este método resulta una buena herramienta para conocer la estructura y condición de los elementos vegetativos, lo cual da pautas para realizar esquemas de gestión ambiental.

Así mismo estas áreas de conservación podrían considerarse un medio de vinculación entre la población y su entorno ambiental, desarrollando una economía sustentable, soportada en el pago por servicios ecosistémicos que pueden proveer el área, con el objetivo de fortalecer estas relaciones humano-entorno basado en un beneficio económico el cuál provenga de la conservación de un bien no material como los servicios ambientales.

La evaluación y monitoreo de estos servicios ecosistémicos es variado sin embargo existen diversos estudios que han presentado buenas tendencias para la identificación de zonas con potencialidad utilizando metodologías de teledetección como el NDVI, en donde se han caracterizado, monitoreado e identificado relaciones entre los tipos de coberturas con los valores de NDVI, y su asociación espacial con el nivel de provisión de servicios ecosistémicos, con fundamento en la planificación y gestión del territorio como base para la mejora de la calidad de vida de las poblaciones (Achkar s.f.; Paruelo *et al.*, 2011; Dionisio *et al.*, 2012).

En el caso de las zonas propuestas para restauración se tiene que en el análisis de la dinámica se ha identificado, que inicia en el cambio a zonas que pasan a usos agrícolas –pastizal, siendo abandonados por falta de productividad que derivan en suelos desprovistos de vegetación, confiriendo vulnerabilidad al recurso suelo. Siendo el principal motor de esto los usos agrícolas-ganaderos, lo cual que conllevan a la intensificación agrícola generando a través de estos usos, una mayor presión sobre los atributos estructurales y/o funcionales del suelo; configurando sistemas más simples (monocultivos), homogéneos y especializados, donde aumenta la velocidad de los flujos, modificando así los ciclos biogeoquímicos (Gazzano y Achkar, 2013). Siendo una de las principales pautas de deterioro ambiental en el área.

Identificando que estas zonas con valores de NDVI bajos se encuentran asociadas con cambios a zonas agrícolas en la UAB 3 al sur y a suelos sin vegetación aparente (suelo desnudo), que involucran una pérdida significativa de coberturas de estructura compleja, así como especies de alto valor ecológico, resultando en manchones aislados con alta presión ambiental ganando superficies con alta intensificación agrícola con baja productividad, en donde los procesos de conservación y producción, se frenan sin obtener beneficio ambiental y económico.

Esta condición del territorio puntea dos visiones opuesta como es la producción y la conservación del sistema ambiental, desde la preocupación ecológica, mayoritariamente se contraponen, naturaleza – sociedad, conservación – producción, dónde la lógica de conservación se orienta hacia la protección de áreas o unidades de conservación separadas de las áreas, destinadas al uso productivo agrario (Gozzano y Achkar, 2013).

Visión que lleva a la prohibición como un esquema de sustentabilidad, se ha tratado de transformar con los esquemas de economía sustentable en donde no se pretende limitar si no fomentar la conservación como un instrumento de economía local, tratando de unir los elementos vivos a las condiciones sociales económicas, culturales y políticas incluyendo diversos actores de las regiones. Por ello es que definen estas zonas con aptitud de restauración y conservación que podrían considerarse como unidades de producción de servicios ecosistémicos que podrían generar un beneficio económico en el área.

#### **4.2.2 Uso potencial agrícola del valle de Zapotitlán Salinas.**

El uso potencial agrícola depende de las condiciones ambientales que posee un terreno para el desarrollo de cultivos (climáticamente adaptados a la zona), la realización de un determinado tipo de labranza y si las condiciones ambientales lo permiten, establecer

infraestructura para riego con el propósito de impulsar un manejo adecuado y, a la vez evitar su deterioro (Mendoza *et al.*, 2010).

La presente propuesta para la evaluación de la aptitud territorial está sustentada en el entorno biofísico del área, para esto se analizaron los requerimientos de dicha actividad, incluyendo el uso de maquinaria, con menores riesgos posibles a degradación como erosión, suelos adecuados de fertilidad para crecimiento y las condiciones climáticas, siendo que aquellas zonas que cumplan con todos los requerimientos óptimos serán las zonas con mayor aptitud a esta actividad. La escala utilizada fue de 0 a 1, con algunas ponderaciones para las variables, tanto los criterios, valores y ponderaciones, se basaron en los trabajos de Mendoza *et al.*, 2010 y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en conjunto con el Gobierno de Durango en 2009, ajustándolos a los elementos del área.

Basado en los modelos anteriormente mencionados en primera instancia se tiene el elemento topográfico, como uno de las principales características diagnósticas de aptitud, en el modelo se le define como arabilidad que está en función de la pendiente, textura de suelo, profundidad del suelo, porcentaje de piedra y grava en horizontes superiores.

Otra de las características diagnósticos del suelo es la fertilidad, la cual se evaluó a través de las unidades de suelo, textura, salinidad y sodicidad, en este caso se descartan las zonas urbanas y los cuerpos de agua.

Mientras que para las características climáticas, se consideró la relación de la temperatura y la precipitación, basado en el Índice de aridez de Martonne, distancia a ríos, zonas potenciales de irrigación y elevación.

#### Arabilidad

La Arabilidad. Se ha definido como el nivel, o potencial, para el uso de maquinaria y tracción animal en un terreno, se relaciona con la pendiente, la textura, porcentaje de piedra y profundidad del suelo y grava en los horizontes superiores del mismo (SEMARNAT - Gobierno del Estado de Durango, 2009).

En el siguiente cuadro (Cuadro 22) se presenta la propuesta para evaluar la aptitud para la arabilidad basado en los valores de aptitud y sus ponderaciones en función de los elementos biofísicos con lo que se cuenta en el área de estudio. Estos valores se ajustaron en función de las propuestas revisadas de Mendoza *et al.*, 2010 y la SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009.

**Cuadro 22.** Valores de aptitud para arabilidad del VZS (ajustado de los modelos de Mendoza *et al.*, 2010 y la SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009).

Arabilidad		
Variable	Valor asignado	Ponderación de la variable*
PENDIENTE %		0.40
0-2	1	
2-6	0.75	
6-12	0.50	
12- 20	0.25	

Mayor a 20	0	
<b>TEXTURA DEL SUELO</b>		<b>0.10</b>
Mediana	1	
Gruesa	0.25	
Fina	0.25	
<b>PROFUNDIDAD DEL SUELO cm</b>		<b>0.40</b>
> 100	1	
50-100	0.75	
10 -50	0.50	
< 10	0	
<b>PEDREGOSIDAD Y GRAVOSIDAD DEL SUELO</b>		<b>0.10</b>
Sin fase física	1	
Fase física		
Pedregosa	0.25	
Gravosa	0	

\* La suma de las ponderaciones deben resultar a 1.

Fertilidad del suelo. La fertilidad del suelo puede conocerse a través de las unidades y subunidades de suelo en que está clasificado, así mismo la textura, concentración de sales (SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009).

En el Cuadro 23 se presenta la propuesta de la aptitud por fertilidad en función del valor de aptitud y sus ponderaciones en función de los elementos biofísicos con lo que se cuenta en el área de estudio. Estos valores se ajustaron en función de las propuestas revisadas de Mendoza *et al.*, 2010 y la SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009.

**Cuadro 23.** Valores de aptitud de fertilidad del VZS (ajustado de los modelos de Mendoza *et al.*, 2010 y SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009).

Fertilidad		
Variable	Valor asignado	Ponderación de variable*
<b>UNIDAD DE SUELO</b>		<b>0.70</b>
Regosol	0.75	
Vertisol	0.50	
Rendzina	0.25	
Leptosol	0	
<b>TEXTURA</b>		<b>0.10</b>
Media	1	
Fina	0.50	
Gruesa	0.50	
<b>SALINIDAD</b>		<b>0.20</b>
No salina	1	
Salina Sódica	0.50	
Salina sódica Fuertemente salina Salina-fuertemente sódica Fuertemente sódico	0	

\* La suma de las ponderaciones deben resultar a 1.

Para el caso de la evaluación de la aptitud por factores climáticos, se basa en la disponibilidad del recurso agua, debido a que este recurso determina la productividad que se podría esperar de los cultivos, si bien depende mucho de la variante a cultivar en la propuesta no se ha desarrollado para caso particulares.



Índice de Martonne. Es un índice de aridez que considera como datos fundamentales las precipitaciones anuales (como fuente de agua) y las temperaturas (como indicador de la capacidad para evaporar el clima), este índice se representa con la siguiente formula:

Representado por la formulación:

$$Ia = P / [tm + 10]$$

En donde:

P: precipitación media anual en mm.

tm : temperatura media anual en °C

En el caso de las zonas irrigables por gravedad, se realizó el análisis de las tierras potencialmente regables de acuerdo con la topografía (para riego por gravedad), suponiendo que existiera una fuente adecuada de agua. Se escogió el riego por gravedad debido a que es el más barato y frecuente (Mendoza *et al.*, 2010). Se consideró el criterio de pendiente para conocer cuáles son las áreas que con recurso hidrológico suficiente pudiera establecer el riego por gravedad.

En el caso de la elevación se consideró como un factor limitante, ya que esta determina las condiciones climáticas en función del gradiente altitudinal que pueda tener un área. Por lo que se eliminaron las elevación mayores de 3, 000 msnm y con un alto riesgo de heladas para los cultivos (Mendoza *et al.*, 2010).

En el caso del análisis para conocer la disponibilidad del recurso hidrológico que es básico para el uso agrícola, realizo el cálculo de las distancias con respeto a las escorrentías superficiales de la red hidrológica, siendo las que presentan mayor aptitud aquellas que se encuentran a una distancias 1- 250 m y aquellas excluyentes a distancias mayores a los 1, 500 m.

En el Cuadro 24 se presenta la propuesta de la aptitud por factores climáticos en función del valor de aptitud y sus ponderaciones. Estos valores se ajustaron en función de las propuestas revisadas de (Mendoza *et al.*, 2010) y la SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009.

**Cuadro 24.** Valores de aptitud de fertilidad del VZS (ajustado de los modelos Mendoza *et al.*, 2010 y SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009).

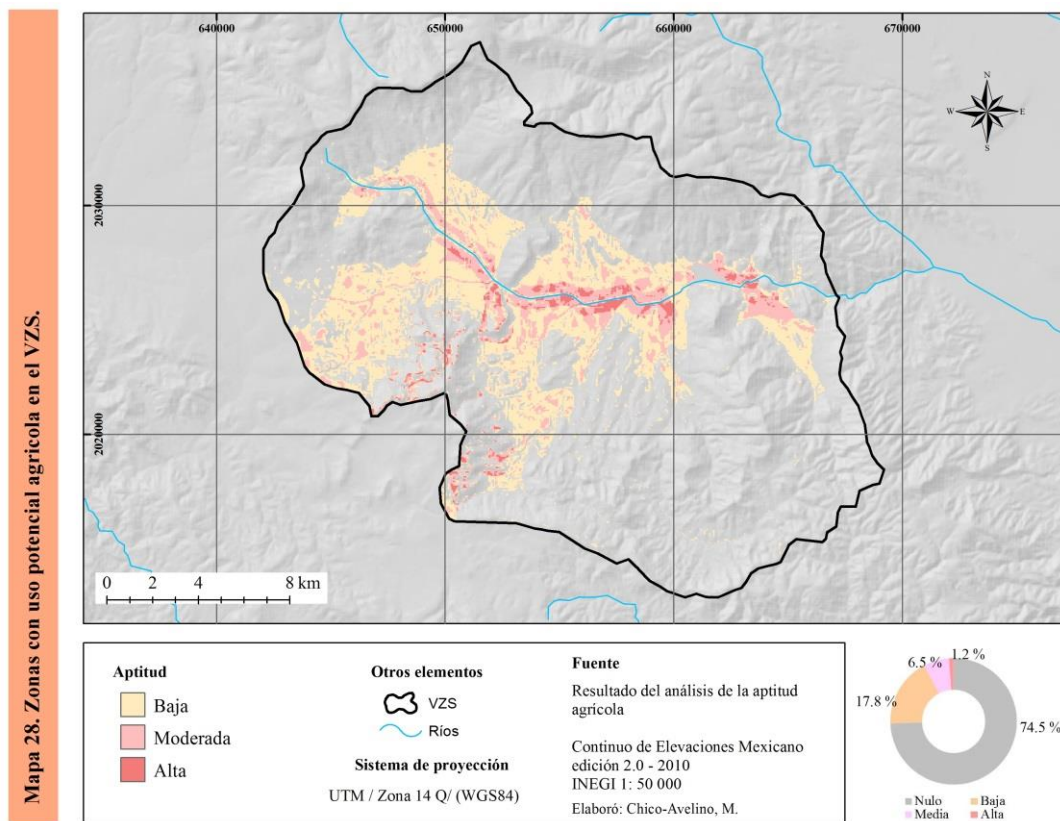
Climáticos (disponibilidad de agua)		
Variable	Valor asignado	Ponderación de variable*
INDICE DE MARTONNE (P /T+10)		0.50
+ 60	1	
20 - 60	0.75	
5- 20	0.50	
- 5	0	
ZONAS IRRIGABLES (Pendiente)		0.30
0 - 10	1	
10- 15	0.50	
+ 15	0	
ELEVACIÓN msnm		0.10
0-1500	1	

1500- 2500	0.50	
2500- 3000	0.25	
+ 3000	0	
DISTANCIA A RÍO (metros)		0.10
1-500	1	
500- 1000	0.50	
1000- 1500	0.25	
+ 1500	0	
Cuerpo de Agua	Nulo	

\* La suma de las ponderaciones deben resultar a 1.

#### 4.2.2.1 Zonas potenciales para uso agrícola en el VZS.

Una vez realizado el análisis basado en la propuesta de los atributos y los valores de aptitud y ponderación, se encontró que el 74.5 % del área no presentan potencialidad para realizar las actividades agrícolas esto equivale a 29, 535 ha (Mapa 28), debido a que los valores de aptitud son muy bajos, lo cual implicaría una gran inversión en el sentido tanto económico como ambiental y pudiese llevar a un proceso de baja productividad por las limitaciones del propio territorio.



**Mapa 28.** Delimitación de zonas con uso potencial agrícola en el VZS.

Estas zonas sin potencial para agricultura se localizan principalmente en la UAB 2 y UAB 3, asociados a lomeríos redondeados y escarpados, ladera pronunciada, hombro de ladera, cumbres, es decir en formas que están en pendientes altas y con escarpes fuertes que impiden el procesos de formación de suelos profundos, siendo el suelo una variable con alta

ponderación en el modelo tanto para arabilidad y fertilidad que son criterios básicos para el desarrollo de los cultivos, se tiene que estas zonas se encuentran en porciones del territorio con pendientes altas por arriba de los 15 ° de inclinación.

A su vez estas zonas sin potencial se encuentran asociadas a suelo de tipo leptosol mayoritariamente con textura media y gruesa, encontrándose alejadas de los recursos hidrológicos que pudieran proveer del recurso agua para los sistemas de regadío, lo que implicaría un alto coste. En el apartado siguiente se hará el análisis de las relaciones que tienen estas zonas no potenciales para agricultura con zonas con potencial forestal.

En el caso de las zonas que presentaron potencial agrícola, la superficie que comprende son 10, 107 ha que corresponde al 25.5 % del total territorial del área lo cual se asemeja con lo mencionado por Álvarez-Olguín et al., 2016 que reportan que el 3.2% presenta potencial agrícola y el 23.8% uso potencial mixto (agrícola y ganadero) del territorio de Guadalupe Cuauhtepac en San Juan Bautista Suchitepec, Oaxaca. Estas se encuentran en la UAB 1, cercanas a la presencia del río El Salado. De este territorio con potencial agrícola se han definido tres categorías de aptitud baja, moderada, y alta. La primera que es la aptitud baja (1), son zonas que presentan cierta aptitud sin embargo con altas limitaciones. Seguida de la aptitud moderada (2) con limitaciones moderadamente graves, las cuales presentan ciertas implicaciones ambientales. La que no presenta limitaciones o son menores es la aptitud Alta (3).

Bajo esta clasificación se tiene que aquella que presento mayor superficie ha sido la aptitud baja, con 7, 055 ha que se traduce al 17.80 % del total del área (Mapa 28), lo que implica que la potencialidad del territorio no está basada en el sistema agrícola.

Por su parte darle este uso al territorio puede generar un alto deterioro ambiental severo que puede llegar a comprometer las condiciones de los recursos sobre todo de suelo y diversidad vegetal, ya que siendo un sistema semiárido los procesos de formación de suelo y repoblamiento natural de vegetación son tardíos, por lo que el cambio de uso de suelo no es precisamente la mejor práctica en el área.

En el caso de aquellas zonas con aptitud moderada y alta se localizan en la porción central del área asociadas principalmente a la presencia del río como recurso hidrológico, así mismo están vinculadas a formas como son; fondo de valle, valle y piedemonte, que son las formas que favorecen al proceso de sedimentación y por sus pendiente tan bajas.

Los procesos de acumulación son importantes para los suelos, la unidad de suelo a la que se encuentran asociados es rendzina, siendo un suelo rico en humus, presenta la mayor aptitud ya que se encuentra asociado a zonas de pendientes bajas en el área de 0 – 3 ° de inclinación, que favorece a los procesos de formación de suelos, importante para el modelo propuesto, a diferencia del suelo con mayor aptitud regosol que está asociado a pendientes altas >15 °. La superficie de estas zonas comprende el 7.7 % del área, siendo la aptitud moderada la que mayor superficie tiene con 2, 575 ha que es el 6.5 %. Mientras que aquellas que presentan la mayor aptitud representan sólo el 1.2 % del área con únicamente 476 ha (Mapa 28).

Por lo que se pueden comentar que el uso potencial agrícola del VZS es muy limitado ya que de las tres clases de aptitud es la baja, seguida de la media y la aptitud alta es prácticamente nula en el sentido de superficie, al igual que en el sentido espacial ya que se concentra en pequeños manchones que siguen el curso del río, más adelante se hará el análisis de las relaciones que guardan estas zonas con potencial agrícola con aquellas con potencial para pago de servicios ambientales hidrológicos, que pudiesen ser una alternativa sustentable que no comprometan al área ambientalmente.

