



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Filosofía y Letras

Colegio de Geografía

*Aporte de la clasificación por objeto del uso de suelo para
la comunicación del riesgo: Caso de la susceptibilidad de
deslizamiento en el área del Volcán Chichonal,
Chiapas.*

TESIS

Que para obtener el título de:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

Presenta:

ROBERTO CARLOS HUERTA LUNA

Asesor:

Dr. STÉPHANE COUTURIER



México, D.F., Ciudad Universitaria, 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Dedicatorias.

Dedico éste humilde trabajo a mis seres queridos, que de algún modo me acompañaron en este largo camino, no solo a nivel universitario, sino también en el plano familiar y personal.

A mis queridos padres, Angelina y Roberto, quienes desde un inicio de mi vida fueron capaces de inculcarme la educación y el respeto hacia la vida. A mi madre que me ha acompañado en todo este largo camino. A mi padre que con sus sabias enseñanzas me ha preparado para la vida. De corazón GRACIAS, los amo.

A mi hermana Adriana, que a pesar de su personalidad ha sabido acompañarme, por ser un claro ejemplo de perseverancia y dedicación.

A Mamá Celia y Tío Rodolfo por estar siempre con nosotros, por su enorme apoyo y sabios consejos, gracias Tío por ser un claro ejemplo a seguir y por compartir con nosotros su enorme cariño, sus lecciones son muy valiosas.

A mi Tía Irma y Tía Martha, y demás tíos; también a mis primos que en muchos de los casos hemos compartido invaluable momentos, momentos en los cuales demuestran el enorme sentimiento que nos une como familia.

A mi carnal Luis, por encontrar en ti la confianza y respaldo de un hermano, por compartir tantos momentos de diversión y otros no tantos de tristeza. Gracias por estar en las buenas y en las malas.

Gracias a todos ellos por estar siempre unidos, ¡Somos una gran familia!

Agradecimientos.

En primer lugar quiero agradecer a mi UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, como institución, que me permitió forjarme en el ámbito profesional y enseñarme los principios necesarios para ser un correcto ciudadano, por brindarme un espacio desde su inicio en la ESCUELA NACIONAL PREPARATORIA No.1 "GABINO BARREDA".

Agradezco a la Facultad de Filosofía y Letras por brindarme un lugar en sus aulas, por ser un lugar apropiado para el desarrollo profesional, las experiencias vividas en sus aulas y pasillos difícilmente serán olvidadas.

Al Instituto de Geografía, por abrirme sus puertas y brindarme un lugar en el Laboratorio Geoespacial, lugar donde se produjo la mayor parte del escrito; provocando en mi el interés por la Percepción Remota, por su apoyo enfocado en la proporción de material (libros y cartografía) e instrumentos computacionales para el desarrollo de dicho trabajo.

Esta investigación fue financiada por la DGAPA UNAM a través de los proyectos PAPIIT:

- "Observatorio Territorial para la Evaluación de Amenazas y Riesgos" (IN307410).

- "Contribución Geocibernética a la Observación Territorial de Amenazas y Riesgos" (IC300111).

- "Confiabilidad cartográfica de procesos territoriales: un método con lógica difusa para incorporar múltiples actores sociales" (RA300113).

Y del proyecto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT

- "Estimación de población en áreas pequeñas mediante percepción remota de alta resolución espacial" (187593).

Así como de la beca del Instituto de Geografía, UNAM:

- Beca "María Teresa Gutiérrez de MacGregor".

El primer agradecimiento personal es para mi asesor de tesis el Dr. Stéphane Couturier, quien por sus invaluable consejos y críticas hicieron posible que este trabajo fuera concluido de la mejor manera, gracias por compartir sus conocimientos, recursos materiales y económicos con su alumno.

A mis sinodales de tesis, Lic. Jaime Morales, Mtro. Mauricio Galeana, Mtra. Angélica Franco y Lic. Frank García que tuvieron la molestia de revisar este

humilde manuscrito y en base a sus acertados comentarios y revisiones permitieron que éste trabajo se aprobara para su replica oral.