La UAB que presenta el mayor potencial a uso agrícola en el área es la UAB1 ubicada en la porción central asociadas a geformas como fondo de valle, valle y piedemonte. Esta unidad concentran la mayor superficie de las categorías de potencial agrícola, la superficie total con potencial agrícola que mostró es de 8, 540.5 ha de estas hectáreas 6, 133.5 pertenecen a zonas de aptitud baja; 2, 096.5 a aptitud moderada y sólo 310.5 que son de aptitud alta. Mientras que la UAB 3, fue aquella que muestra el menor potencial, esta se encuentra en la porción sureste del área, comprendida principalmente por lomeríos pronunciados con pendientes altas, esta cuenta únicamente con 47.75 ha de aptitud agrícola baja.

En el caso de la UAB 2, localizada al norte asociada a laderas pronunciadas de pendientes altas; esta comprende 856.25 ha, de aptitud baja que es que mayor superficie tiene de la categorías se tiene 548.75 ha, seguida de la moderada con 247.5 ha y por último la aptitud alta con 60 ha.

Por su parte la UAB 4, presentó 662.5 ha, esta unidad se ubica en el suroeste del valle asociadas a laderas pronunciadas y hombro de laderas en la caso de las zonas con aptitud baja están representadas 325.75 ha, la aptitud moderada y baja son las que tienen la menor superficie en esta unidad con 231 ha y 105.75 ha respectivamente.

Estas zonas con potencial agrícola, se encuentran relacionadas con zonas que resultaron con prioridad de restauración y conservación, se tienen seis coincidencias para las zonas de restauración y conservación- potencial agrícola bajo, moderado y alto.

En el caso de las zonas de restauración se encontró que aquella relación que presenta la mayor superficie es restauración – potencial agrícola bajo con 689.25 ha, esta superficie se localiza principalmente en la UAB 4, lo que puede indicar que estas áreas que presentan coberturas vegetales bajas han sido utilizadas para fines agrícolas y que debido a falta de productividad ya que no son aptas por las condiciones ambientales del territorio, son abandonadas y los procesos de sucesión de la vegetación no son lo suficientemente rápida, debido a que en el análisis de cambios por coberturas de vegetación, esta es una de las zonas más dinámicas en donde las transiciones van de temporal a pastizal y temporal a suelo desnudo, pastizal a suelo desnudo (Mapa 21).

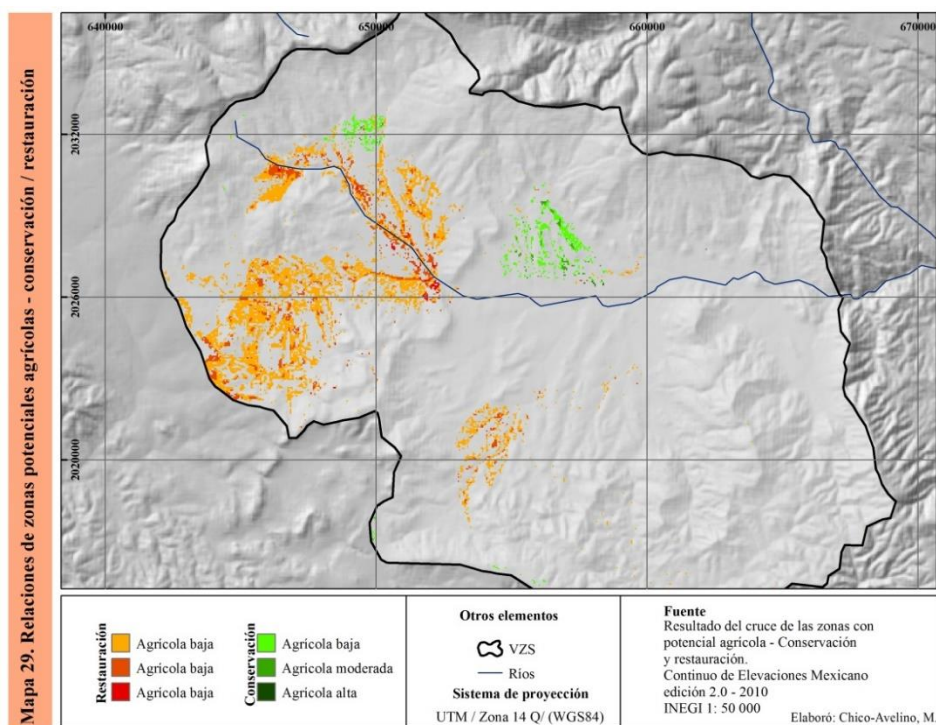
Por lo que basado en la evaluación del NDVI indica valores bajos de calidad de la vegetación, esto a su vez muestra una presión importante en la zona ya que el asignar un uso que no es el más óptimo puede desencadenar fuertes procesos de deterioro ambiental.

Para la relación restauración – potencial agrícola moderado se encontró una superficie de 355.25 ha estas se localizan en la UAB 4 en pequeños manchones. Aquella que presento la

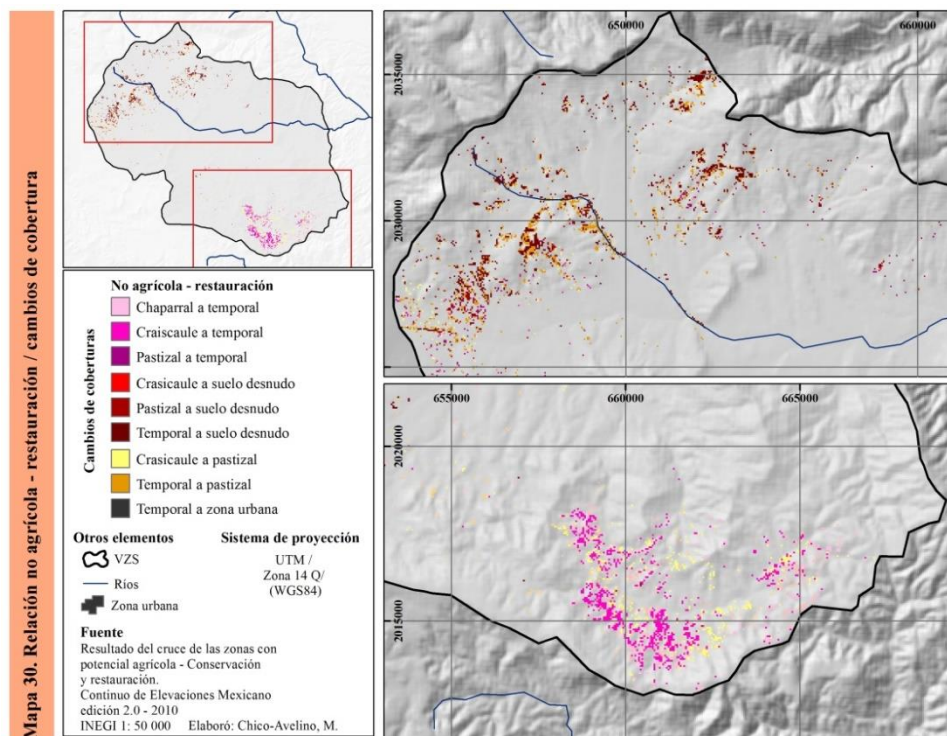
menor superficie ha sido la relación restauración – potencial agrícola alto esta cuenta con 23.5 ha, es decir estas zonas que se sugieren para restauración por baja calidad de la vegetación muy poca superficie tendría pocas limitaciones para este uso, sin comprometer la productividad (Mapa 29).

Para las zonas con potencial de conservación son en conjunto 235.75 ha, y tienen alguna relación con el potencial agrícola en sus tres categorías. De manera particular aquella que tiene la mayor superficie con 203.25 ha es conservación – potencial agrícola bajo, seguida de la relación conservación – potencial agrícola moderado con 31.25 ha y con 1.25 ha la relación conservación – potencial agrícola alto. Esto nos lleva a observar la potencialidad de conservación frente a la agrícola puede ser representativa, y que con esquemas de pago por servicios ambientales se lograría contraponer este uso, sobre todo en aquellas zonas en donde las aptitudes son bajas en donde las limitaciones para el uso son altas con implicaciones pobres de productividad, que frenan los procesos de desarrollo local y generan problemáticas ambientales severas (Mapa 29).

En contrapunto se tiene que existen relaciones espaciales de zonas que no presentan potencial agrícola con zonas de potencial de restauración, lo cual puede indicarnos las áreas con mayor deterioro ambiental, debido a que presentan dos parámetros que al conjuntarse muestran por un lado zonas con baja calidad en la vegetación y aptitud nula agrícola, aunado a que en estas zonas coinciden con áreas de cambios que van principalmente de temporal a suelo desnudo con 314 ha siendo la que mayor superficie comparte con las de sin potencial agrícola – con potencial de restauración, otro cambio importante es de temporal a pastizal que se emplaza en 300.5 ha (Mapa 30).



**Mapa 29.** Relación espacial zonas con uso potencial agrícola con restauración y conservación.



**Mapa 30.** Relación espacial zonas sin potencial agrícola con restauración por coberturas.

En el caso de las coberturas nativas que han presentados cambios hacia usos antrópicos y que se relacionan espacialmente con zonas sin potencial agrícola – potencial de restauración se tiene los siguientes cambios y superficies crasicuale a temporal coincide en 224 ha, chaparral a temporal coincide en 50.5 ha, crasicuale a pastizal 132.5 ha y con 6.5 ha el cambio de crasicuale a suelo desnudo (Mapa 30).

Por lo que si esta dinámica continúa basada en el cambio de cobertura sobre todo a zonas agrícolas y pastizales en un primer tiempo y debido a que no presentan aptitud, llevar a un cambio hacia zonas sin vegetación, pudiesen provocar erosión y pérdida de suelo.

#### 4.2.3 Uso potencial forestal del valle de Zapotitlán Salinas.

La Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), 2015 conceptualiza a la vegetación forestal como el conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales. Basado en ese principio se tiene que los recursos forestales son “La vegetación de los ecosistemas forestales, sus servicios, productos y residuos, así como los suelos de los terrenos forestales y preferentemente forestales”.

El uso potencial forestal depende de las condiciones de la vegetación que permitan un aprovechamiento sustentable a través de un manejo adecuado. A partir de la naturaleza y

condición de la vegetación se determina la orientación económica que se le puede dar a la vegetación, es decir, las clases de capacidad de uso (Mendoza *et al.*, 2010).

Para valorar la aptitud forestal del área, definiendo como zonas de aptitud forestal aquellas en que los suelos presentan limitaciones para el uso agrícola así sea parcialmente, que deben mantener la cobertura del bosque y vegetación arbustiva por ser áreas protectoras de nacimientos de agua y corrientes hídricas; son adecuadas para zonas con alta susceptibilidad a la erosión. Estas zonas presentan condiciones ecológicas que demandan una cobertura forestal permanente, con el fin de generar un beneficio tanto ambiental y en su caso económico con procesos de extracción adecuada.

El modelo se diseñó en función de diferentes propuestas consultadas dentro de las más relevantes por sus aportaciones se encuentran los documentos generado por Mendoza *et al.*, 2010 y la SEMARNAT-- Gobierno del Estado de Durango, 2009 en los cuales se aborda de manera profunda los requerimientos, variables, ponderaciones, integración y análisis de la evaluación de la aptitud territorio desde un contexto biofísico.

Los criterios que se definieron para hacer la evaluación fueron altitud, pendientes, temperaturas, precipitaciones, orientación, subunidades de suelo, con estos atributos resultaron indicadores de la aptitud forestal, denominados en función de las variables consideradas.

Se asignaron valores a cada factor, 1 para las áreas de aptitud alta y 0 para áreas sin aptitud o áreas de restricción. Además, se ha otorgado un valor de ponderación para cada factor que indica el nivel de importancia en el índice de aptitud, lo cuales se muestran en el Cuadro 25.

**Cuadro 25.** Variables consideradas con la asignación del valor de aptitud así como los índices que conforman en conjunto y sus ponderaciones modificado de las propuestas de Mendoza *et al.*, 2010 y SEMARNAT--Gobierno del Estado de Durango, 2009.

Variable	Valor asignado	Variable	Valor asignado
<b>ÍNDICE TOPOGRÁFICO</b>	<b>Ponderación del índice: 0.3*</b>	<b>ÍNDICE CLIMÁTICO</b>	<b>Ponderación del índice: 0.2*</b>
<b>Orientación (0-360°)</b>		<b>Temperatura (°C)</b>	
Noroeste, Noreste, Norte	1	0 - 12	1
Sureste, Suroeste	0.75	12 - 15	0.75
Sur	0.5	15 - 17	0.5
Plano	0	>17	0
<b>Pendiente (%)</b>		<b>Precipitación (mm)</b>	
50 - 75	1	>500	1
25 - 50	0.75	470 - 500	0.75
0 - 25	0.5	430 - 470	0.5
<b>ÍNDICE ALTITUDINAL</b>	<b>Ponderación del índice: 0.3*</b>	0 - 430	0
<b>Elevación (msnm)</b>		<b>ÍNDICE DE FERTILIDAD DEL SUELO</b>	<b>Ponderación del índice: 0.2*</b>
2667 - 3000	1	<b>Unidades de suelo</b>	
2334 - 2667	0.75	Rendzina	0.75

2000 - 2334	0.5		Leptosol	0.5
1000 - 2000	0		Regosol	0.5

\* La suma de las ponderaciones deben resultar a 1.

#### 4.2.3.1 Zonas potenciales para uso forestal en el VZS.

Los resultados del análisis para conocer las zonas potenciales para el uso forestal del área muestran valores que van de 0.075 como las zonas con la menor aptitud, hasta 0.93 siendo aquellas con mayor aptitud, es decir son aquellas que cumplen con las condiciones más adecuadas según modelo propuesto.

Dentro de esta propuesta se han definido tres clases de potencialidad la primera de aptitud baja (1), siendo zonas que presentan cierta aptitud sin embargo con altas limitaciones. Seguida de la aptitud moderada (2) con limitaciones moderadamente graves, las cuales presentan ciertas implicaciones ambientales. Mientras que aquella no presenta limitaciones para el uso o estas son menores es la aptitud Alta (3).

Por lo que el resultado del modelo derivo en una cartografía de uso potencial a partir de estas categorías además de incluir zonas que son excluyentes para ese uso debido a que no cumplen con los requerimientos mínimos de éste.

Dentro de la superficie que comprende el VZS el 58 % de su totalidad no presentan aptitud para uso forestal. Este porcentaje equivale a 22, 999.5 ha, localizadas principalmente en la UAB 1, asociadas a geoformas de tipo valle y piedemonte (Mapa 31).

En el caso de aquellas que presentan alguna aptitud para este uso comprenden en conjunto el 42 % del territorio del área resultando en 16, 642 ha, siendo una importante superficie que cumple con las características físicas planteadas en el modelo. Esto se contrapuntea con lo reportado por Álvarez-Olguín et al., 2016 que demostró que el 26.9% del territorio de Guadalupe Cuauhtpec, presenta potencial forestal y de restauración.

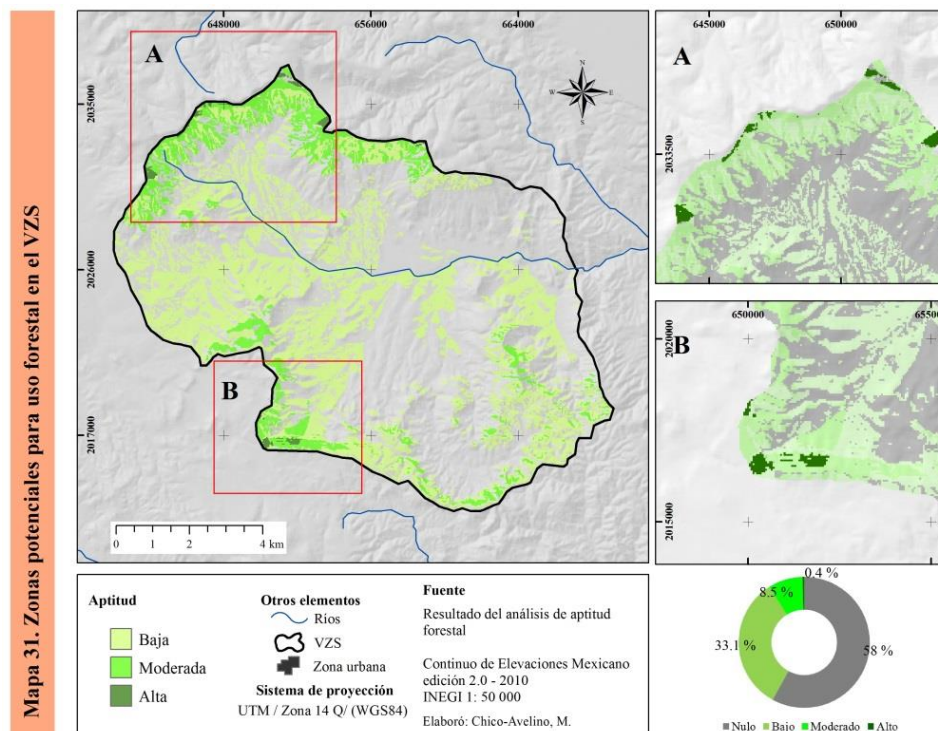
De las tres categorías de uso potencial aquella que presento mayor superficie es la aptitud baja, con 13, 094 ha que representa el 33 % del total del área (Mapa 31). Estas zonas se localizan principalmente en las UAB 2 y 4, asociado a piedemonte lomeríos y laderas. La UAB 1 que presentó la mayor superficie con esta categoría, concentrándose en la porción oeste con 6, 585 ha.

En el caso de aquellas zonas que tienen una aptitud moderada estas cubren el 8.5 % del área total con 3, 374 ha, concentrándose en los límites de las UAB 2 y 4 (Mapa 31), asociadas a zonas con pendientes pronunciadas con formas como laderas y hombro de ladera, siendo las partes más altas del valle. La UAB que presenta la mayor superficie con áreas con esta aptitud moderada es la UAB 2 localizada al norte del área con 4, 045 ha.

Mientras que aquellas que presentaron la mayor aptitud comprenden únicamente el 0.43 % del área con 174 ha (Mapa 31 a y b), localizadas principalmente la parte norte, en la UAB 2 asociadas a geoformas de tipo laderas y hombro de ladera, en las zonas con mayores



pendientes y elevaciones del área. Cada una de estas áreas que cuenta con una aptitud para uso forestal se encuentran asociadas entre ellas.



**Mapa 31.** Delimitación de zonas con uso potencial forestal en el VZS.

En este sentido se podrían mencionar que las zonas con mayor uso potencial forestal se localiza en los límites norte y sur, asociadas sobre todo a pendientes y elevaciones altas, con las temperaturas más bajas (26 – 27 °C), en donde las precipitaciones oscilan entre los 430 a 500 mm /anuales. Si bien la superficie que presenta la mayor aptitud es pequeña con respecto a la total del área.

Estos resultados muestran que el valle tiene un potencial para uso forestal que implicaría pocas limitaciones para este tipo de actividad. Aunado a que podría implementarse a partir de este uso ciertas estrategias de conservación que permitan generar un beneficio económico para la población.

#### 4.2.4 Uso potencial para el Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en el valle de Zapotitlán Salinas.

El concepto de pago por servicios ambientales (PSA) ha sido una herramienta importante para promover la conservación de los hábitats naturales y silvestres (Ferraro y Kiss 2002). La idea central del PSA es que los beneficiarios directos o indirectos de los servicios ambientales (SA) paguen de manera directa, contractual y condicionada a los propietarios proveedores de SA locales por adoptar prácticas que aseguren la conservación y restauración de ecosistemas y los SA que generan (Wunder, 2006).

En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) inició sus políticas de PSA en el 2003, con el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH). Posteriormente en el 2004, comenzó sus políticas de Pago para la Conservación de los Servicios Ambientales derivados de la Biodiversidad y de los Sistemas Agroforestales y la elaboración de proyectos para la fijación de carbono y reducción de emisión de gases de efecto invernadero denominado PSA-CABSA.

Si bien las zonas áridas y semiáridas de México, como es el caso del VZS no pueden acceder al PSAH de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) principalmente por su escasa cobertura forestal, ya existen ciertos trabajos que han realizado evaluaciones para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas, encontrando que en las zonas áridas y semiáridas la vegetación de chaparral puede ofrecer beneficios similares a la coberturas como bosques y selvas, basándose en propuestas de análisis de atributos físico-bióticos como Ayala-Niño *et al.*, 2011 que incluso menciona que su propuesta puede utilizarse a nivel de cuenca en cualquier zona árida de la República Mexicana.

Por lo que con el objetivo de integrar los usos potenciales forestal y de conservación, y conocer las zonas dentro del VZS potenciales para pagos por servicios ambientales hidrológicos se realizó la evaluación basada en atributos biofísicos del área, tomando como modelo base el trabajo de Ayala-Niño *et al.*, 2011.

El modelo se realizó mediante atributos que favorecen y/o afectan la infiltración mediante un modelo de asignación de valores y pesos, en donde el valor define la potencialidad del atributo y el peso (ponderación) la importancia de éste. El modelo de peso\*valor consiste en que cada factor del medio ambiente natural y humano es ponderado por su importancia (Ayala-Niño *et al.*, 2011; Cendrero y Díaz de Terán, 1987).

A cada uno de los atributos de cada variable se le asignó un valor, de 0.25 para las zonas con bajo potencial y el valor 1 a las zonas que presenten el mayor potencial (Cuadro 26) y multiplicando por el ponderador del factor de tal manera que la suma de las ponderaciones arroje una sumatoria de 1.

**Cuadro 26.** Valores asignados a las variables y su correspondencia con alguna clase cualitativa, modificado de Ayala-Niño *et al.*, 2011.

Valor asignado	Clase potencial
0.25	Bajo
0.50	Medio
0.75	Alto
1	Muy Alto

En el caso de las ponderaciones se ha definido como aquella con mayor importancia en el sentido de los recursos hidrológicos, a la precipitación ya que al aplicar en esquema de PSAH es necesario conocer la disponibilidad de agua mediante este elemento del clima (García *et al.*, 2004).

En total se evaluaron 7 atributos biofísicos siendo tipo de roca, escorrentías superficiales, textura del suelo, pendiente en %, precipitación, uso de suelo, tipos de vegetación, a las cuales se les asignaron pesos según su importancia en el proceso infiltración de agua (Cuadro 27).

Estas ponderaciones y asignación de valores se realizaron a partir de la modificación del modelo propuesto por Ayala-Niño *et al.*, 2011, ya que en su propuesta presentan 8 atributos los cuales son jerarquizados del 1 – 8 siendo el 1 el de menor importancia y el 8 el de mayor importancia.

Se realizó el ajuste de las ponderaciones de tal forma que se encuentren a intervalos similares y que a su vez el valor más bajo de ponderación sea 7 veces más pequeño que el máximo, definiendo así su importancia, siendo el valor más bajo 0.0441 del atributo uso de suelo y de 0.3089 para el más alto con mayor importancia el atributo precipitación, el cuál 7 veces más alto.

La suma de las ponderaciones da una sumatoria de 1, con el objetivo de identificar las zonas con mayor potencial, siendo las que tengan los valores máximos de cada atributo las que arrojen una sumatoria de 1 las que presentan la mayor potencialidad mientras que aquellas que se encuentren en 0 las de potencialidades más bajas (Cuadro 27).

**Cuadro 27.** Atributos evaluados con las ponderaciones en función de su importancia con los valores de potencialidad asignado, basado en la propuesta de Ayala-Niño *et al.*, 2011.

Variable	Valor asignado	Variable	Valor asignado
<b>Atributo: Precipitación</b>		<b>Atributo: uso de suelo</b>	
	Ponderación: 0.3089		Ponderación: 0.0441
>400	1	Natural	1
200 - 400	0.5	Agrícola	0.5
0 - 200	0.25	Urbano	0.25
<b>Atributo: Tipo de roca</b>		<b>Atributo: Pendiente</b>	
	Ponderación: 0.2233 *		Ponderación: 0.0844 *
Aluvión	1	0 - 5	1
Sedimentaria	0.75	5 - 10	0.75
Ígnea	0.5	10 - 15	0.5
Metamórfica	0.25	15 - 30	0.25
<b>Atributo: Vegetación</b>		<b>Atributo: Distancias escorrentías superficiales</b>	
	Ponderación: 0.1615 *		Ponderación: 0.0610 *
Bosque - Selva	1	250 m	1
Matorral-Chaparral	0.5	500 m	0.75
Campos de cultivo	0.25	750 m	0.5
<b>Atributo: Suelo</b>		>1000 m	0.25
	Ponderación: 0.1167 *		
Gruesa	1		
Media	0.5		
Fina	0.25		

\* La suma de las ponderaciones deben resultar a 1.

#### **4.2.4.1 Zonas potenciales para el Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en el VZS.**

Basado en el modelo planteado se obtuvieron valores que van desde 0 (Nulo –Zona urbana) hasta 0.84 siendo las zonas con mayor potencial, en este caso no existen lugares del área cumplan con las máximas condiciones para todos los atributos por esta razón no se tienen valores de 1.

Una vez realizado el emplazamiento se realizó una categorización de estos valores definiendo 3 clases al igual que los usos potenciales forestal y agricultura bajo, moderado y alto, siendo el bajo aquel que implica el menor potencial y el alto aquellas zonas con mayor potencial en función del proceso de infiltración considerando los atributos y valores asignados en la propuesta. Con base en esta clasificación, se tiene que la mayor superficie del VZS presenta un potencial moderado con 22, 762 ha que se traduce en 57 % del total del área localizadas principalmente en las UAB 2 y 4, en zonas con altas pendientes, seguidas de las zonas con potencial alto que cuentan con 16, 021 ha que es el 40 %, ubicadas en la porción central asociadas a zonas planas y al curso del río el Salado, en la UAB 1.

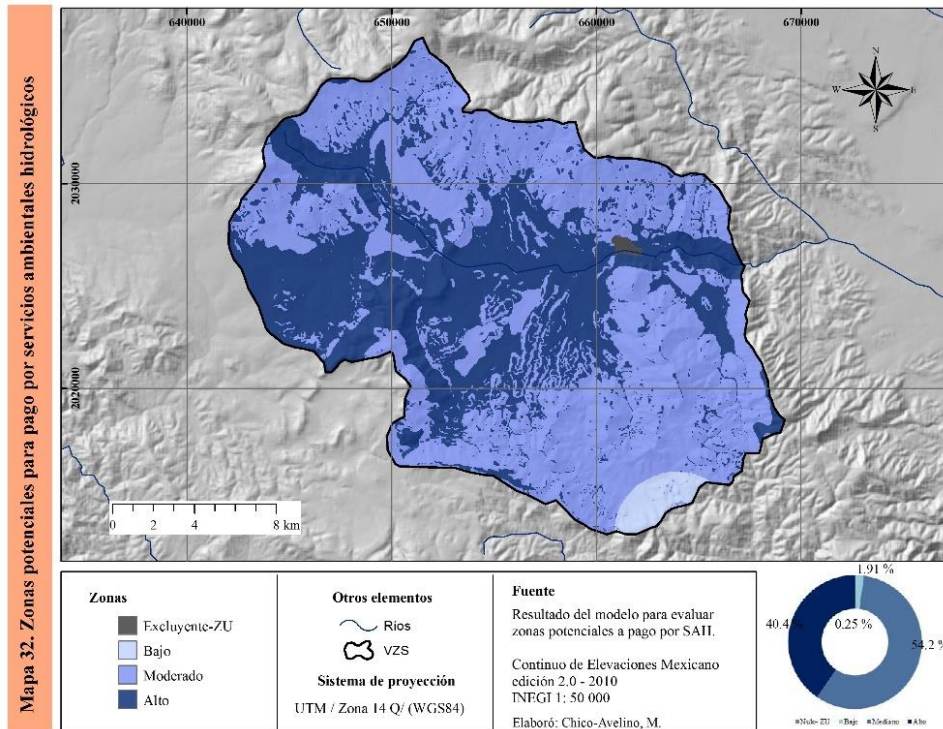
En el caso de las zonas con potencial bajo se tiene que tan sólo 1.91 % del territorio lo presenta es decir 758 ha siendo una superficie pequeña con respecto al total territorial, estas se encuentran en la UAB 3, en pendiente altas (Mapa 32). Por lo que se puede comentar que el potencial del VZS para pago por servicios ambientales hidrológicos es moderado-alto lo que puede implicar una posibilidad de acercamiento de la población con los procesos de conservación a través de estos programas, en donde se busca el puente entre la sustentabilidad y la economía local.

Las zonas que presentaron potencial alto para el PSAH se encuentran asociadas principalmente a la UAB 1, la cual cuenta con 10, 201 ha que corresponde a más del 50 % de las zonas con potencial en el área, en contraste con lo reportado por Ayala-Niño *et al.*, 2011, que en su estudio concluyen que el 34% de la superficie de las Cuencas Colonet, Baja California, son sitios de alto y muy alto potencial para PSAH.

Mientras que la UAB 3 es la que menor superficie con alto potencial cuenta con tan sólo 484 ha que es el 3 % de su área total. Estas zonas con el potencial más alto a su vez están relacionadas a geofomas de tipo fondo de valle, valle y piedemonte, clase textural del suelo media, a rocas sedimentarias, es decir elementos del medio físico que favorecen al proceso de infiltración, a su vez esta espacialidad se encuentra asociada a la presencia y curso del río el Salado, en las zonas más bajas del área.

En cuanto a las zonas con potencial de PSAH moderado, que es la categoría con mayor superficie con más del 50 % de la totalidad del área; esta superficie a su vez se encuentra asociada a las UAB 2 y 4; siendo la primera (AUB 2) aquella que presenta mayor superficie, localizada al norte del área con 8, 759 ha ubicadas en zonas de laderas moderadas a altas, por

su parte en la UAB 4 es en donde existe menor área con potencial moderado comprendiendo 3, 419 ha.



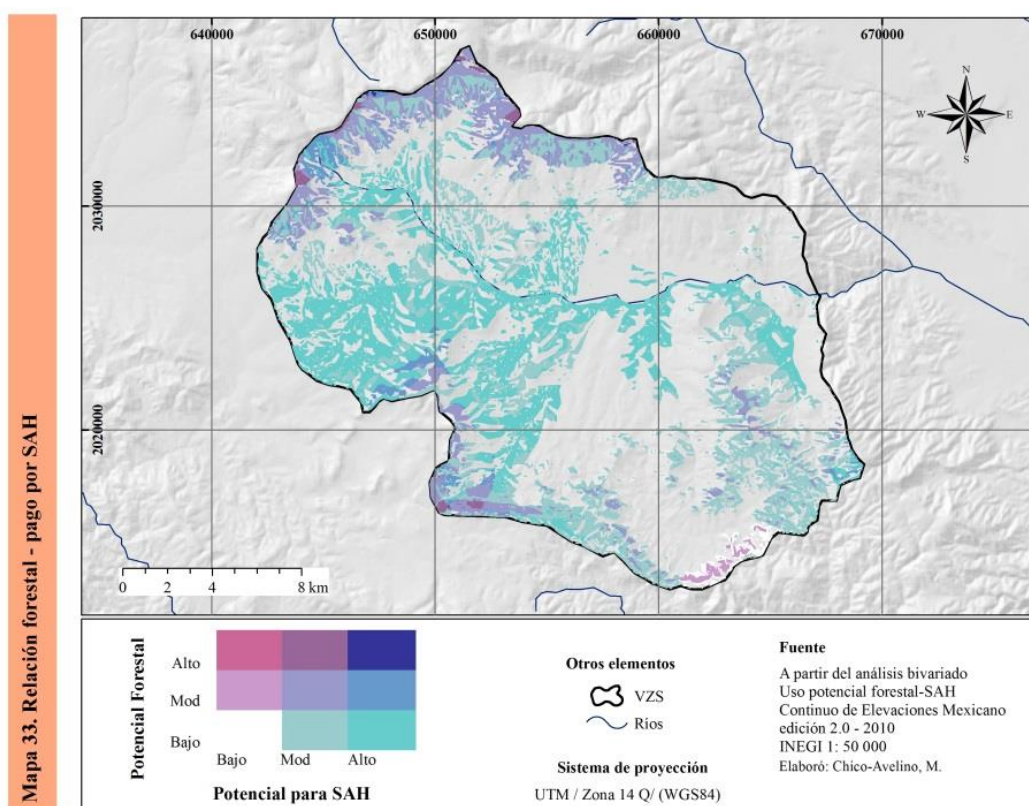
**Mapa 32.** Delimitación de zonas con uso potencial para pago por servicios ambientales hidrológicos.

Si bien estas zonas no presentan el mayor potencial para pago por servicios hidrológicos, porque se encuentran en zonas con pendientes altas y moderadas, lo que es un elemento adverso a la infiltración, a pesar de esta condición, son zonas que presentan la mayor precipitación dentro del VZS sobre todo hacia la porción noroeste, de la UAB 1, con intervalos que van de los 450 a 500 mm aunado a que son ubicaciones con vegetación nativa principalmente Matorral y Chaparral, que como lo menciona Ayala-Niño *et al.*, 2011, que las zonas de valores bajos para PSAH, se atribuye a la presencia del tipo de vegetación chaparral, que si bien su estructura no es predominantemente arbórea, cumple con las mismas funciones del bosque en zonas áridas.

Sin embargo son las zonas con mayor vulnerabilidad a pérdida de suelo por procesos de cambios en la cobertura vegetal que presentan transiciones principalmente a suelos sin vegetación aparente en la región norte en la UAB 2, mientras que en la parte sur en la UAB 3 se presentaron cambios hacia agricultura que como ya se ha analizado son abandonadas por falta de productividad (Mapa 21), lo cual implica una problemática ambiental severa en área de estudio, por lo que esta propuesta de zonas potenciales para el pago de servicios ambientales hidrológicos se posicionan como una alternativa para población la cual puede contribuir a la mejora en los sitios con pérdida de cobertura vegetal, así la fertilidad del suelo y a su vez al aumento de la calidad de vida de la población basada enfoques de conservación y buen manejo de los recursos naturales.

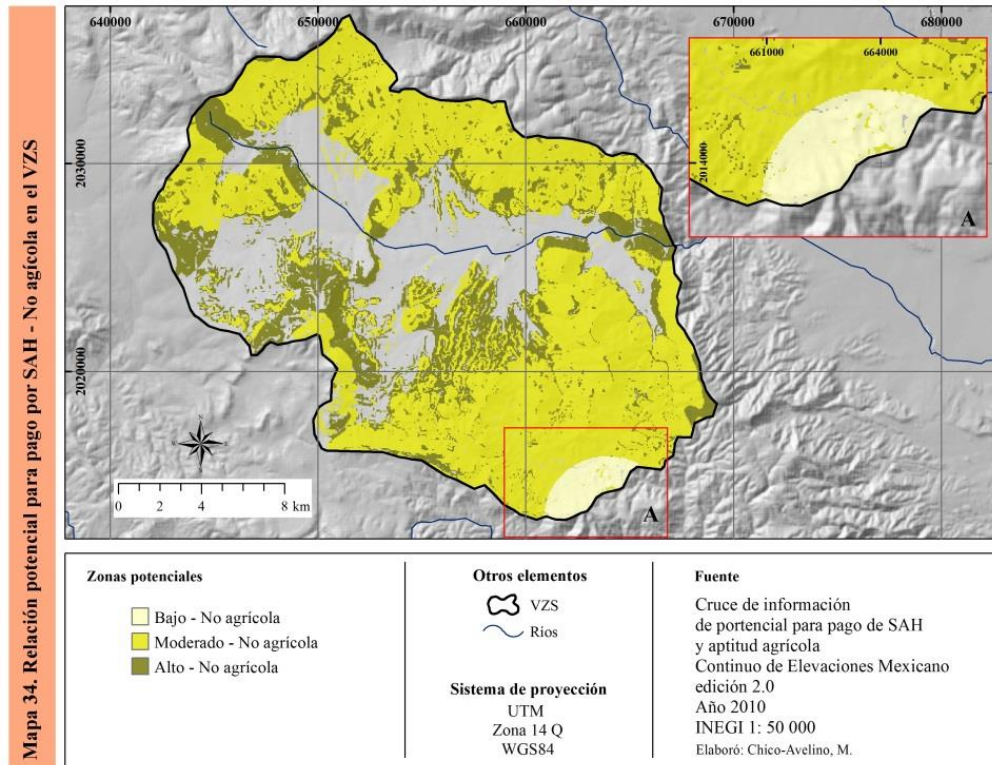
A su vez estas áreas con potencial alto y moderado para el pago de SAH están asociadas a las zonas con uso potencial forestal, lo que indica que estas áreas podrían gestionarse basadas en los programas de conservación con el objetivo de incluir el desarrollo económico y social, fortaleciendo los sistemas ambientales en función de su potencialidad de uso, reconsiderando los usos antrópicos que pueden generar escenarios de deterioro ambiental.