A los profesores que marcaron mi formación universitaria: Dra. Irasema Alcántara, Dr. José Lugo, Dr. Jorge Caire (q.e.p.d.), Lic. Jaime Morales, Prof. Francisco Hernández, Mtro. César Pérez y al Mtro. en C. Sergio Y. Gracias a cada uno de ellos por enseñarme lo multidisciplinario de la Geografía, recordando los momentos de estrés académico que viví como alumno en sus clases, fue muy grato estar en sus asignaturas, gracias.

También quisiera recordar a mis amistades, colegas y compañeros que estuvieron presente en alguna parte de mi andar académico.

A los amigos y colegas que encontré en la Universidad: César C., Alejandro G., Israel R. (compartiendo clases desde la secundaria), Rocío M., Ángeles A., Carolina M., Bruno C., Agustín C., Oscar E., Reyna V., Careli C., Abraham R., Zislila S., entre otros. Gracias a todos ellos por compartir momentos de enseñanza, tensión, diversión y estrés en el salón de clases, exámenes, prácticas de laboratorio y de campo, propios en la formación de un geógrafo.

También agradezco a una personita muy importante, Rosario C., que en estos tiempos su compañía ha inspirado una tranquilidad y armonía que ayudaron a realizar varias locuras. Por su confianza y paciencia, gracias por siempre escucharme y tener las mejores palabras de aliento, gracias por todo linda.

A Fabiola J. C. por ser mi compañera en la Universidad, gracias por esos bellos momentos que compartimos a lo largo de la carrera, gracias por las lecciones aprendidas.

A mis amigos de la Preparatoria por compartir grandes momentos en la adolescencia: Liz T., Karina J., Miriam L., Diana S., Oscar E. y Gerardo.

Gracias,
Roberto C. Huerta L.

CONTENIDO.

Introducción.	3
Justificación del tema.	5
Objetivos e hipótesis del trabajo.	6
Antecedentes.	8
Localización.	9

Capítulo 1.

1. Antecedentes.	14
1.1 Vulnerabilidad y riesgos en ambientes rurales.	16
1.1.1 Marco teórico en vulnerabilidad y riesgos.	22
1.1.2 Factores hidrodinámicos, geomorfológicos y climáticos que exhiben la vulnerabilidad de la población.	26
1.1.3 Actividades antrópicas.	31
1.1.4 Actividades humanas relacionadas al concepto de vulnerabilidad.	37
1.2 Gestión del riesgo.	40
1.2.1 Teorías o enfoques relacionados a la gestión del riesgo.	44
1.2.2 Interacción con la población local. Experiencias de gestión de riesgos.	46
1.2.3 La importancia del componente uso de suelo para la comunicación del riesgo.	51
1.3 Imágenes de satélite. Una herramienta empleada para evaluar el cambio de uso de suelo.	55
1.3.1 Imágenes de satélite. El caso de los PRM o deslizamientos.	57
Bibliografía del capítulo 1.	60

Capítulo 2.

2. Metodología.	68
2.1 Teledetección y el programa Landsat.	71
2.1.1 Principios básicos de la percepción remota.	72
2.1.2 El programa Landsat.	75
2.2 La adquisición de las imágenes satelitales en la zona de estudio.	77
2.3 Corrección radiométrica y ajuste del histograma en las imágenes satelitales.	82
2.4 Técnicas utilizadas en teledetección para la clasificación de imágenes.	87
2.5 Software de licencia abierta, el caso de MadCat.	91
2.5.1 La clasificación por objeto en MadCat.	92
2.6 Pesos de evidencia (WOE), en susceptibilidad de laderas.	94
2.6.1 El uso de la parcelación como insumo adicional para la creación del mapa de Susceptibilidad de laderas por parcelas.	95
2.7 La construcción del índice de vulnerabilidad socioeconómico a nivel local.	98
Bibliografía del capítulo 2.	102

Capítulo 3.

3. Resultados.	105
3.1 Las unidades territoriales o parcelamiento para la creación del mapa de Densidad de Cobertura Vegetal, región Volcán Chichonal.	106
3.2 Susceptibilidad de laderas por parcelas y la vulnerabilidad de la población.	111
3.3 Representación del contexto regional a través de la Densidad de Cobertura Vegetal.	119

Capítulo 4.