El Mapa 33, con un método de representación bivariado en donde se muestran las relaciones que existen entre estas dos variables, resultando que 16,642 ha presentan un potencial forestal y potencial para pago de SAH, con algunas de sus categorías baja, moderada o alta. En el caso de la relación potencial forestal bajo – potencial SAH alto tiene la mayor superficie con 6, 843.5 ha. Por su parte la relación potencial forestal bajo – potencial SAH moderado cuanta con 5,045.5 ha, otra de las relaciones que presentan una importante cobertura con 2,611.5 ha son moderado - moderado.



**Mapa 33.** Relación espacial entre zonas con potencial forestal y pago por servicios hidrológicos.

Por su parte otras 7, 776 ha representan la relación PSAH Alto- sin potencial agrícola, localizadas en la UAB 1 (Mapa 34), lo que involucra una fuerte posibilidad del territorio para adoptar este tipo de economía basado en los servicios ecosistémicos hidrológicos del área. Mientras que la relación que presenta la menor superficie fue PSAH Bajo- sin potencial agrícola, con tan sólo 749.5 ha, esta se localiza en la porción sur del área (Mapa 34 a), por lo que se podría decir que si bien la potencialidad del territorio no es propiamente agrícola, presentan otro tipo de usos potenciales que también incluyen a la población para obtener un beneficio económico basado en la conservación y manejo sustentable de los recursos.



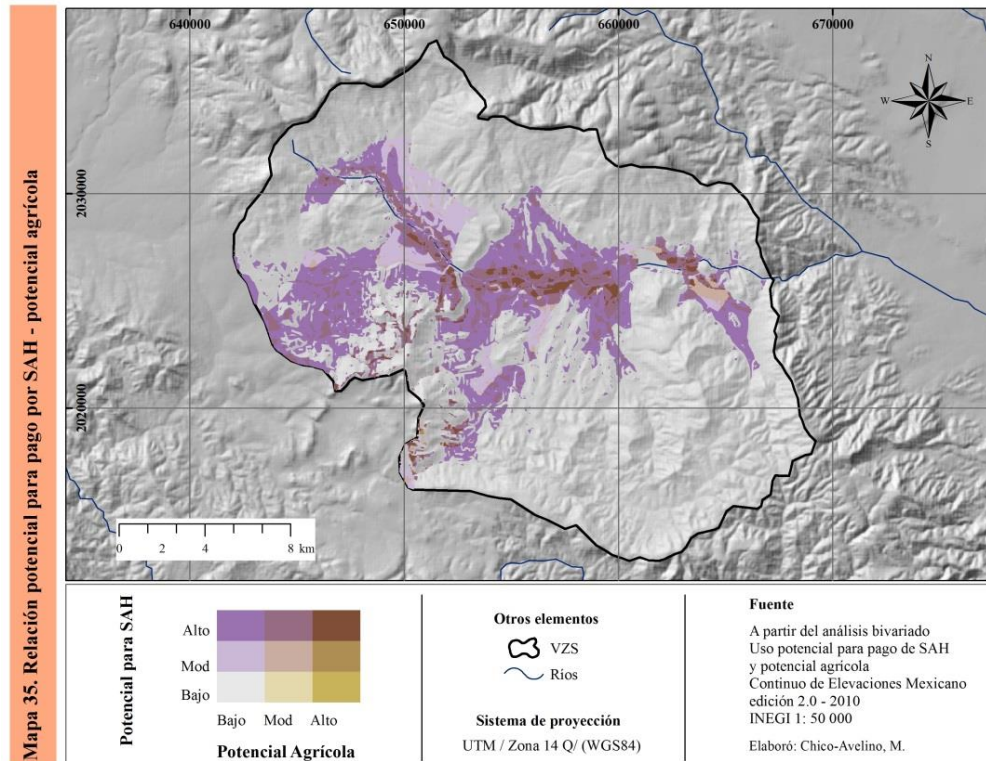
**Mapa 34.** Relación espacial entre zonas con potencial para pago por SAH y zonas sin potencial agrícola.

De igual manera se encontraron relaciones espaciales de estas zonas potenciales PSAH y zonas con potencial agrícola, en este caso se tienen 6 tipos de relaciones que son 1) PSAH moderado – agrícola bajo, 2) moderado y 3) alto y 4) PSAH alto – agrícola bajo, 5) moderado y 6) alto.

En el caso del potencial moderado PSAH, aquella que presento la mayor superficie ha sido PSAH moderado – agrícola bajo esta cuenta con 1, 497 ha, se localiza en la AUB 1, seguido de la combinación PSAH moderado – agrícola moderado distribuido en manchones asociados a la presencia del río y otras combinaciones como alto- bajo, moderado, alto; con 343 ha; por su parte con tan sólo 12.5 ha esta la relación PSAH moderado – agrícola alto estas se concentran en la porción suroeste, en la UAB 4 (Mapa 35).

Para las relaciones PSAH alto – agrícola en sus tres categorías (bajo, moderado, alto), se encuentran asociadas espacialmente cercanas a presencia del río Salado, en total cuenta con 10, 098 ha, de manera particular para cada relación se encontró que aquella que tiene la mayor cobertura es PSAH alto – agrícola bajo, esta presenta 5, 549.5 ha, se localizan en la porción a lo largo de la presencia del río Salado (Mapa 35).

Esta condición nos lleva a una alternativa de uso que se encuentra más favorecida por las condiciones del área, esta superficie es mayor que la agrícola, lo que indica que el territorio puede ofrecer otras potencialidades de uso que implican un beneficio tanto ambiental como en el desarrollo local.



**Mapa 35.** Relación espacial de zonas con potencial para PSAH y potencial agrícola.

Ya que como se ha analizado las principales transiciones observadas son a coberturas antrópicas principalmente agrícolas, cuando el área no cuenta con un alto potencial para la agricultura esto trae consigo deterioro ambiental, pérdida de suelo y cobertura vegetal nativa, debido a que las limitaciones ambientales son altas e implica alto coste, a diferencia del análisis de PSAH que ha resultado moderado-alto. Por lo que en estas zonas con la relación PSAH alto – agrícola bajo sería importante considerar la adopción de esta estrategia de conservación, para no comprometer el territorio a un uso que representa vulnerabilidad ambiental y falta de productividad en el sistema agrícola.

En cuanto a la combinación PSAH alto – agrícola moderado esta representa 2, 232 ha, asociadas a las relaciones PSAH alto- agrícola bajo y alto se localizan en la UAB 1 Mientras que aquella que presente menor superficie fue PSAH alto- agrícola alto con 463.7 ha (Mapa 35).

Dado esto, se puede decir que, esta porción del territorio si bien tiene cierta potencialidad agrícola, presenta un potencial mayor para PSAH, ya que presenta la mayor categoría es decir que es territorio cumple con los requerimientos biofísicos para este proceso ecosistémico a contrapunto del agrícola ya que la mayor superficie que está relacionada con zonas de PSAH es la categoría baja para agricultura por lo que las condiciones no cumplen con la mayoría de los requerimientos, lo que implicaría mayor coste, limitaciones y compromisos ambientales.

Por lo que este análisis indica que no sólo la vegetación con componentes arbóreos, son las únicas áreas con capacidad de proveer servicios ambientales hidrológicos, sino se muestra



como las zonas áridas cumplen con condiciones adecuadas para ser incluidas en los esquemas de PSAH como lo menciona Ayala-Niño *et al.*, 2011.

## **5.0 Áreas con uso inadecuado del territorio en el valle de Zapotitlán Salinas.**

Las áreas semiáridas enfrentan problemáticas ambientales que le confieren una alta vulnerabilidad ambiental. El cambio de uso de suelo es uno de los principales motores de modificación del paisaje, que derivan en pérdida de hábitat, pérdida de especies y pérdida de sustentabilidad en los sistemas tanto ecológicos como productivos.

El cambio de uso de suelo en matorrales no ha recibido un nombre específico, aunque a veces se le incluye bajo el rubro de desertificación en el sentido de que se trata de “degradación ambiental en zonas áridas (incluye zonas subhúmedas y semiáridas)”. De acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), los matorrales de las zonas áridas y semiáridas del país son también vegetación forestal, por lo que bien se podría aplicar también el término deforestación, aunque para diversos órganos internacionales la deforestación se restringe a zonas arboladas (SEMARNAT, 2013), lo cual limita la posibilidad de delimitación de áreas prioritarias o vulnerables por deforestación en los sistemas áridos.

Los matorrales, huizachales y mezquitales que caracterizan a las zonas áridas y semiáridas de México también han sido deteriorados por el hombre. Sin embargo, en muchos casos no se da la importancia debida a la degradación de estos tipos de vegetación ya que se les considera más un problema que un recurso. Es frecuente la concepción errónea de que los desiertos son un producto indeseable de las actividades humanas y a menudo se habla de “convertir el desierto en un vergel” a fin de remediar sus pobres condiciones. Por el contrario: los desiertos mexicanos son ecosistemas ricos en especies, muchas de ellas endémicas (SEMARNAT, 2013).

La mayoría de estos cambios que sufre la vegetación natural se enfocan a usos como ganadería, agricultura, urbanización (infraestructura) con el fin de satisfacer necesidades de las poblaciones. De manera específica los procesos de expansión de la frontera agrícola son parte importante de las estrategias de desarrollo agrícola de los gobiernos, enmarcadas a su vez en el desarrollo global. Dichas estrategias además de una serie de efectos económico-sociales en el medio natural, están provocando notorias modificaciones ambientales como: erosión, agotamiento de los suelos, sedimentación, y pérdida de flora y fauna (García *et al.*; 2000).

Esta modificación del paisaje, se encuentra íntimamente asociada al estado actual del uso del suelo que indica la relación hombre-suelo (naturaleza) en un ámbito específico. El incremento de la frontera agrícola y el cambio en la espacialidad de los sistemas agrícolas son hechos a valorar en el contexto nacional (Soto y Soto, 1992).

Bajo este panorama se han desarrollado distintas investigaciones en torno a la ocupación de los territorios y su potencial de uso, con el fin de encontrar áreas con usos inadecuados

(algunos autores los denominan usos de conflicto) basados en la evaluación del uso actual del suelo y las zonas con potencial para desarrollar ciertos usos en particular.

García *et al*; en el 2000, publicaron un trabajo titulado delimitación y caracterización de las tierras con uso inadecuado para la agricultura en el distrito de desarrollo rural 004 en Celaya, Gto. En donde caracterizaron física y socio-económicamente el área, para después analizar las zonas uso inadecuado, encontraron que la superficie agrícola incremento 31, 763 ha. Estimando que la superficie inadecuada para agricultura de temporal corresponde al 37 % del territorio. Así mismo identificaron que las principales limitantes para la agricultura son elevaciones altas, pendientes pronunciadas, suelos poco profundos, escasas vías de comunicación, baja densidad de población, mayor grado de analfabetismo y alta migración de sus pobladores.

En 2008, Cortes evaluó las discrepancias entre uso actual y potencial de las laderas del valle de Orosi, Colombia; considera que la problemática ambiental del área, se debe a que el territorio del valle cuenta con condiciones agroecológicas y geomorfológicas inapropiadas para la actividad agrícola, como es el caso del café (*Coffea arabiga*) cultivado sobre laderas de pendientes pronunciadas e irregulares. Al empatar el uso actual con el uso potencial identificaron que más del 36 % del territorio presenta un uso agrícola de cultivo de café tienen un uso inadecuado debido a que se desarrolla en laderas, en donde por la geomorfología presentan uso potencial forestal.

Más recientemente el gobierno regional de Cajamarca, Perú en 2010 diseñó un sub modelo para evaluar los conflictos de uso, evaluó el uso actual del territorio y el uso potencial, definiendo dentro su análisis áreas con uso adecuado- uso conforme y áreas con uso inadecuado por subuso y sobreuso – con conflicto. Demostrando que las tierras en uso conforme, ocupan el 50.95 % del territorio, en donde el uso actual concuerda con la vocación natural del suelo para producir. En el caso de los conflictos por sobreuso que se consideró cuando el uso actual del suelo está por encima de la vocación natural del mismo, ocupan el 28.51 % de este territorio, están cubiertos en su mayoría por cultivos agrícolas y por cultivos permanentes como el café preferentemente, ocupando suelos con pendientes pronunciadas; siendo estas tierras, según su vocación natural aptas para producción forestal y otras clasificadas como Tierras de Protección. Por su parte los conflictos por subuso que se consideran cuando el uso actual del suelo, está por debajo de la vocación natural del mismo, que comprende el 20.20 % del territorio, se distribuyen en los valles, en las laderas. Ocupadas por bosques naturales, pastos naturales, vegetación escasa, afloramientos rocosos; siendo estas aptas para producción forestal, para cultivos permanentes, para pastos, así como para cultivos agrícolas.

Por lo anterior el objetivo de este capítulo es analizar las relaciones espaciales entre la potencialidad de usos del territorio y el uso actual del VZS; en este caso se han definido como zonas inadecuadas a las discrepancias que existen en el uso actual y el potencial, debido a que el uso actual no es el más óptimo para el territorio, y que puede causar erosión, degradación, pérdida de especies, o en su caso pudiese traer otro tipo de beneficios ambientales que bajo un esquema de economía sustentable.

Las áreas con uso inadecuado se delimitaron comparando o superponiendo el mapa de uso actual (2016), con el mapa de uso potencial. El resultado de este proceso permite luego de una confrontación de usos, generar un mapa en donde se localizan las áreas de uso adecuado e inadecuado. Así mismo se ha definido como áreas con uso adecuado a aquellas en donde el uso actual corresponde al uso potencial. Dentro de la nomenclatura de las áreas con uso inadecuado se consideraron dos categorías uso inadecuado por subuso y sobreuso. En el caso de subuso son aquellas en donde los usos actuales presentan un uso potencial forestal y agrícola y que no son utilizadas con esos fines. Mientras que el sobre uso en aquellos casos en donde la ocupación actual presentan presiones ambientales que no coinciden a con el potencial causando deterioro ambiental, como zonas que tienen potencial forestal, de conservación, pago por servicios ambientales hidrológicos y que son utilizadas para cultivos, pastizales o están desprovistos de vegetación.

## 5.1 Confrontación del uso potencial de conservación y restauración y uso actual (2016).

En el caso del uso potencial conservación y restauración en el VZS, si bien el área se encuentran inmersa en la reserva de Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, no se cuenta con datos a la escala adecuada que muestren que el territorio se encuentra bajo esquemas de conservación y restauración que les permita a los pobladores generar una alternativa económica a través de la protección de los recursos naturales.

Por este motivo para el rubro de conservación no se identificaron zonas con uso adecuado, por lo que las superficies con vegetación nativa como matorral y chaparral se han considerado como uso inadecuado de subuso, ya que esta vegetación bajo un esquema de conservación serían potencialmente áreas para proyectos ambientales y de pago por servicios ambientales. De la superficie que ha presentado potencial para conservación que comprende 3, 940 ha, el 58 % de ese total se encuentra bajo categoría inadecuado por subuso, ésta categoría comprende como ya se mencionó la vegetación de tipo matorral crasicaule, rosetófilo y chaparral (Cuadro 28), es decir vegetación nativa de zonas semiáridas que podrían ser zonas potenciales para esquemas de conservación.

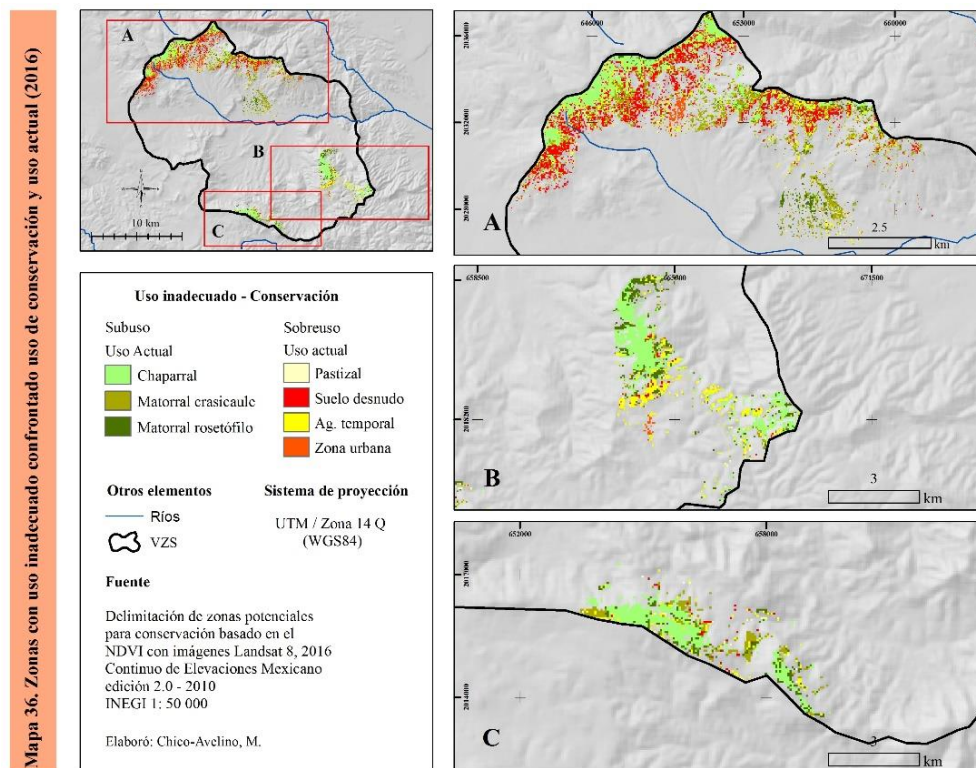
**Cuadro 28.** Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial de conservación.

Conservación - uso inadecuado	Uso actual 2016						
	Chaparral	Matorral crasicaule	Matorral rosetófilo	Pastizal	Suelo desnudo	Ag. temporal	Zona urbana
Subuso	1,164.8	812.8	307.8	-	-	-	-
sobre uso	-	-	-	97.5	943.25	563.5	50.5
	TOTAL subuso			TOTAL Sobreuso			ha Totales
	2,285.25			1,653.75			3,940
	58%			42%			

Por lo que se sugiere que estas áreas se destinen a proyectos de conservación que favorezcan los servicios ambientales del VZS, de igual manera que permitan tener una mayor gestión de

las especies nativas y endémicas, ya que como se ha analizado presentan alta vulnerabilidad a los cambios de uso suelo que derivan en suelos sin vegetación aparente (Mapa 21), incluso impulsarlas como zonas de uso forestal e incluirla en pago por servicios ambientales.