4. Conclusiones.	125
Bibliografía del capítulo 3 y 4, Resultados y Conclusiones, respectivamente.	129

ÍNDICE COMPLEMENTARIO.

Mapa A. Localización.	12
Mapa B. Altimétrico.	13
Mapa C. Fisiografía.	13
Mapa D. Climas.	13
Mapa E. Mapa Densidad de Cobertura Vegetal, 1984.	107
Mapa F. Mapa Densidad de Cobertura Vegetal, 1993.	108
Mapa G. Mapa Densidad de Cobertura Vegetal, 2003.	109
Mapa H. Mapa Susceptibilidad a deslizamiento por Parcela.	116
Mapa I. Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos.	117
Mapa J. Mapa Densidad de Cobertura Vegetal, 1984.	120
Mapa K. Mapa Densidad de Cobertura Vegetal, 1993.	121
Mapa L. Mapa Densidad de Cobertura Vegetal, 2003.	122
Tabla 1.1 Superficie total por municipio según tipo de superficie.	34
Tabla 1.2 Superficie agrícola por municipio según disponibilidad de agua.	34
Tabla 1.3 Superficie de pastizal por municipio según tipo de pastizal.	34
Tabla 1.4 Superficie de bosque por municipio según tipo de bosque.	35
Tabla 1.5 Superficie de selva por municipio según tipo de selva.	35
Tabla 1.6 Superficie de vegetación secundaria por municipio según tipo.	35
Tabla 1.7 Volumen de producción de ganado y aves en pie por municipio, 2008.	35
Tabla 1.8 Valor de la producción de ganado y aves en pie por municipio según especie, 2008.	36
Tabla 1.9 Volumen de la producción de carne en canal de ganado y aves por municipio, 2008.	36
Tabla 1.10 Valor de la producción de carne en canal por municipio según especie, 2008.	36
Tabla 2.1 Información básica de los sensores satelitales.	77
Tabla 2.2 Información básica del <i>Header</i> de las imágenes.	78
Tabla 2.3 Características de las imágenes de satélite Landsat MSS, TM y ETM+.	82
Tabla 2.4 Variables para construir el índice de vulnerabilidad socioeconómico en la región del Volcán Chicón.	99
Tabla 2.5 Porcentaje de localidades por vulnerabilidad socioeconómico.	101
Tabla 3.1 Grados de densidad de cobertura vegetal local.	110
Tabla 3.2 Proceso para la determinación del peso final en cada variable o factor utilizado.	112
Tabla 3.3 Producción del indicador socioeconómico.	115
Tabla 3.4 Comparación entre los gradientes regionales y los datos de dos dependencias.	123
Tabla 3.5 Grados de densidad de cobertura vegetal en la zona contextual regional.	124
Esquema 1.1 La gestión del riesgo.	43
Esquema 1.2 Mapa de procesos de la gestión del riesgo.	46
Esquema 2.1 Metodología de la Tesis.	70
Imagen 2.1 División del espectro electromagnético.	73
Imagen 2.2 Escenas Landsat. Path 22, Row 48.	79
Imagen 2.3 Grupo de corte en la zona contextual regional.	80
Imagen 2.4 Grupo de corte a escala local.	81
Imagen 2.5 Captura de pantalla.	87
Imagen 2.6 Series con ajuste de histograma.	88
Imagen 2.7 Relación entre el deslizamiento y los factores, utilizando WOE.	96
Grafica 3.1 Evolución temporal de la densidad de cobertura vegetal a nivel local.	110
Grafica 3.2 Índice de vulnerabilidad socioeconómico para los años 2000 y 2010.	115
Grafica 3.3 Evolución temporal de la densidad de cobertura vegetal en la zona contextual regional.	124

INTRODUCCIÓN.

La región del Volcán Chichonal, también llamado Chichón, es el área que enmarca el estudio en cuestión, insertada en la región de la Montañas Zoques, en el norte del Estado de Chiapas. En esta parte media-baja de la cuenca del Río Grijalva se ve frecuentemente afectado por amenazas naturales debido a su localización y características geográficas. La población de la región, que en su mayoría es del tipo rural, se ve enfrascada en una serie de carencias y debilidades sociales que aumentan la vulnerabilidad de la población.

En el presente trabajo se pretende dar un aporte cartográfico por medio de técnicas avanzadas de procesamientos en imágenes satelitales, basado en la clasificación por objeto del uso del suelo, representado por la parcelación del terreno en beneficio de la comunicación del riesgo, y de esta manera contribuyendo con un enfoque geográfico a la gestión del propio riesgo. Centrándonos en este trabajo en la comunicación del riesgo por parte de los procesos de remoción en masa.

El método para hacer esto en el caso de un paisaje de pastoreo por ganado, es hacer un mapa de densidad de vegetación utilizando una clasificación basada en objetos mediante imágenes Landsat (MSS, TM y ETM+), e introducir este mapa en un modelo espacial para la asignación de susceptibilidad a deslizamientos.

Se optó por probar el método de clasificación por objeto en un algoritmo de generación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos basado en el método de pesos de evidencia (**WOE**) Regmi *et al.*, 2010. Así, se incorporó la capa de Densidad Vegetal resultado de nuestro método al algoritmo, al lugar de la capa tradicional de Usos de Suelo con el fin de evaluar el aporte de nuestro método en el trabajo previo de Alcántara *et al.*, 2013.

El uso del suelo en la región corresponde a la interacción y dinámica entre la sociedad y medio ambiente. Dando como resultado una configuración heterogénea del uso de la tierra, o sistema de tenencia de la tierra. Es el propio uso del suelo y los cambios en la cobertura de la tierra una de las más importantes expresiones de la degradación ambiental y pérdida de la biodiversidad, causando el deterioro de los ecosistemas a través de la destrucción del hábitat y el agotamiento de los recursos naturales.

La gestión del riesgo es una importante herramienta conceptual donde se recalca el valor de la comunicación en trabajos relacionados con el riesgo. En temas afines al riesgo es frecuente encontrar la representación cartográfica como un instrumento más de la comunicación del riesgo, la utilización del parcelamiento del uso del suelo es ahora aplicado como rasgo geográfico, propio del lugar, para la comunicación, también es utilizado el gradiente de vegetación del lugar, producido en un software de licencia libre, como un insumo más en el análisis de pesos de evidencia.

La vulnerabilidad es vista como una característica intrínseca de la sociedad; es decir, es un término propio de la gente que refleja la incapacidad del individuo o de la comunidad para adaptarse al cambio en su medio ambiente.

El capítulo primero se basa en la construcción teórico-conceptual del trabajo enfocando su redacción en los tópicos de vulnerabilidad, amenazas, riesgo, actividades antrópicas, gestión del riesgo, la importancia del componente uso del suelo en la región y el uso de imágenes satelitales como herramienta técnica en los procesos de remoción en masa.

El capítulo segundo es correspondiente a la parte metodológica del trabajo, comenzando en la ciencia de la teledetección y sus principios técnicos de análisis, posteriormente se abunda en la corrección radiométrica de imágenes satelitales que es la conversión a parámetros físicos, así como el ajuste de histogramas para una comparación más óptima entre imágenes; también se explora la aplicación del software libre MadCat para la extracción del gradiente de vegetación y el parcelamiento del uso del suelo que refleje el sellado del lugar, como insumos extras en el proceso de pesos de evidencia para la producción del mapa de Susceptibilidad de Laderas por Parcela. También se hace referencia a la producción del índice de vulnerabilidad socioeconómico para darle el carácter conceptual de riesgo al estudio.

En el tercer capítulo se muestran los múltiples resultados obtenidos, comenzando con la creación de Mapas de Densidad de Cobertura Vegetal para la región del Volcán Chichonal, en los tres años aplicados (1984, 1993 y 2003), haciendo una interpretación de los tipos de vegetación que representan cada gradiente, posteriormente se presenta el Mapa de Susceptibilidad de Laderas por Parcelas relacionada con la identificación puntual, a nivel localidad, de la vulnerabilidad de la población.