Estas áreas con subuso se localizan en porciones agregadas, distribuidas en la UAB 2 (a), UAB 3 (b) y UAB 4 (c) del valle, asociadas a la vegetación nativa, sin embargo se puede observar que presentan cierta fragmentación, lo cual aunado a que existen usos de tipo antrópico (agricultura, pastizal, suelo desnudo) puede generar altas presiones a estos sistemas (Mapa 36), ya que en el análisis de cambios en las coberturas se identificó que estas zonas es en donde la vegetación tiende a cambiar sobre todo por parte del chaparra y matorral crasicaule hacia agricultura de temporal en la UAB 3 y con cambios a suelo desnudo por parte de matorral crasicaule (pérdida de cobertura nativa), pastizal y agricultura de temporal (abandono de áreas de cultivo).



**Mapa 36.** Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de conservación y uso de suelo 2016.

Dada esta condición en donde los sistemas de vegetación nativa sufren de presiones de cambios a zonas de producción y que estos al no rendir la producción suficiente son abandonados generan un fuerte impacto, por lo que con el conocimiento que estas áreas pueden considerarse importantes dentro del proceso de conservación que puede a su vez involucrarse en proyectos ambientales estos puede generar beneficios ambientales y económicos, así como la sustentabilidad para las siguientes generaciones tengan estos beneficios.

Por su parte el 42 % de las zonas con potencial para conservación que presenta sobreuso, son áreas de pastizal, agricultura de temporal, zona urbana y suelo desnudo, siendo esta última

aquella que presenta mayor discrepancia con el uso potencial de conservación (Cuadro 35), lo que indica que estas zonas no tienen alto potencial para agricultura por esta razón al desarrollarse un cambio de uso se genera un fuerte impacto en el sistema, esto se contrarresta por lo reportado por Dzendoletas, 2015, que en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Patagonia, Argentina, encontró que el 2% del presente conflicto potencial de uso entre zonas de producción y zonas de conservación. Por lo que estas áreas son un importante espacio para proyectos de reforestación con especies nativas que favorezcan a las comunidades de matorral y chaparral y contribuir así al proceso de conservación que se concentra en estas zonas para contrarrestar otro tipo de impactos.

Estas áreas con uso inadecuado por sobreuso se localizan en las porciones norte, suroeste y sureste asociadas a aquellas con subuso, lo cual muestra que estas zonas con uso potencial para conservación se ubican en los límites de las UAB 2, 3, 4 (Mapa 36), lo cual las hace aún más vulnerables a los cambios en la cobertura vegetal, sin embargo se ha visto que estas transiciones más que generar un beneficio, resultan en zonas de baja producción (agrícola), que debido a las condiciones ambientales son difíciles de recuperar por lo que al conocer su uso potencial para conservación se pueden considerar para destinos como pago de servicios ambientales, protección u alguna otra estrategia de conservación.

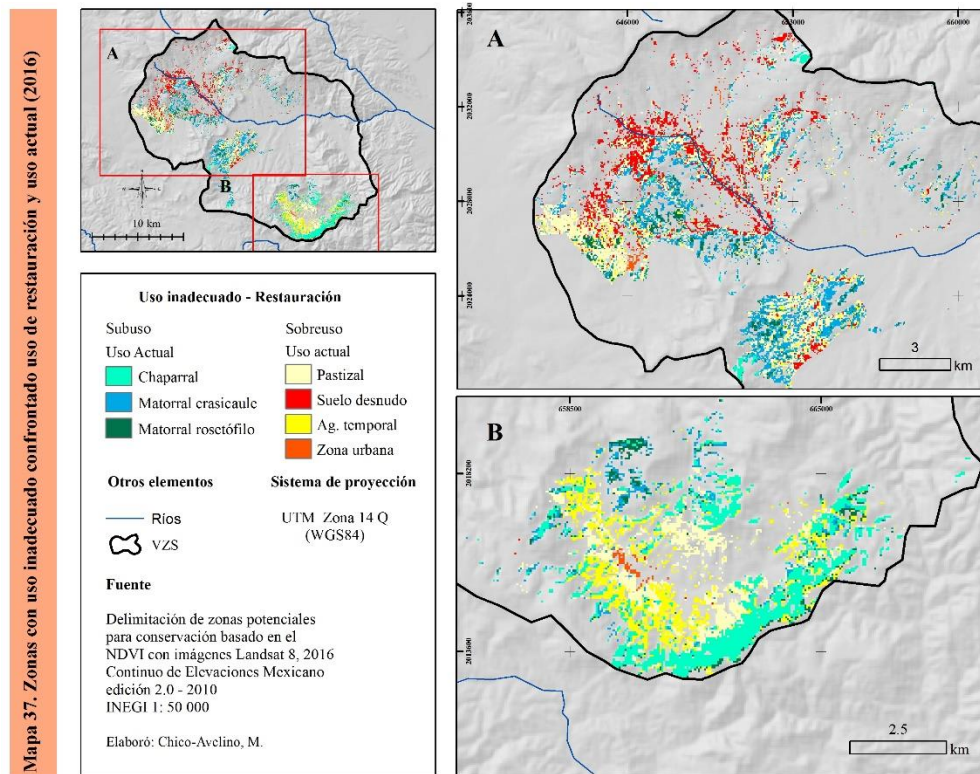
En cuanto al uso potencial para restauración se delimitaron únicamente áreas con uso inadecuado bajo las categorías de subuso y sobreuso, siendo las mismas coberturas asociadas que para el uso potencial de conservación; sin embargo en este caso las áreas con sobreuso representan la mayor discrepancia, ya que del área total del VZS que mostró una potencialidad para restauración que comprende 6, 287 ha, el 57% de esta superficie presenta un sobreuso, lo cual indica que estas áreas se encuentran bajo presiones ambientales que implican cambio en la estructura y composición vegetal, provocando pérdida de vegetación, erosión, degradación de los suelos, por lo tanto afecta la complejidad funcional de los sistemas, posicionándose así como zonas prioritarias de restauración. En estas áreas con sobreuso las coberturas que mayor superficie discrepancia son pastizales y suelo desnudo (Cuadro 29).

**Cuadro 29.** Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial de restauración.

Restauración - uso inadecuado	Uso actual 2016						
	Chaparral	Matorral crasicaule	Matorral rosetófilo	Pastizal	Suelo desnudo	Ag. temporal	Zona urbana
Subuso	801.0	1,444.8	391.0	-	-	-	-
Sobreuso	-	-	-	1,937	1,003.75	660	49.5
	TOTAL Subuso			TOTAL sobreuso			ha Totales
	2,636.75			3,600.75			6,287
	43%			57%			

Estas áreas con sobreuso se localizan en las 4 AUB, concentrándose principalmente al norte de la UAB 1 y al suroeste de la UAB 3, en donde las principales discrepancias son entre potencial de restauración y pastizal y suelo desnudo (Mapa 37 a). Así mismo en esta porción es donde en el análisis de cambio de coberturas se identificaron los principales cambios

hacia suelo sin vegetación aparente (Mapa 25) siendo un punto de prioridad ambiental ya que los procesos de erosión son altos por la falta de cobertura.



**Mapa 37.** Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de restauración y uso de suelo 2016.

En el caso de la parte sur, las áreas delimitadas con este uso inadecuado están asociadas a procesos de cambio de cobertura hacia usos agrícolas (Mapa 25), siendo uno de los cambios identificados con riesgo de erosión debido al abandono de áreas de baja productividad, con discrepancia con usos actuales agrícolas y pastizales (Mapa 37 b).

Por lo que teniendo el conocimiento que estas áreas requieren de restauración, se sugiere contrarrestar los usos agro-pastoriles, ya que esta zona no presenta aptitud para soportar estas actividades debido a las condiciones biofísicas, ya que son zonas de laderas pronunciadas y superficies cumbreles, que limitan las actividades agrícolas como lo menciona Álvarez-Olguín *et al.*, 2016 que menciona que los conflictos de uso, se dan principalmente en la pérdida de áreas forestales debido a la actividad ganadera es por ello que realizar un repoblación con el objetivo de generar espacios con vegetación nativa que en algún momento lleguen a tener potencial para conservación y así involucrar a la población en proyectos de economía sustentable.

Para las áreas con subuso se delimitaron un total de 2, 636.75 ha que comprende a las coberturas que son matorral y chaparral, siendo el matorral crasicaule aquellas que presenta la mayor discrepancia con el uso potencial para restauración (Cuadro 29).

## 5.2 Confrontación de uso potencial agrícola y uso actual (2016).

Al realizar el emplazamiento del uso potencial agrícola y el uso para el año 2016, se identificaron áreas con uso adecuado, estas comprenden el 12.5 % del total del territorio que presentó potencial agrícola que corresponde a 39, 118. 5 ha (Cuadro 30). Estas áreas se localizan principalmente en la porción central del VZS asociadas al piedemonte, valle intermontano y fondo de valle, siendo zonas de sedimentación, aunado a que se encuentran próximas al río el Salado, en la UAB 1.

**Cuadro 30.** Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial agrícola.

Agrícola - uso inadecuado	Uso actual 2016								ha totales
	Chaparral	Matorral crasicaule	Matorral rosetófilo	Pastizal	Suelo desnudo	Zona urbana	Salinas	Temporal	
Subuso	4396.75	1,2754.25	6,642.5	-	-	-	-	-	
Sobreuso	-	-	-	5,023.25	5,029.5	399	0.75	-	
Agrícola - uso adecuado	-	-	-	-	-	-	-	4,872.5	
	TOTAL subuso			TOTAL sobreuso				TOTAL adecuado	39,118.5
	23,793.5			10,453				4,872.5	
	60.8 %			26.7 %				12.5%	

En el caso del territorio con uso inadecuado con categoría de sobreuso comprende el 26.7 %, las discrepancias más representativas son con el suelo desnudo, seguido del pastizal (Cuadro 30), por lo que estas áreas pudiesen ser aquellas que reflejen mayores rendimientos sin riesgo de erosión y pérdida de suelo, además que los recursos hidrológicos en esta porción del área se encuentran menos limitados.

En el caso de la categoría de subuso se tiene que el 60.8 % de las áreas con potencial agrícola siendo el matorral crasicaule el que presenta mayor discrepancia de uso (Cuadro 30), por lo que estas áreas que tienen un potencial agrícola pueden soportar esta actividad, es decir cumplen con las características biofísicas, por lo que se esperaría que el impacto sea menor en esta porción del territorio.

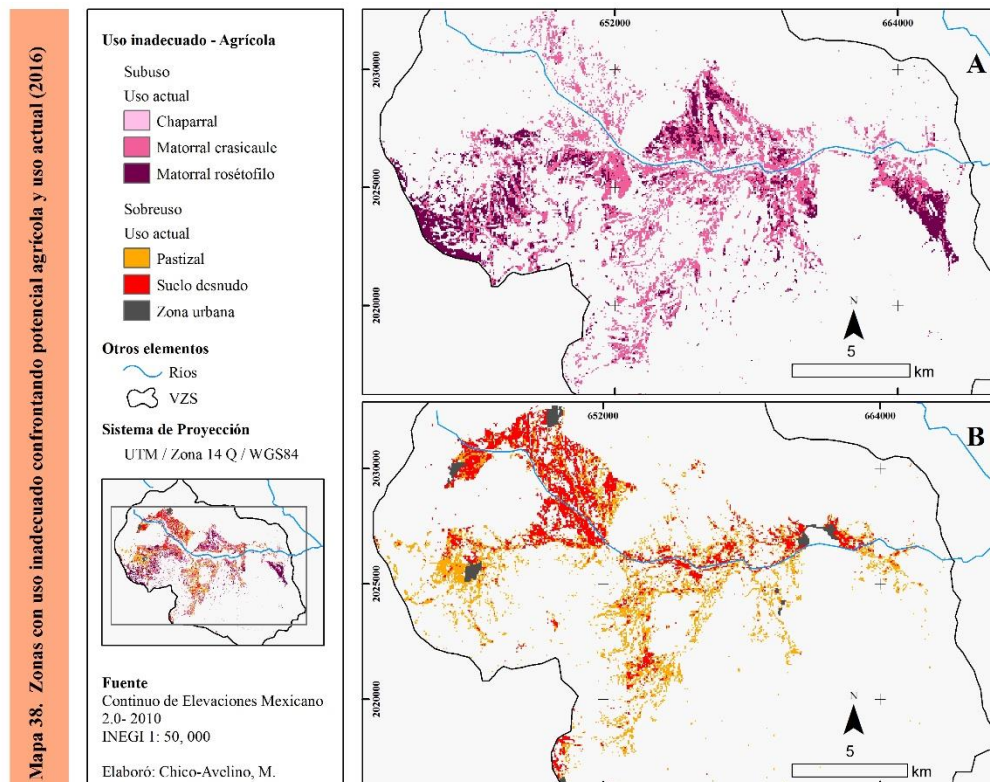
Si bien el 60.8 % del territorio que presenta potencial para agricultura presenta un uso inadecuado con subuso, ha sido preciso analizar cada una de las categorías de uso potencial agrícola que se encuentran bajo esta categoría. El potencial agrícola bajo, es aquel que presentó la mayor superficie de discrepancia con un total de 18, 866.5 ha (Cuadro 31).

En el caso del potencial moderado mostró 3, 679.5 ha. Mientras que el potencial alto únicamente presento 969.5 ha con subuso. Para cada categoría de potencial agrícola (bajo, moderado y alto), el matorral crasicaule es que aquel que cuenta con mayor superficie posicionándose como aquella cobertura que con mayor discrepancia, seguida del matorral rosetófilo y aquella que presenta la menor superficie es la chaparral (Cuadro 31).

**Cuadro 31.** Superficie en ha para el uso inadecuado con subuso confrontando uso actual (2016) y uso potencial agrícola en sus tres clases bajo, moderado y alto.

	Chaparral	Matorral crasicaule	Matorral rosetófilo	
<b>Agrícola - sub uso</b>	Uso actual 2016			<b>TOTAL discrepancias</b>
Potencial bajo	4,271.75	9,506.25	5,088.5	18, 866.5
Potencial moderado	76.75	2,326.75	1,276	3, 679.5
Potencial alto	48.25	921.25	278	969.5

Con esto se puede decir que la superficie que tiene el potencial agrícola alto (969.5 ha), es la que se recomendaría destinar a agricultura en caso de considerar un cambio de uso de suelo, ya que estas zonas son aquellas en donde la aptitud es mayor para soportar las actividades agrícolas, en segundo plano las de potencial moderado y en la última las de potencial bajo, debido a que estas presentan mayores limitantes para la agricultura lo que puede generar situaciones ambientales adversas antes las demandas ambientales de los cultivos, derivando en baja productividad y degradación ambiental. Estas áreas con uso inadecuado para potencial agrícola con subuso, se localizan principalmente en porción central del valle, asociadas a las principales zonas de acumulación en el valle intermontano y piedemonte con pendientes bajas, así mismo se encuentran próximas al curso del río el Salado (Mapa 38 a).



**Mapa 38.** Delimitación de áreas con uso adecuado de uso potencial de agrícola y uso de suelo 2016.

Para aquellas zonas que presentan un uso inadecuado por sobresuso, se tiene que aquellas coberturas con las que se considera que el territorio sufre de presiones ambientales por parte de la ocupación para el 2016 son pastizal, suelo desnudo y zonas urbanas.



Ahora bien dentro de las clases de uso potencial agrícola se tiene que aquella que presenta la menor superficie de sobreuso es el potencial bajo con 6, 719.25 ha concentrándose en zonas de pastizal siendo esta la que mayor discrepancia tiene. El potencial moderado cuenta con 2, 677.5, en este caso también el pastizal es la cobertura con mayor discrepancia, seguido del suelo desnudo (Cuadro 32).

**Cuadro 32.** Superficie en ha para el uso inadecuado con sobre uso confrontando uso actual (2016) y uso potencial agrícola en sus tres clases bajo, moderado y alto.

	Pastizal	Suelo desnudo	Zona urbana	
<b>Agrícola - sobre uso</b>	Uso actual 2016			<b>TOTAL discrepancias</b>
Potencial bajo	3,071.25	3,443	205	6, 719.25
Potencial moderado	1, 465.5	1,083	129.5	2, 677.5
Potencial alto	486.5	503.5	64.5	1,054.5

Al igual que el subuso, el sobreuso la clase de potencial agrícola alta, cuenta con menor superficie la cual comprende 1, 054.5 ha, siendo menos del 5 % de la superficie con potencial agrícola (Cuadro 32), sin embargo a pesar de que sea poca la superficie estas serían las zonas que tienen ya un uso antrópico pero que si se destinarán a usos agrícolas, presentarían menores limitantes.

En el caso de estas áreas la cobertura que presenta más superficie es el suelo desnudo por lo que el permitir un repoblamiento de vegetación y generar espacios con potencial agrícola con cultivos que se adapten a la condiciones del área podrían ayudar a revertir el impacto del suelo desnudo. Estas zonas se localizan en la UAB 1, asociadas al cauce del río en zonas de sedimentación, con pendientes bajas que favorecen la acumulación de nutrientes (Mapa 38 b). Estas zonas por lo tanto son aquellas que se consideran que cuentan con el mayor potencial en caso de implementar actividades agrícolas, sin embargo sería necesario definir las especies a cultivar para realizar un análisis de aptitud del área de forma específica.

En el caso de las zonas con uso adecuado se encontró que la clase de uso potencial agrícola con mayor superficie es la baja con 3, 907 ha, seguida el potencial moderado con 694 ha y por último 271 las de mayor congruencia en uso, con potencial alto.

### **5.3 Confrontación del uso potencial forestal y uso actual (2016).**

Para la confrontación de la información de uso potencial forestal evaluada para el VZS y el uso del suelo para el 2016, no se identificaron áreas con uso adecuado, correspondiendo únicamente a usos inadecuados con una superficie de 16, 586.75 ha con uso inadecuado, es decir zonas que podrían utilizarse con un uso forestal y están siendo aprovechadas bajo otro uso. En el caso de las áreas con uso inadecuado con subuso se tiene un superficie de 10, 081 ha lo que comprende el 60.7 % de la superficie con uso inadecuado (Cuadro 33), estas zonas están relacionadas a las coberturas como chaparral y matorral crasicuale y rosetófilo.