Al final del tercer capítulo se presenta el inicio de un eventual tema de investigación que arrojó paralelamente el presente trabajo de tesis, que es un análisis de vulnerabilidad compartida en espacios co-dependientes por medio de la dinámica del uso del suelo en una región más amplia de la cuenca del Grijalva. Se concluye con el capítulo 4 con un análisis previo del trabajo enfocando en la relevancia del estudio, finalizando con las conclusiones generales del estudio.

Justificación del tema.

El territorio mexicano presenta una gran heterogeneidad de relieves así como una amplia gama de ecosistemas que refleja la diversidad de climas (temperatura y precipitación, principalmente); en los espacios montañosos del país donde el impacto ecológico es grave, ocasionado por los cambios de uso del suelo, y aunado a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos de gran intensidad o frecuencia, ambos procesos son señas claras de inestabilidad de laderas desencadenadas por precipitación y constituyendo uno de los peligros de mayor impacto en diversas regiones del país (Flores y Alcántara, 2012).

En zonas tan sensibles como la cuenca del río Grijalva y en específico, en las inmediaciones del volcán Chichonal, este tema puede contribuir a una concientización de problemas inherentes a la organización de la producción en el territorio y ayudar a entender la complejidad de los riesgos de estas región, más allá de los factores de vulnerabilidad inmediata cuando ocurre un fenómeno meteorológico extremo.

El suelo es considerado como uno de los factores más importantes que inciden dentro del sistema ambiental, sin embargo, es uno de los subsistemas más altamente modificados por actividades antrópicas y poco considerado en la evaluación a riesgos en las comunidades.

El cambio de uso del suelo es un reflejo de la interacción entre la sociedad y el ambiente, causando alteraciones en ciclos y procesos naturales (Pineda *et al.*, 2009). También, el uso del suelo es uno de los factores más explícitos en el territorio para reflejar procesos antrópicos (Arcia *et al.*, 1994; Rosete *et al.*, 2008) y por lo tanto puede fungir como modo de representación para entender cierta parte de la vulnerabilidad de una región.

La zona de estudio se enmarca en el área del Volcán Chichonal, que ha sido sujeta a conformar un Geoparque para su conservación, protección y desarrollo sustentable por su alto contenido paisajístico, cultural y geomorfológico.

Objetivos e hipótesis del trabajo.

La variabilidad de la cobertura del suelo se ha documentado como un factor clave en la transformación de los eventos físicos en un desastre. Por lo tanto, se propone utilizar representaciones espaciales del uso del suelo/cobertura vegetal a fin de concebir más de cerca los conocimientos de gestión local por medio de unidades de representación local, en este caso nos referimos al parcelamiento del terreno.

Objetivo general:

- ❖ Aporte cartográfico basado en la clasificación por objeto del uso del suelo para la comunicación del riesgo.

Objetivos particulares:

- a) Explotar técnicas avanzadas de procesamientos en imágenes de satélite, para contribuir a una mejor representación del riesgo en beneficio de la población local, por medio del uso del suelo, enfocando su atención en la susceptibilidad a deslizamientos.
- b) Construcción cuantitativa de un índice de vulnerabilidad socioeconómico a nivel local, por medio de componentes principales.
- c) Evaluación del estado y la evolución del uso del suelo con imágenes de satélite Landsat MSS, TM y ETM+ teniendo como referencia los trabajos realizados por Gómez y Rojas (2009), donde hace uso de imágenes satelitales para la identificación de la cobertura vegetal del Norte de Chiapas.
- d) Exploración y hacer uso de software de libre licencia que faciliten la extracción y representación de la cobertura vegetal en imágenes satelitales, por medio del método clasificatorio por objeto y el índice de vegetación NDVI; además de ampliar el mosaico de opciones respectivo al software, será visto como un aporte novedoso en la forma de representar y difundir el riesgo a nivel sociedad local.

- e) Ofrecer una perspectiva de vulnerabilidad por cambio de uso del suelo, teniendo como forma de representación la parcelación del territorio en la región.

En la región norte de Chiapas, al igual que en muchas otras regiones del país, la ganadería tiene una gran importancia económica y social para los grupos indígenas y campesinos. En efecto, esta actividad extensiva contribuye al sustento en alimento de las ciudades del país, particularmente con poblaciones urbanas y sus necesidades en aumento. Sin embargo, esta actividad también hace que se deteriore el medio físico (López *et al.*, 2000) y posiblemente incrementa, a su vez, la vulnerabilidad en el ámbito rural como en el ámbito urbano. A menudo se limitan los estudios a mencionar este deterioro físico ocasionado por las actividades agro-pecuarias sin ver implicadas a las poblaciones urbanas en las causas de la vulnerabilidad.

Una hipótesis de este trabajo es que la actividad económica de la región, basada en la actividad ganadera, entra en conflicto con la importancia ecológica de la cobertura vegetal, viéndose reflejado en el cambio de uso del suelo y con ello el aumento a la susceptibilidad de procesos de remoción de masa en la región, y aunque no es el único factor detonante en la producción de Procesos de Remoción en Masa (PRM) sí es un factor a considerar cuando se tratan los temas de vulnerabilidad y riesgo.

Por lo tanto, si el factor uso de suelo es usado en la narrativa y a su vez como un ingrediente más en la construcción de la vulnerabilidad para la región, también puede ser utilizado como medio de representación del riesgo, por medio de la parcelación del terreno, y con ello contribuir a la difusión del riesgo de una forma novedosa en donde los habitantes del lugar son entendedores de su ambiente.

El análisis de los usos del suelo en la zona del Chichonal, en Chiapas, permitirá caracterizar de manera precisa en el territorio actividades humanas, fundamentalmente agropecuarias, y la antropización del medio natural en la región.

Antecedentes.

El cambio de uso del suelo es un tema de gran interés para los científicos enfocados en las alteraciones de las condiciones ambientales de nuestro planeta (Ojima *et al.*, 1994). Enfocando su atención en la conversión de bosques tropicales en áreas agrícolas y ganaderas, producto de la deforestación que favorece la concentración del bióxido de carbono en la atmósfera, contribuyendo en parte al calentamiento global (Skole *et al.*, 1994). Detectando la velocidad de la deforestación, localizando su extensión y entendiendo las causas sociales y económicas de los cambios, a escalas globales, regionales y locales. Centrando la atención en las consecuencias negativas de la deforestación sobre los suelo, recursos forestales, sociedad y economía (Cortina *et al.*, 1999).

Diferentes autores han trabajado los temas de cambio de uso del suelo y riesgo, con una diversidad de enfoques, algunos trabajos que se relacionan con estos temas son: Gómez y Rojas (2009), quienes evalúan la situación de la cobertura vegetal en la zona V Norte de Chiapas para el ordenamiento ecológico territorial, mediante la obtención del índice de vegetación normalizado (NDVI) por medio de dos imágenes de satélite de los años 1986 y 2002.

Por otra parte, Berlanga *et al.*, (2010), realizaron un estudio comparativo de cobertura vegetal y uso del suelo en la costa norte de Nayarit, con imágenes de satélite Landsat de los años 1973, 1990 y 2000, las cuales fueron clasificadas por medio del algoritmo de Máxima Verosimilitud.

La clasificación digital de las imágenes satelitales se ha convertido en una herramienta imprescindible para el monitoreo de la cobertura vegetal, ampliando la búsqueda por desarrollar y probar alternativas que permitan la obtención de resultados más precisos, asentando una mejora en la toma de decisiones. El monitoreo de coberturas y usos del suelo se ve implicado en temas de riesgo, sustentabilidad, servicios ambientales y conservación de la biodiversidad (García y Mas, 2008).

Según Ribera (2004), los mapas de riesgo enfocados a los daños por inundación son aquellos que muestran por una parte la localización y características del fenómeno físico y, por otra

parte, localiza y caracteriza los elementos expuestos, añadiendo al estudio del fenómeno físico el concepto de vulnerabilidad.

Ahora bien, en el campo de la literatura la visión del riesgo es muy amplia, desde su definición hasta las formas de prevenirlo, en este trabajo se plantea una visión sistémica del riesgo donde se propone involucrar el elemento de uso del suelo como un propulsor más de la vulnerabilidad natural en la construcción del mismo riesgo, que más adelante se explicará ampliamente, por el momento se ilustrará de manera simple el concepto del riesgo.