**Cuadro 33.** Superficie en ha para las categorías de uso inadecuado confrontando uso actual (2016) y uso potencial forestal.

	Uso actual 2016						
Forestal- uso inadecuado	Chaparral	Matorral crasicaule	Matorral rosetófilo	Pastizal	Suelo desnudo	Ag. Temporal	Zona urbana
Subuso	2,648.75	5,033.25	2,399.5	-	-	-	-
sobreuso	-	-	-	2,149	2,515.00	1,717.5	123.75
	TOTAL sub uso	10,081.50		TOTAL sobre uso	6,505.25		
		60.78 %			39.22 %		

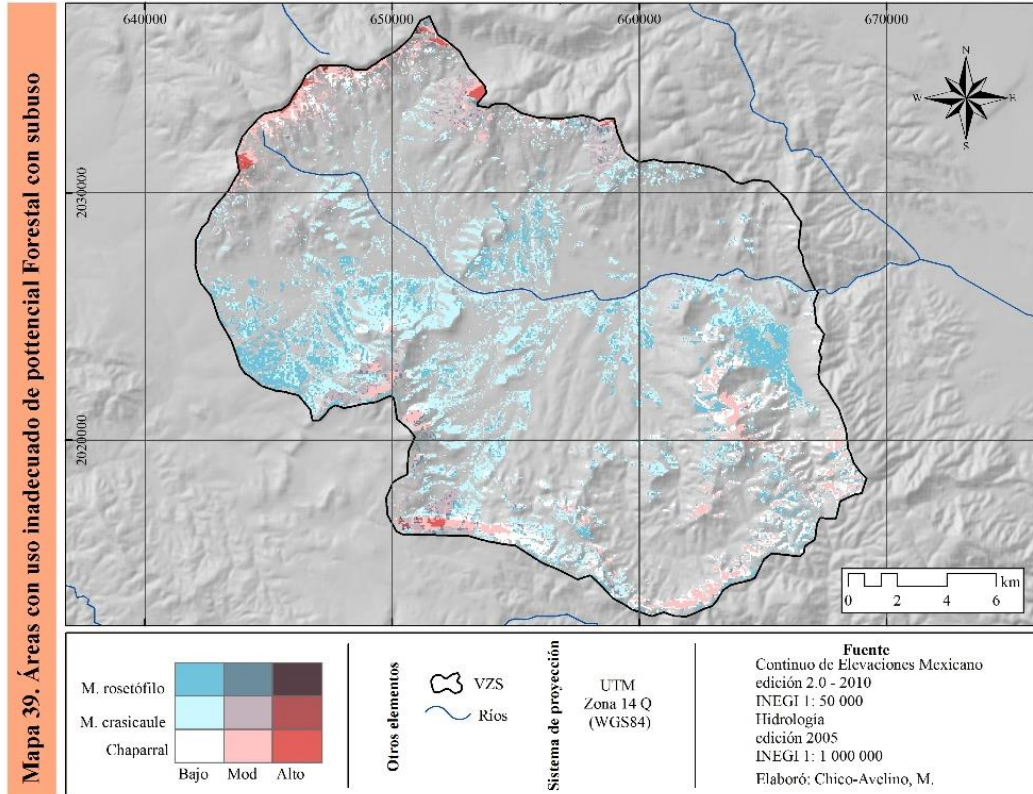
Por lo que son sitios con alta calidad ambiental en el sentido de la composición y estructura que pueden incluirse como espacios de uso forestal, que pueden generar beneficios ambientales que ofrezcan servicios ambientales como hidrológicos, secuestro de carbono, retención de suelo, conservación de la biodiversidad, que bajo los esquemas de pagos por servicios ambientales puede generar incentivos económicos por el sostenimiento de estos servicios.

De estas zonas con uso inadecuado por subuso se tiene que aquellas que presentan las aptitudes forestales más altas se localizan principalmente en la AUB 2 y 4, asociadas principalmente a pendientes y elevaciones altas, estas comprenden 141.25 ha (Mapa 39), contando con alta capacidad para sustentar las actividades forestales (Mapa 31).

Asociadas a estas zonas se encuentran aquellas que tienen un potencial forestal moderado, que no tiene un uso forestal (subuso), se localizan en la porción norte y sur, comprendiendo una superficie de 2, 005.75 ha (Mapa 39). Por último aquellas zonas que tienen la mayor superficie de estos espacios con uso inadecuado (subuso) con 7, 934.5 ha, son las que presentaron potencial forestal bajo, estas se ubican de manera amplia en el valle, concentrándose principalmente en la porción central, por lo que su potencial forestal no es el óptimo (Mapa 39).

En cuanto a las áreas con uso inadecuado con sobreuso cuentan con una superficie 6, 505 ha que representan el 39.22 % del total de zonas inadecuadas (Cuadro 33). Los usos inadecuados bajo esta categoría se encuentran asociados a coberturas de origen antrópico como pastizal, agricultura de temporal, zonas urbanas y áreas sin vegetación aparente.

Esto concuerda con lo reportado por Álvarez-Olguín *et al.*, 2016 que identificó que el 29.6% del Guadalupe Cuautepéc presenta conflicto de sobreuso, es decir se encuentra en conflicto, el cual consiste principalmente en la pérdida de áreas forestales o agrícolas debido a la actividad ganadera.



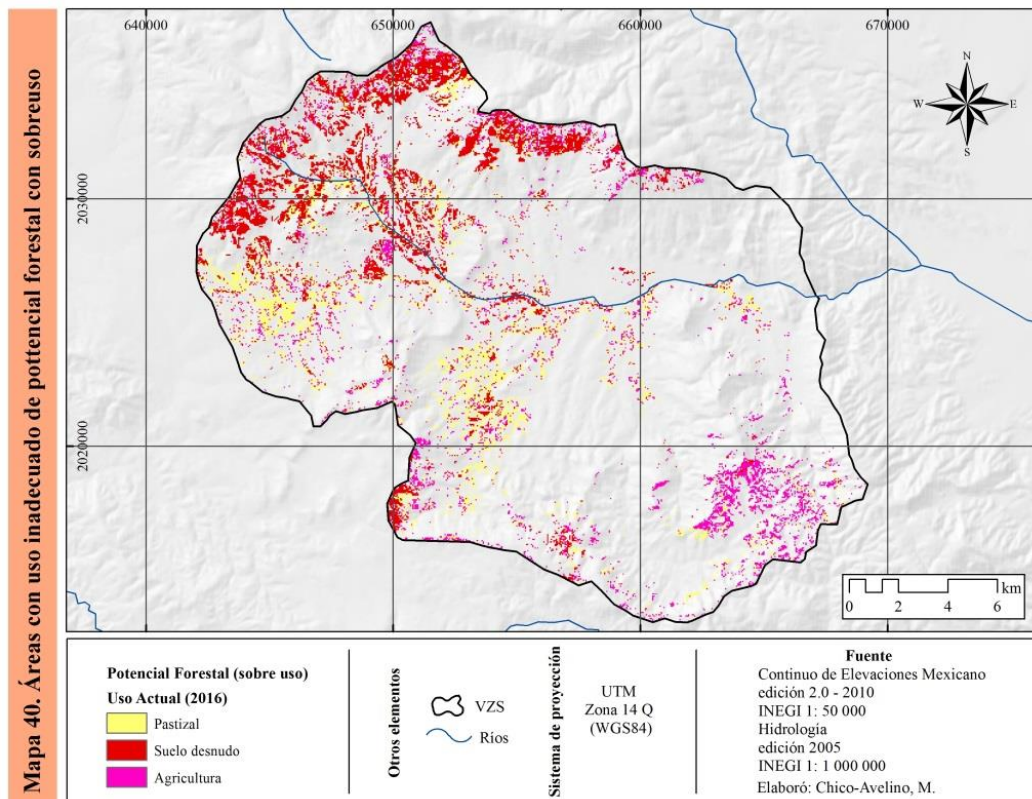
**Mapa 39.** Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de forestal por subuso y uso de suelo 2016.

La cobertura que mayor superficie de conflicto presentó fue el suelo desnudo con 2, 515 ha que comprenden el 38.6 % del territorio con sobreuso (Cuadro 33), es decir que las zonas que derivan en suelos desnudo probablemente por abandono de cultivos (Mapa 21), presentan un potencial forestal, lo que posiciona a este uso como una alternativa más acorde a las condiciones ambientales y que no implica un deterioro al sistema ambiental en el área, generando a su vez un proceso de economía sustentable.

Por lo que estas áreas se proponen para mecanismos de restauración que permitan incrementar la calidad de la vegetación, para posteriormente impulsarlos como áreas con uso forestal.

Estas áreas con sobreuso se encuentran ampliamente distribuidas en el valle, generando una fuerte presión sobre los recursos principalmente sobre el suelo que debido a las condiciones semiáridas de la zona es altamente vulnerable a la erosión, dejándolo en condiciones prácticamente nulas para la restauración (Mapa 40).

En el caso de las zonas más vulnerables como el suelo desnudo que fue aquella que presentó mayor superficie con 2, 515 h se localiza en la UAB 2, asociadas a pendientes altas de laderas pronunciadas y superficies cumbreles que presentan un limitaciones para actividades agrícolas y de pastoreo, por tal motivo el uso forestal es el más adecuado basado en esta propuesta (Mapa 40). La clase de potencial forestal que presentó mayor fue superficie fue la baja con 1, 624 ha, seguida de la clase moderado con 882. 75 ha.



**Mapa 40.** Delimitación de áreas con uso inadecuado de uso potencial de forestal por sobreuso y uso de suelo 2016.

Por su parte las zonas con un uso inadecuado con sobreuso son las zonas con uso actual de tipo pastizal, y que a su vez presentaron uso potencial en cualquiera de sus categorías (bajo, moderado, alto) éstas áreas cuentan con 2, 149 ha (Cuadro 33).

Estas se localizan principalmente en la porción oeste (Mapa 40). De esta superficie la clase que aptitud forestal que más cobertura presentó fue la baja con 1, 951.59 ha, mientras que la categoría moderada tiene 194 ha. Para el caso de los espacios con sobre uso por agricultura –potencial forestal comprende 1, 717.5 ha (Cuadro 33). Estas se ubican en la porción sureste (Mapa 40) en donde los cambios de uso mostraron transiciones hacia agricultura (Mapa 21). La clase de potencial forestal alto comprendió 1, 433.50 ha y 275.75 ha la clase moderada.

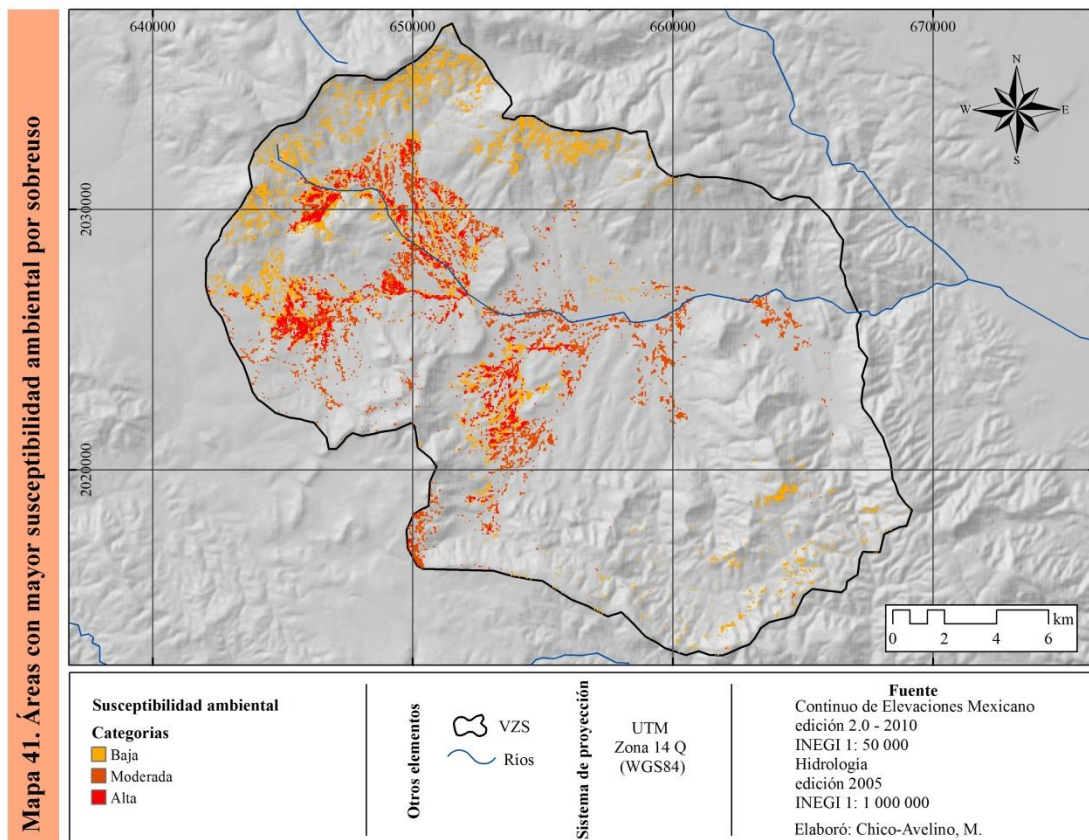
## 5.4 Áreas con mayor susceptibilidad ambiental resultante de la confrontación del uso actual y potencial del suelo.

La zonificación se realizó a partir del emplazamiento de las capas de información de las zonas inadecuadas para cada uso potencial que fueron, uso potencial agrícola, forestal, conservación, restauración y pago por SAH, considerando únicamente los usos inadecuados de sobreuso que incluían coberturas de tipo antrópico que son pastizal, suelo desnudo, agricultura de temporal y zonas urbanas. Estos usos presentaron una mayor cobertura en el

análisis de usos inadecuados, es por ello que se realizó el análisis para conocer cuáles son las áreas con mayor susceptibilidad.

Se definieron 3 categorías que son, susceptibilidad baja, moderada y alta, las cuales presentaron usos inadecuados por sobreuso en al menos tres usos potenciales. En el caso de la categoría baja presentó uso inadecuado de 3 usos potenciales, seguida de la moderada que mostró sobreuso en 4 usos potenciales y la alta contó con sobreuso en los 5 usos potenciales, es decir son las zonas que a pesar de tener usos potenciales ya sea agrícola, forestal, conservación, restauración o PSAH, están siendo sobre-utilizadas (bajo los criterios antes mencionados).

Estas áreas se localizan principalmente hacia la porción norte, concentrando en las partes cercanas al río el Salado. La categoría alta es la que presenta la menor superficie ubicada principalmente en la porción noroeste del VZS (Mapa 41) cuenta con 753.75 ha, estas zonas con la mayor susceptibilidad a impactos ambientales por usos inadecuados se encuentran asociadas principalmente a lomeríos, laderas pronunciadas y piedemonte, es decir zonas que tienen potenciales para usos forestales, de conservación, y restauración que se contraponen con los antrópicos.



**Mapa 41.** Áreas con mayor susceptibilidad ambiental por sobreuso, confrontando el uso potencial y el uso suelo en el 2016.

Los espacios que presentaron sobreuso en 4 usos potenciales se les asignó la categoría de susceptibilidad moderada, las cuales se encuentran asociadas a laderas pronunciadas,

pedemonte, valle intermontano y fondo de valle. Se ubican principalmente en la UAB 1, muy cercanas al cauce del río el Salado (Mapa 41), estas áreas presentaron 1, 397 ha.

La categoría que presentó mayor superficie fue la susceptibilidad baja, es decir aquellas áreas en donde se observó sobreuso para únicamente 3 usos potenciales, presentaron 2, 041.50 ha, localizadas al noroeste del VZS, se encuentran así mismo asociadas a lomeríos, laderas pronunciadas y piedemonte. Así mismo presentan una importante distribución en la UAB 2 (Mapa 41), vinculado a hombro de ladera y zonas cumbrales, áreas que presentaron potenciales para usos forestales, de conservación, restauración y PSAH, siendo espacios que mostraron suelos sin vegetación aparente para el año 2016 (Mapa 20).

Por lo que las zonas con mayor susceptibilidad dentro del VZS se centran en la porción noroeste y seguidas de la parte central del valle, las cuales presentaron los principales cambios en el análisis de cambios de cubiertas pasando sobre todo a suelo desnudo y pastizal (Mapa 21), lo que genera alto impacto y vulnerabilidad a los sistemas naturales ya que estas áreas no cuentan con potencial para usos agrícolas ni de pastoreo, generando así procesos acelerados de erosión.

Así mismo se identificaron zonas que presentaron 1 uso potencial con conflicto de sobreuso, es decir que existe agricultura, pastizales, zonas urbanas o suelos sin vegetación aparente y que tienen un uso potencial diferente a estos usos los cuales generan impacto negativo, estas zonas comprenden 9, 048 ha estas se localizan ampliamente distribuidas en el VZS.