Localización.

La zona de estudio se encuentra en la parte sureste de la República Mexicana, teniendo como límite las coordenadas SW $\lambda N 17^{\circ}16.0'$, $\phi O 93^{\circ}18.0'$, y en el extremo NE $\lambda N 17^{\circ}28.1'$, $\phi O 93^{\circ}06.1'$ en el estado de Chiapas, el cuál es un estado de múltiple diversidad natural y social, reflejada en la pluralidad de manifestaciones culturales.

El estado de Chiapas está dividido en 118 municipios, teniendo como capital la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez. El estado tiene una población total aproximada de 4 796 580 habitantes¹. Un poco más del 50% de la población es rural, cerca del 47% es población urbana, viviendo en alguna de las ocho ciudades consideradas de mayor tamaño: Tuxtla Gutiérrez, San Cristóbal de las Casas, Tapachula, Comitán de Domínguez, Cintalapa, Tonalá, Villaflores y Palenque, en orden descendente; y el resto vive en las demás ciudades de menor tamaño. Cuenta con nueve regiones geográficas: Región Norte, R. Altos, R. Selva, R. Centro, R. Fronteriza, R. Frailesca, R. Sierra, R. Soconusco, y R. Istmo-Costa.

Su historia es de notables contrastes culturales, desde sus inicios los primeros pobladores, hace aproximadamente 10, 000 años, se asentaron en la hoy conocida región de los Altos de Chiapas. Poco a poco se fueron estableciendo en la depresión central, los mayas –tzeltal,

¹ INEGI, 2010. <http://www.inegi.org.mx>

tzotzil, choles, tojolabales, y cabiles- en la zona este y los zoques en la zona oeste. Con la prosperidad en los pueblos nativos, los aztecas invadieron la región del Soconusco. En la conquista española los chiapanecos manifestaron resistencia y sublevaciones constantes. En la época de Independencia, Chiapas se mantuvo al margen, posteriormente decide por decisión libre y democrática integrarse a México. Durante el periodo del Porfiriato, se repartió terrenos a extranjeros para la extracción de maderas preciosas, aumentando el descontento social en el estado. En la década de los setentas se produce una oleada de inmigración en la parte fronterizas del estado chiapaneco con Guatemala, por el lado del río Lacantún.

Debido a las fuerzas tectónicas el estado de Chiapas presenta una evolución geológica de intensa actividad volcánica, dejando como resultado una heterogeneidad de relieves reflejados en su topografía; aunado con la interacción de los vientos provenientes de los dos océanos y su posición geográfica con respecto a la latitud; hace del estado chiapaneco un lugar de continuas lluvias, favoreciendo la permanente trayectoria de ríos que van trazando y modelando el relieve. Chiapas es considerado uno de los estados de mayor biodiversidad a nivel nacional y mundial. Contando con una abundancia de recursos naturales renovables. Por su territorio pasa los dos ríos más caudalosos de México, el río Usumacinta y el río Grijalva, este último presente en la zona de estudio. Mientras que el río Usumacinta forma la frontera natural con el país vecino de Guatemala. Se encuentran también las presas hidroeléctricas Belisario Domínguez (La Angostura), Nezahualcōyotl (Malpaso) y Chicoasén.

La zona de estudio se centra en el Volcán Chichonal –o también llamado Chichón- y sus inmediaciones (mapa A). Cuenta con una superficie de 47,015.625 ha involucrando los municipios de Sunuapa, Pichucalco, Ixtacomitán, Ostucán, Chapultenango y Francisco León, con porciones muy mínimas de territorios de Tecpatán, Tapalapa y Pantepec. Teniendo en su interior 73 localidades correspondientes a los municipios anteriormente citados. La población total es de 14,947 habitantes, de acuerdo con el censo 2001 (INEGI).