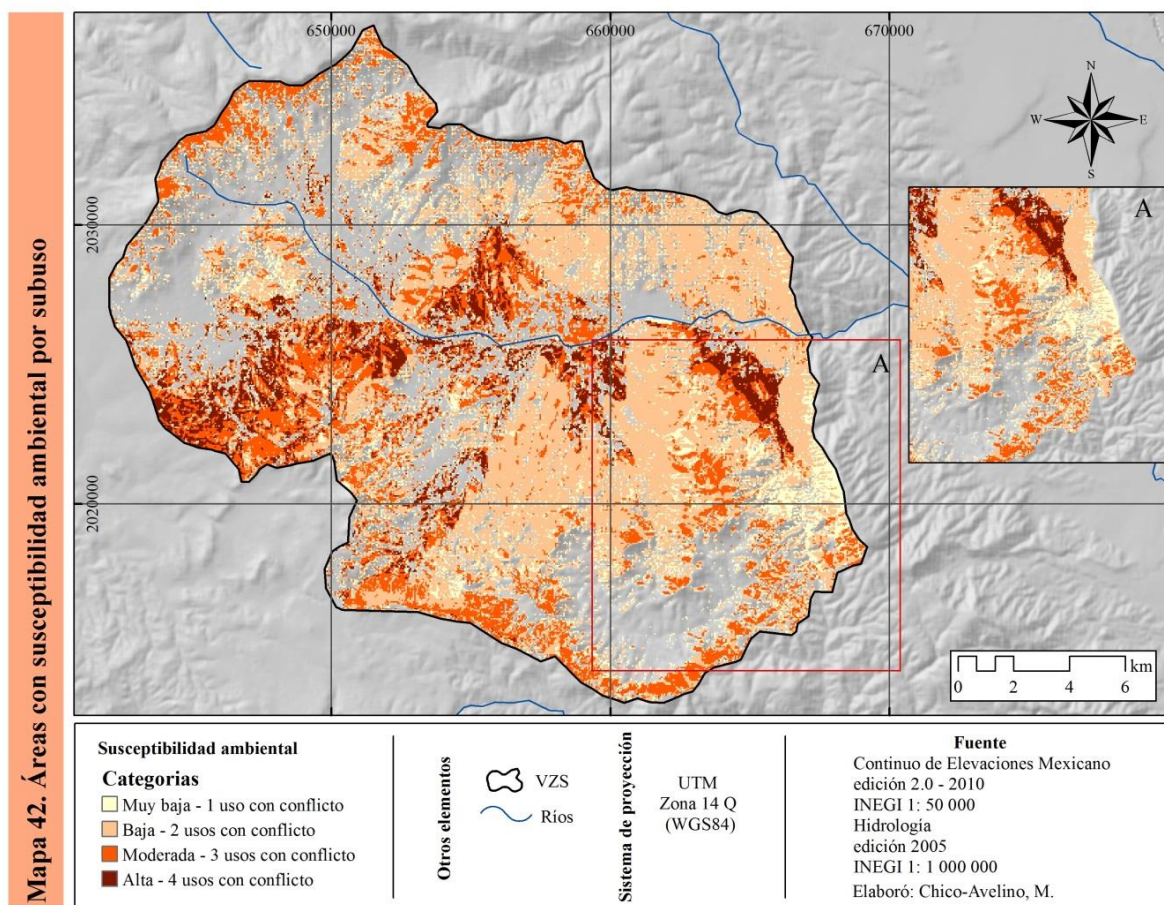
Sin embargo se concentran en la porción norte de la UAB 2 que fue aquella que mostró mayor pérdida de cobertura vegetal sobre todo con transiciones hacia suelo desnudo (Mapa 21) y al sur de la UAB 3 es en donde se observó un mayor cambio hacia usos agrícolas (Mapa 21), lo cual debido a las condiciones del área puede generar impactos ambientales.

En el caso de las zonas con susceptibilidad ambiental por conflicto de subuso se tienen que son aquellas áreas que cuentan con un potencial ya sea forestal, restauración, conservación, agrícola o de PSAH que están siendo sub-utilizadas con coberturas de tipo chaparral o matorral, que son unidades de vegetación que no generan impactos negativos en el sistema, pero que sin embargo podrían incluirse dentro programa de pagos por servicios ambientales de tipo forestal, conservación o por PSAH, lo cual puede generar esquemas de economía sustentable que beneficie a la población.

En este sentido se ha categorizado en 4 clases de susceptibilidad por subuso que son muy baja, baja, moderada y muy alta. Para la clase muy baja son aquellas áreas que tienen únicamente un uso potencial con conflicto de subuso; baja aquellas que tienen dos usos potenciales con conflicto de subuso; moderada 3 usos potenciales con subuso y por último muy alta aquellas que todos los usos potenciales tienen conflictos de uso.

Aquella que mostró la menor superficie fue la clase alta, es decir aquellas zonas en donde todos los usos potenciales están siendo subutilizados cuentan únicamente con 1, 723.25 ha concentrándose en la UAB 1. Mientras que la clase que presentó la mayor superficie fue la baja con 8, 409.25 ha localizándose en la porción noreste (Mapa 42).

Por su parte la clase moderada, es decir las zonas que 3 usos potenciales de 5 presentan subuso con 5, 825.25 ha, ocupando el segundo lugar en superficie después de la clase baja (Mapa 53). Aquellas zonas que tienen la menor susceptibilidad (clase muy baja), es decir que un uso potencial de 5 presentó 1 conflicto de subuso, éstas se concentran en la UAB 3 abarcando 2, 963.5 ha (Mapa 42a).

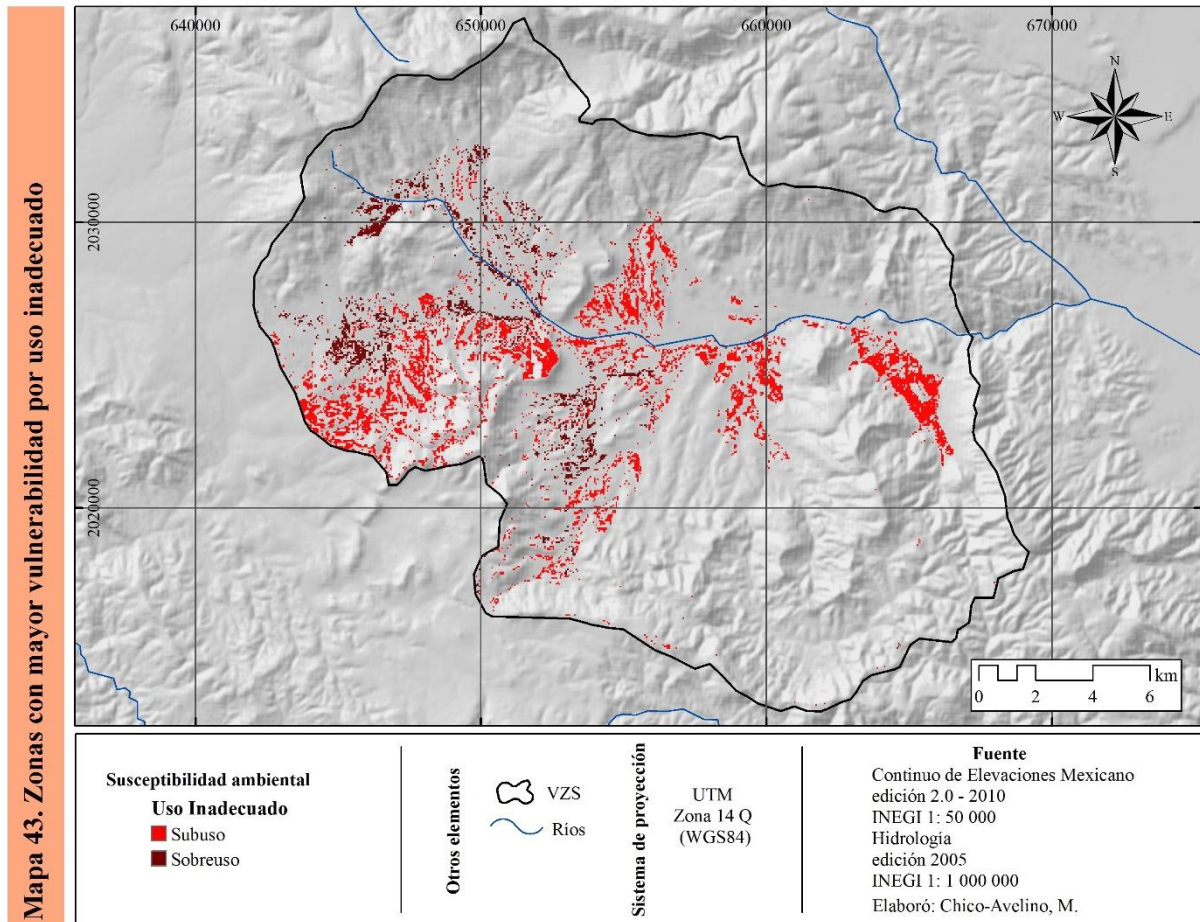


**Mapa 42.** Áreas con susceptibilidad ambiental por subuso, confrontando uso potencial y uso de suelo 2016.

Se puede decir que 12, 486.25 ha del área presentan uso inadecuado por sobreuso, que tienen un conflicto con respecto al uso potencial evaluado y la utilización para el 2016, esta superficie equivale al 31.50 %; mientras que 18, 921.25 ha mostraron uso inadecuado por subuso (muy baja, baja, moderada y alta), está superficie se traduce en el 47.7 % del territorio. Por lo que de manera general 31, 407.5 ha, es decir el 79 % del VZS presenta uso inadecuado. Lo cual contrasta con lo reportado por Dzendoletas, 2015 y que identificó que el 56 % en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, Argentina, presenta conflicto de uso. Mientras que Álvarez – Olguín *et al.*, 2016 reporta que 23.9 % del total del área de Guadalupe-Cuautepec, presentó conflicto de uso.

Sin embargo las zonas con mayor conflicto de uso, basado en la confrontación del uso potencial y el uso del suelo 2016, se concentran en la UAB 1 con 2, 977 ha, esta distribución puede indicar que la zonas asociadas al río tienen mayor problemática ambiental dentro del área (Mapa 43), es decir son espacios que presentaron usos de conflicto para por los menos

3 usos potenciales. Estas zonas se encuentran relacionadas a fondo de valle, lomerío redondeado y escarpado valle intermontano, piedemonte, sobre todo asociadas a estas últimas.



**Mapa 43.** Zonas con mayor susceptibilidad ambiental por uso inadecuado, considerando sub y sobre uso.

## 6.0 Conclusiones.

Se delimitaron 4 Unidades ambientales geomorfológicas, tres de ellas de origen sedimentario y una de origen volcánico, en base a tres aspectos del relieve: 1) origen, 2) edad-litología y 3) clase geométrica del relieve.

Se obtuvo el mapeo de geoformas que incluyó 6 tipos que fueron valle, piedemonte, valle, ladera pronunciada, hombros de ladera, lomeríos escarpados y redondeados y superficies cumbresales.

En el mapeo de las coberturas para los años 2000 y 2016 se definieron 8 categorías que fueron matorral crasicaule, matorral rosetófilo, chaparral, agricultura de temporal, pastizal, suelo desnudo y zona urbana.



Las coberturas que presentaron mayor aumento en superficie fueron el pastizal y el suelo desnudo, pasando de 12.2 a 13.03 % y de 3.73 a 13% respectivamente.

El área presentó persistencia en las coberturas en un 74.5 %, al contrario se identificó que el 25.50 % del total del área, presentó un cambio en la cobertura durante el período 2000 a 2016. Las coberturas nativas son las que conservaron mayor superficie (matorral crasicaule, rosetófilo y chaparral).

Las coberturas que presentaron mayor tasa de cambio fueron el suelo desnudo con 26.79, zona urbana 19.32 y pastizal con 8.22, es decir en los tres casos aumentando de superficie. Las pérdidas de superficie las encabezó la agricultura disminuyendo en un 78.37 % pasando de 6,479 ha a 4,928 ha.

El suelo desnudo es aquel que presentó la mayor ganancia de 74.32 %. Las coberturas que mayor contribución en superficie a esta cobertura en los años 2000 y 2016 fueron la agricultura, matorral y matorral rosetófilo.

Las coberturas con mayores transformaciones fueron el matorral crasicaule y chaparral aportaron superficie principalmente a agricultura y a pastizal, mientras que el matorral rosetófilo aportó principalmente a zona urbana y suelo desnudo.

La UAB 2 presentó el mayor cambio del 30 % de su superficie total, siendo la agricultura de temporal, matorral crasicaule y pastizal las que mayor superficie perdieron y contrarrestando el suelo desnudo la que mayor ganancia tuvo, siendo los cambios más importantes de Agricultura a suelo desnudo, agricultura pastizal, pastizal a suelo desnudo.

Los cambios más significativos en el área se dan bajo dos vertientes, por una parte los cambios derivados del desmonte por parte de la cobertura vegetal primaria, para dedicar el terreno a actividades agrícolas, pastizales o zonas urbanas, siendo estructural y funcionalmente muy diferente a la original. La otra en donde estas coberturas antrópicas, dadas las características ambientales de la zona son abandonadas, debido al sobrepastoreo, a la intensificación de los cultivos que resultan poco productivos, con cultivos poco tolerantes a las condiciones agrestes, llevando a un proceso de pérdida de cobertura vegetal.

Los cambios de la vegetación original, pueden generar una dinámica en donde la cobertura quede en pequeños manchones degradados, llegando a una vegetación de tipo islas que disminuye en número de especies nativas.

Las zonas de conservación se localizan en la porción sur y al norte del área del valle, que se encuentran asociadas a pendientes altas y vegetación de tipo matorral y chaparral, inmersas en la UAB 2, siendo zonas de alta potencialidad a pago por servicios ambientales.

La superficie que comprenden las zonas con aptitud para restauración es de 6, 796 ha, localizadas al norte y la otra al sur del valle, ubicadas dentro de las UAB 1, UAB 4 y UAB 3.

Los valores de NDVI bajos se encontraron asociados con cambios a zonas agrícolas en la porción sur y a suelos sin vegetación aparente (suelo desnudo) en la porción norte, que involucran una pérdida significativa de coberturas de estructura compleja, así como especies de alto valor ecológico.

Las áreas con aptitud de conservación y restauración se podrían considerarse un medio de vinculación entre la población y su entorno ambiental, desarrollando una economía sustentable, soportada en el pago por servicios ecosistémicos que pueden proveer el área, es decir bajo esquemas de economía sustentable en donde se busca fomentar la conservación como un instrumento de economía local, tratando de unir los elementos vivos a las condiciones sociales económicas, culturales y políticas incluyendo diversos actores.

Las zonas con potencial agrícola comprende el 25.5 % del total territorial del área, estas se localizan en la porción central del valle cercanas a la presencia del río El Salado, vinculadas a formas como son; fondo de valle, valle y piedemonte; suelo a las que se encuentran asociadas es rendzina y en pendientes bajas.

Se encontraron relaciones espaciales entre las áreas que presentaron potencial de restauración y potencial agrícola bajo, localizada en la porción oeste, las cuales en el análisis de cambios por coberturas de vegetación, mostraron transiciones de temporal a pastizal y temporal a suelo desnudo, y a su vez expresaron valores bajos de calidad de la vegetación.

Así mismo se observaron relaciones espaciales de áreas con potencial de conservación y potencial agrícola, la mayor superficie la tuvo la relación conservación – potencial agrícola bajo, seguida de conservación – potencial agrícola y por último conservación – potencial agrícola alto, por lo que se asume que el área presenta diversas limitaciones para el uso agrícola con implicaciones en la productividad, que frenan los procesos de desarrollo local y generan problemáticas ambientales severas.

En cuanto a las zonas sin potencial agrícola se identificó que tienen relaciones espaciales con zonas con potencial de restauración, considerada como áreas con mayor deterioro ambiental, debido a que presentan dos parámetros que al conjuntarse muestran por un lado zonas con baja calidad en la vegetación y aptitud nula agrícola, aunado a que en estas zonas coinciden con áreas de cambios que van principalmente de temporal a suelo desnudo.

El 58 % del área no presentan aptitud para uso forestal, mientras que el otro 42 % del territorio del área presenta aptitud forestal, de esta aptitud forestal el 33 % presenta una categoría baja, 8.5 % moderada y la aptitud alta únicamente 0.43 %.

Las zonas con uso potencial forestal se encuentran asociadas a aquellas que presentaron un uso potencial para conservación.

Se encontró que las zonas con potencial forestal se están relacionadas con las zonas sin potencial agrícola, por lo que el territorio que tiene uso potencial no agrícola podría incluirse en esquemas de economías sustentables, con el objetivo de proveer beneficios a la población sobre todo en el sentido económico, como son los PSA de captura de carbono, o zonas de protección de flora, en donde se busca fortalecer la conservación y la economía local.

El 98.97 % del territorio del VZS cuenta con potencial para PSAH, siendo el 57 % del área con potencial moderado y el otro 40% con potencial alto y el 1.97 % con potencial bajo.

Las zonas con potencial alto para PSAH se localizan en la porción central, asociadas a las UAB 2 y 4, estas guardan relaciones espaciales con zonas con uso potencial de conservación y restauración, por lo que estos usos pueden considerarse como una estrategia importante en la conservación y manejo sustentable de los recursos, que bajos los esquemas de PSA pueden contribuir al sistema ambiental del área.

Las zonas con potencial de conservación presentan usos inadecuados por sobre uso y sub uso con un 58 y 42 % respectivamente, localizadas en las porciones norte, sur y sureste.

En el caso de las zonas con potencial para restauración el 57% de esta superficie presenta un sobre uso, lo cual indica que estas áreas se encuentran bajo presiones ambientales que implican cambio en la estructura vegetal, provocando pérdida de vegetación, erosión, degradación de los suelos, entre otros, así mismo estas áreas presentan valores bajos del NDVI y cambios de coberturas hacia zonas agrícolas (hacia el sur) y suelo desnudo (hacia el norte).

En el caso del uso potencial agrícola el 26.7 % del área presentó conflicto de sobre uso con coberturas de pastizal y suelo desnudo, mientras que el sub uso lo encabezó el matorral crasicaule, la superficie con subuso comprendió el 60.8%.

Las zonas con mayor potencial se localizan en porción central, asociadas al cauce del río en zonas de alta sedimentación, con pendientes bajas que favorecen la acumulación de nutrientes. Sin embargo se considera necesario definir las especies a cultivar para realizar un análisis de aptitud del área.

El uso potencial agrícola es el único que cuenta con áreas de uso adecuado con 4, 872 ha, siendo el uso potencial bajo es que mayor superficie mostró con 3, 907 ha y con únicamente 271 ha el uso potencial alto.

Para el uso potencial forestal el 60.78 % cuenta con subuso, relacionados al chaparral y matorral crasicaule y rosetófilo, que se consideran sitios con alta calidad ambiental en el sentido de la composición y estructura vegetal que pueden incluirse como espacios de uso forestal, que pueden generar beneficios ambientales que ofrezcan servicios ambientales como hidrológicos, secuestro y almacenamiento de carbono, retención de suelo, conservación de la biodiversidad, bajo los esquemas de pagos por servicios ambientales.

En cuanto a las áreas con uso inadecuado por sobre uso representan el 39.2 % del total de zonas inadecuadas. Los usos inadecuados bajo esta categoría se encuentran asociados a coberturas de origen antrópico como pastizal, agricultura de temporal, zonas urbanas y áreas sin vegetación aparente, siendo esta última cobertura la que mayor superficie 5, 033.25 ha. Por lo que estas áreas sugieren que se dirijan a procesos de restauración que permitan incrementar la calidad de la vegetación, para posteriormente impulsarlos como áreas con uso forestal.

El 31.50 % del territorio del VZS presenta uso inadecuado con sobreuso y 47.7 % con subuso, resultando en que el 79 % del área presenta usos no acordes a los potenciales.

Las zonas con mayor susceptibilidad dentro del VZS la presenta la UAB 1, se centran en la porción noroeste y en la parte central del valle, que presentaron los principales cambios en el análisis de cambios de cubiertas pasando sobre todo a suelo desnudo y pastizal, lo que genera alta presión y vulnerabilidad a los sistemas naturales ya que estas áreas no cuentan con potencial para usos agrícolas ni de pastoreo, generando así procesos acelerados de erosión.

Se identificaron zonas con baja susceptibilidad en las UAB 2 y 3 éstas se concentran en la porción norte (UAB 2) que fue aquella que presentó mayor pérdida de cobertura vegetal sobre todo con transiciones hacia suelo desnudo y sur (UAB 3) es en donde se observó un mayor cambio hacia usos agrícolas, estas áreas únicamente presentaron uso inadecuado para un uso potencial. No obstante éstas zonas pueden generar escenarios con una fuerte presión ambiental provocando deterioro en los sistemas naturales, ya que al cambiar a uso agrícolas siendo que no presentan esta vocación, los recursos pueden tener cierta vulnerabilidad ambiental.

## **6.1 Alcances y compromisos.**

El presente trabajo es una aproximación que no representa con exactitud la realidad del territorio, ya que debido a la disponibilidad de la cartografía digital fue difícil tener una escala adecuada para el tamaño del área, ya que como es sabido la cartografía con mayor resolución disponible es 1: 250 000 que es la editada por INEGI, y debido a los objetivos del trabajo no se realizó para cartografía para cada uno de los insumos que se consideraron en los modelos de uso potencial, ya que eso implicaron un mayor esfuerzo, en tiempo y horas hombre. Por otra parte las bases de datos de acceso libre a una escala a gran detalle, de las características del suelo son prácticamente inexistentes, lo cual no limita a hacer uso de escalas menos precisas, como la información utilizada que a pesar de ser a una escala media (1: 250 000) se obtuvieron las capas de los atributos para el diseño de los modelos antes mencionados.

A pesar de esta limitante las propuestas de los análisis de este escrito fueron diseñadas bajo diversos enfoques, que se estudiaron a detalle con base a distintos autores, es decir si bien la escala de toda la cartografía base no es la más adecuada (por ejemplo 1: 50 000) este ejercicio puede ser un buen referente de la problemática de la gestión del territorio en cuanto a la utilización adecuada contraponiendo el uso potencial del suelo, por lo que los resultados de este trabajo pueden dar información para la planificación del territorio.

## **Bibliografía.**

Achkar, M. s.f.. Evaluación de servicios ecosistémicos, un enfoque territorial de los bienes comunes. Foros sobre servicios ecosistémicos en Uruguay. Disponible en:

<http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/uruguay/Documentos%20de%20la%20Oficina/Foros/foro-sobre-servicios-ecosistemas-en-uruguay-2014/ev-serv-eco-enfoque-territorial-de-los-bienes-comunes-marcel-achkar.pdf>

- Alatorre, L.C., Beguería S., Vicente-Serrano, S.M. 2010. Análisis de la evolución espacio temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo. *Pirineos.Revista de Ecología de Montaña*. ISSN: 0373-2568. Vol. 165, 7-27.
- Álvarez-Olguín, G; Sustaita-Rivera, F; Bautista-Sánchez, G; Pedro- Santos, E. 2016. Ordenamiento ecológico territorial de Guadalupe Cuautepec, San Juan Bautista Suchitepec, Oaxaca, desde una perspectiva técnica y comunitaria. *Madera y Bosques*, vol. 22, núm. 1, 2016, pp. 155-167.
- Arias, A., Valverde, M. y Reyes, J. (2000). Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla. México.
- Ayala-Niño, F., Espeje, I., Eaton, R., Daesslé, W. 2011. Propuesta de evaluación rápida para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas. *Investigación Ambiental* 3(2): 18-30.
- Barredo, C. J. (1996). Sistema de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid. Ed. RA-MA
- Bhagawart, R. 2011. Application of remote sensing and GIS, Land use/Land cover Change in Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 23, 80-86.
- Bocco, G., Rosete Vergés, F. A. & Pérez Damián, J. L. 2009. Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 67, 39-58.
- Britos, A.H. y A.H. Barchuk. 2008. Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Árido del noroeste de Córdoba, Argentina. *Agriscientia* , Vol. XXV (2) : 97- 110.
- Burel, F. & Baudry, J. 2002. Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones, Mundi Prensa Libros SA.
- Capel, M.J.J. (1984). *La aridez en la península ibérica. Algunos índices bioclimáticos*. Departamento de Geografía, Colegio Universitario de Almería. España. p.22.
- Cendrero, A. y Díaz de Terán, J. R. 1987. The environmental map system of the University of Cantabria, Spain. En: Arndt, P. Lüttig, G. Mineral resource Extraction, Environmental Protection and Land-use Planning in the Industrial and Developin Countries. E. Schweizerbart, Stuttgart. 149-181.
- Chávez, T. (2006): Determinación de suelos degradados mediante técnicas de teledetección en la Microcuenca río Delfin en Pozuzo. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva, pp. 33.
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. Ed. Rialp. España. p. 488.
- CONAPESCA (2007). Programa Nacional de Ordenamiento Acuicola 2007.
- CONAPO (2002). Migración, remesas y desarrollo, Boletín sobre Migración, No. 19.
- Cortés, G.V. 2008. Discrepancias entre uso actual y potencial de las laderas de Orosi. *Reflexiones*. Vol. 87, Núm. 2, 2008, pp. 91-110. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. ISSN: 1021-1209 / 2008.
- Cortina, R. y Gendrau, M. (2004), “Poblanos en Nueva York. Migración rural, educación y bienestar”. México, Universidad Iberoamericana-Puebla.
- Corzo, R. L; Jerena, E; Rubio, M.R. 2012. La potencialidad del territorio en la restauración ecológica. El uso de herramientas SIG para establecer prioridades de restauración

- ecológica. *Gestión y ambiente*. Volumen 15 - No. 3, Diciembre de 2012, Medellín ISSN 0124.177X. pp 39-50.
- CSIRO (1998), "A Guidebook to environmental indicators", *Commonwealth Scientific Industrial Research Organization*, Australia, pp. 1-20.
- Dávila, P., Arizmendi, M.C., Valiente-Banuet, J.L., Villaseñor, A. and Lira, R. (2002). *Biological diversity in the Tehuacan-Cuautitlan Valley, Mexico*. *Biodivers. Conservation*. 11: 241-442.
- Dionisio, M.A., Alcaraz-Segura, D. and Cabello, J. 2012. Satellite-Based Monitoring of Ecosystem Functioning in Protected Areas: Recent Trends in the Oak Forests (*Quercus pyrenaica* Willd.) of Sierra Nevada (Spain), *International Perspectives on Global Environmental Change*, Dr. Stephen Young (Ed.), ISBN: 978-953-307-815-1, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/international-perspectives-on-global-environmental-change/satellite-based-monitoring-of-ecosystem-functioning-in-protected-areas-recent-trends-in-the-oak-fore>.
- Dobos, E., Micheli, E., Baumgardner, M. F., Biehl, L., & Helt, T. (2000). Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping. *Geoderma* 97(3-4), 367-391.
- Dumanski, J. and E. Craswell (1998), "Resource management domains for evaluation and management of agro-ecological system", in Syers, J. K. (ed.), *Proceedings of Conference on Resources Management Domains, Kuala Lumpur*, International Board for Soil Research and Management (IBSRAM), Proceedings 16, pp. 1-16.
- Dzendoletas, M.A. 2015. Determinación y análisis de áreas de potencial conflicto en el uso del suelo en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Patagonia, Argentina, utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG); Universidad UNAH; Ciencias Espaciales; 8; 2; 8-2015; 227-242.
- FAO (1982). *Carta mundial de los suelos*. Roma, Italia.
- FAO (1985). *Directivas: evaluación de tierras para la agricultura en secano*. Roma, Italia.
- Ferraro, P. y A. Kiss. 2002. Direct payments to conserve biodiversity. *Science* 298(5599): 1718-1719.
- Fournier, O.L. 1993. *Recursos Naturales*. EUNED.
- García, R. (1976). *Uso potencial del suelo*. Secretaria de Recursos Hidráulicos. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México.
- García, G. J. A. y Cebrián, A. F. (2006). La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población: aplicación a la provincia de Abacete. Momerías del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica: aplicación a la provincia de Albacete. Granada, Esp. p.14.
- García, N.H; López, B.J; Moreno, S.R; Villers, R.M; García, D.R. 2000. Delimitación y caracterización de las tierras con uso inadecuado para la agricultura en el distrito de desarrollo rural 004, Celaya, Guanajuato. *Terra Latinoamericana*. Enero-Marzo 2000. Vol. 18, número 001. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp. 11-25.
- García, C. I. Martínez, A. A. Ramírez, A. Cruz, N. A. Rivas, A. J. Dominguez, L. 2004. La relación agua-bosque: Delimitación de zonas prioritarias para pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del Río Gavilanes, Coatepec, Veracruz. *Estudios ambientales en cuencas*. México. *Gestión y Política Pública*. 14: 129-168.
- Gazzano, I. y Achkar, M. 2013. La intensificación agraria como amenaza ambiental: una tensión entre la capacidad de producir y conservar en el área de los Esteros de

- Farrapos. pp.10. Disponible en:  
[http://formularios.extension.edu.uy/ExtensoExpositor2013/archivos/322\\_resumen1324.pdf](http://formularios.extension.edu.uy/ExtensoExpositor2013/archivos/322_resumen1324.pdf).
- Gilbert, M.A; González-Piqueras, J; García-Haro, J. 1997. Acerca de los Índices de Vegetación. *Revista de Teledetección*. No.8-Diciembre 1997. Pág.10.
- Gobierno regional Cajamarca. 2010. Proceso de Zonificación ecológica económica para el ordenamiento territorial - Sub Modelo de conflictos de uso departamento Cajamarca. Reporte técnico. pp 47.
- Gopal, S., Woodcock, C.E., and Strahler, A.H. 1999. Fuzzy neutral network classification of global land cover from a 1° AVHRR Data set. *Remote Sens. Environ.* 67:230-243.
- Gopar, L.F. (2008). Cambios de cobertura y uso de suelo y sus implicaciones en la provisión de servicios hidrológicos. México, UNAM.
- Gorte, B. (1999). Supervised image classification. Spatial statistic for remote sensing, Kwer academic publishers: 153-163.
- Hengl, T. (2003). Pedometric mapping. Bridging the gaps between conventional and pedometric approaches. ITC Dissertation 101. Enschede, The Netherlands.
- Ibarra, M (2003) Identidad Regional y Desarrollo Local: El Impacto de la Migración en la Mixteca Poblana. Informe Final. Mimeo.
- IMADES, 2005. En: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)- Gobierno del Estado de Durango. 2009. Diagnóstico: Aptitud del suelo. Ordenamiento Ecológico del Estado de Durango. pp.52.
- INE (1997), Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, México, pp. 11-21.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2001). *Diccionario de datos uso potencial. Escalas 1:250,000 y 1: 1,000,000*. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2004. Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología. ISBN 970-13-4376-X. pp.8.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2005. Guía para la Interpretación de Cartografía Uso Potencial del Suelo. ISBN 970-13-4510-X. pp43.
- Jackson, R.D., Slater, P.N., y Pinter, P.J. 1983. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment*. 13: 187-208.
- Lambin, E.F. (1997). Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 21 (3): 375-393.
- Lambin, E.F. y Turner B. (2001). The causes of land-use and cover change, Global Environmental Change.USA.
- Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), 2015. [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/259\\_260315.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/259_260315.pdf).
- LGEEPA. 2012. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. pp.114. <http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/protocolo/LGEEPA.pdf>.
- López-Blanco, J., Galicia, S.L. y García, O.F. (1996), “Aplicación de un SIG para la caracterización morfológica y la delimitación de ladera de una cuenca tropical estacional en Chamela, Jalisco, México.” *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, número especial no.4, pp. 39-59.

- López-Blanco J. y L. Villers-Ruiz (1998), “Delimitación de unidades ambientales biofísicas aplicando un enfoque geomorfológico y SIG, para el ordenamiento territorial de los Cabos, Baja California Sur”, *Geografía y Desarrollo* 16, México, pp. 85-99.
- López-Galindo, Muñoz, I., Hernández, M., Soler, A., Castillo, L. y Hernández, A. (2003). Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, México. 2003: 56 (1) p. 19-41.
- Mendoza, M., López, E. & Bocco, G. 2001. Regionalización ecológica, conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial en la cuenca del lago de Cuitzeo. *Michoacán. Resultados. Proyecto*.
- Mendoza, M.E., Plascencia, H., Alcantara, P. C., Rosete, F., Bocco, G. 2010. Análisis de la aptitud territorial. Una perspectiva biofísica. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. 1ra ed. pp.144.
- M.O.P.T. (Ministerio de Obras Públicas y Transportes) (1993). *Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico*. Monografías de la Secretaria del Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente. Madrid, España.
- Montoya, R. (2001). Planificación física con base ecológica del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. México.
- Olivas, G., Valdez, I., Aldrete, A., Gonzalez, G. y Vera, C. (2007). *Áreas con aptitud para establecer plantaciones de Maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y SIG*. *Revista Fitotecnica Mexicana*. México. 30 (4): 411-419.
- Palacios, C., Ramírez, D., y Madrigal, U. (2009). *Uso potencial del suelo del Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa*. *Revista del Instituto Nacional de Ecología*. México. 1[2]: 168-178.
- Paruelo, J.; Alcaraz-Segura, D. & Volante, J.N. 2011. El seguimiento del nivel de provisión de los servicios ecosistémicos, In: *Valoración de Servicios Ecosistémicos: Conceptos, Herramientas y Aplicaciones para el Ordenamiento Territorial*, Laterra P, E. Jobbágy & J. Paruelo, (Ed.), 141-162, Ediciones INTA, ISBN 978-987-679-018-5, Buenos Aires.
- Peréz, G.I. 2009. Propuesta de plan de manejo de recursos naturales para el municipio de Asunción Nochixtlán, Oaxaca (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Quezada, C. y Vargas, I. (2007). El uso actual del suelo y vegetación de la microcuenca San Marcos, Municipio de Chapala con una propuesta de manejo sustentable. *Sincronía Winter 2007*. pp. 11.
- Quirós, R.M. (2009). Clasificación de imágenes multiespectrales Aster mediante funciones adaptativas. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura, España. pp. 200.
- Reyes, H., R. M. Aguilar, R. J. R. Aguirre e I. Trejo (2006), “Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México. 1973-2000”, *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 59, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 26-42.
- Ritters, K., J. Wickham, R. O’Neill, B. Jones y E. Smith. 2000. Global scale patterns of forest fragmentation, *Conservation biology* 4(2): 3-13.
- Rodríguez, G. M. y López-Blanco, J. (2006), “Caracterización de unidades biofísicas a partir de indicadores ambientales en Milpa Alta, Centro de México”, *Investigaciones*



- Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, ISSN 0188-4611, Núm. 60, 2006, pp. 46-61.*
- Rojas, R.T. (2009). "Crisis and Rural Migration Cost in Mexico". *Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*. Año IV, No. 8. p. 40-81.
- Rosete, V.F; Pérez, D.J; Bocco, G. 2008. Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 67, ISSN 0188-4611. pp. 39-58.*
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Fraden S.C., Marcanti E.P. and Becker M.A. (eds.) *Third ERTS-1 Symposium, 10 -14 Dec. 1973.*
- Ruhe, R. V. (1975). *Geomorphology. Geomorphic processes and surficial geology.* Boston: Houghton Mifflin.
- Santé, I. y Crecente, M. 2005. Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. *Geo-Focus* 5:40-68.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Informe de la situación del medio ambiente en México .Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Ed. 2012. México. pp 360.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)- Gobierno del Estado de Durango. 2009. Diagnóstico: Aptitud del suelo. Ordenamiento Ecológico del Estado de Durango. pp.52.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2010. Guía Metodológica para Elaborar Programas Municipales de Ordenamiento Territorial. Gobierno Federal, México. p. 64.
- SEDESOL. 2011. Guía para el desarrollo local sustentable. pp.232. En: <http://www.2006-2012.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1867/1/images/GDS2012.pdf>.
- SEDUE (1988). *Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio.* Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica. México, pp. 356.
- Senay, G.B. and Elliott, R.L.2000. Combining AVHRR-NDVI and landuse data to describe temporal and spatial dynamics of vegetation. *For. Ecol. Manage* .128: 83-91.
- Siebe, C., Jahn, R. y Stahr K. (2006). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo.* pp. 70.
- Soto, M. C. y Soto, M. 1992. Cambios recientes en el uso del suelo agrícola en México. In: L. Fuentes (Coor.). *Cambios en el uso del suelo agrícola en México.* Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, México, D.F.
- Stein, A. J. and N. H. Riley (2001), "Issues of scale for environmental indicators", *Agriculture, Ecosystems and Environmental* 87, pp. 215-232.
- Telesca, L., Lasaponara R. and Lanorte, A. (2006). Fluctuations in the time dynamics of the Mediterranean forest ecosystems by using normalized difference vegetation index satellite data. *Physica A: Statistical Mechanics and its applications.* 361: 699-706.
- Tricart, J. (1972). *La terre, planète vivante.* Paris: Presses Universitaires de France.
- Trucios, C; Valenzuela, N; Ríos, S; Rivera, G; Estrada A. 2012. Cambio de uso de suelo en Coahuila y Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. En línea* XI (2): [Fecha de consulta: 14 de julio de 2017] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545059002>> ISSN .

- USDA. (2006). *Claves para la taxonomía de suelos*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales, U.S.A.
- Valdez-Lazalde, J; Aguirre-Salado, C¶; Ángeles-Pérez. 2011. Análisis de los cambios en el uso del suelo en la cuenca del Río Metztlán (México) usando imágenes de satélite: 1985-2007. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(3): 313-324.
- Villegas P.R; Muñoz, R.C; Gallo, G.C; Ponce, R.J. (2011). Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz, México en el período 2003–2011. Instituto de Ecología- CONANP. Reporte final. pp.47.
- Wunder, S. 2006. Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales. Centro de Investigación Forestal (CIFOR). *Ocasional Paper No. 42(s):2*
- Zinck, J. A. (1988). *Physiography and soils. Lecture notes*. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). pp. 131.
- Zinck, J. A. (2012). *Geopedología, elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales.*, *Lecture notes*. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).ISBN: 90 6164 339 2, pp. 123.