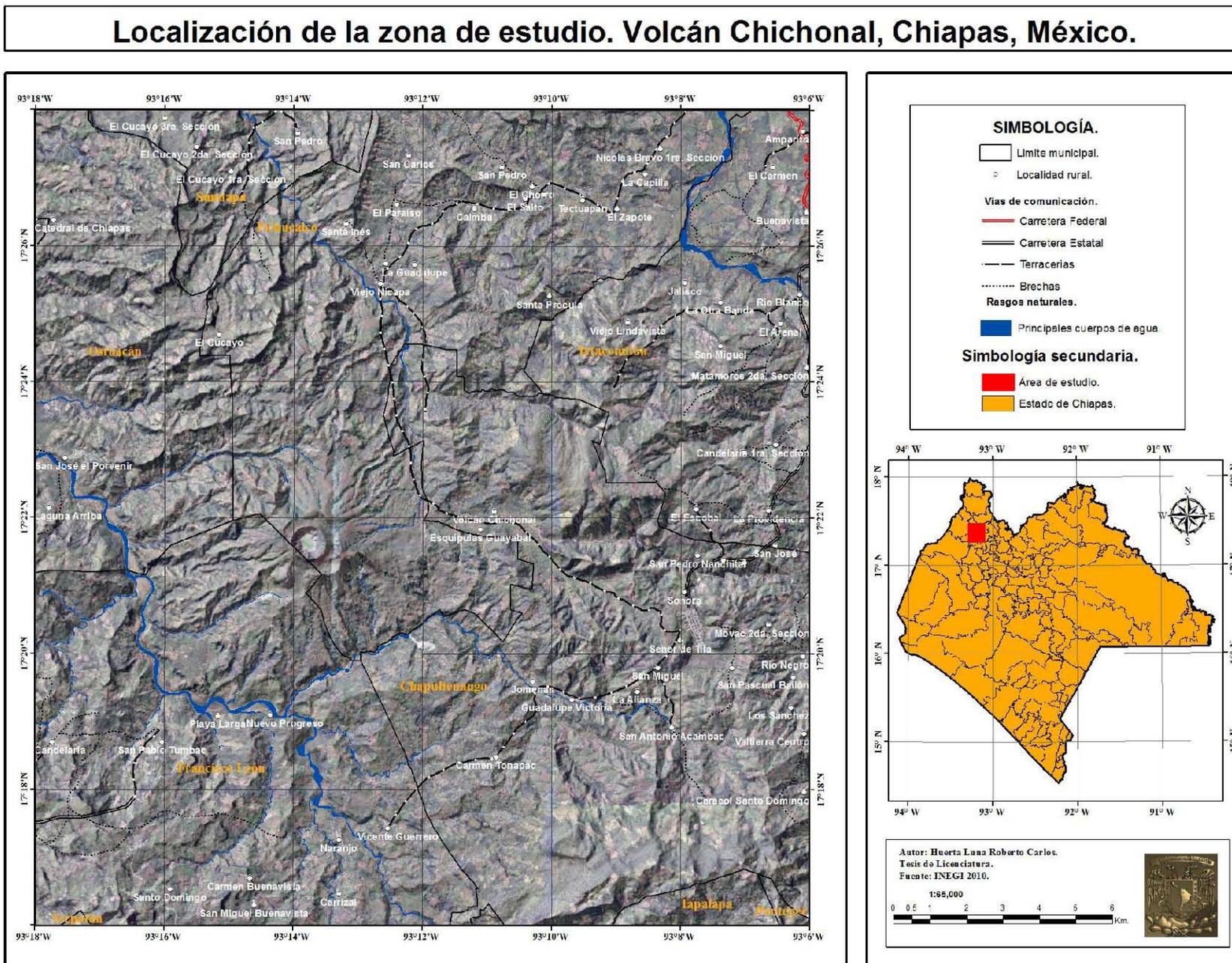
La geología del lugar corresponde principalmente a unidades volcánicas como son flujos piroclásticos del holoceno, flujos piroclásticos del cráter Somma; y unidades sedimentarias de areniscas, conglomerados y limolitas del mioceno inferior, con lutitas del paleoceno-mioceno inferior; y por último evaporitas y calizas del cretácico superior (Figuroa y Ortiz, 2013).

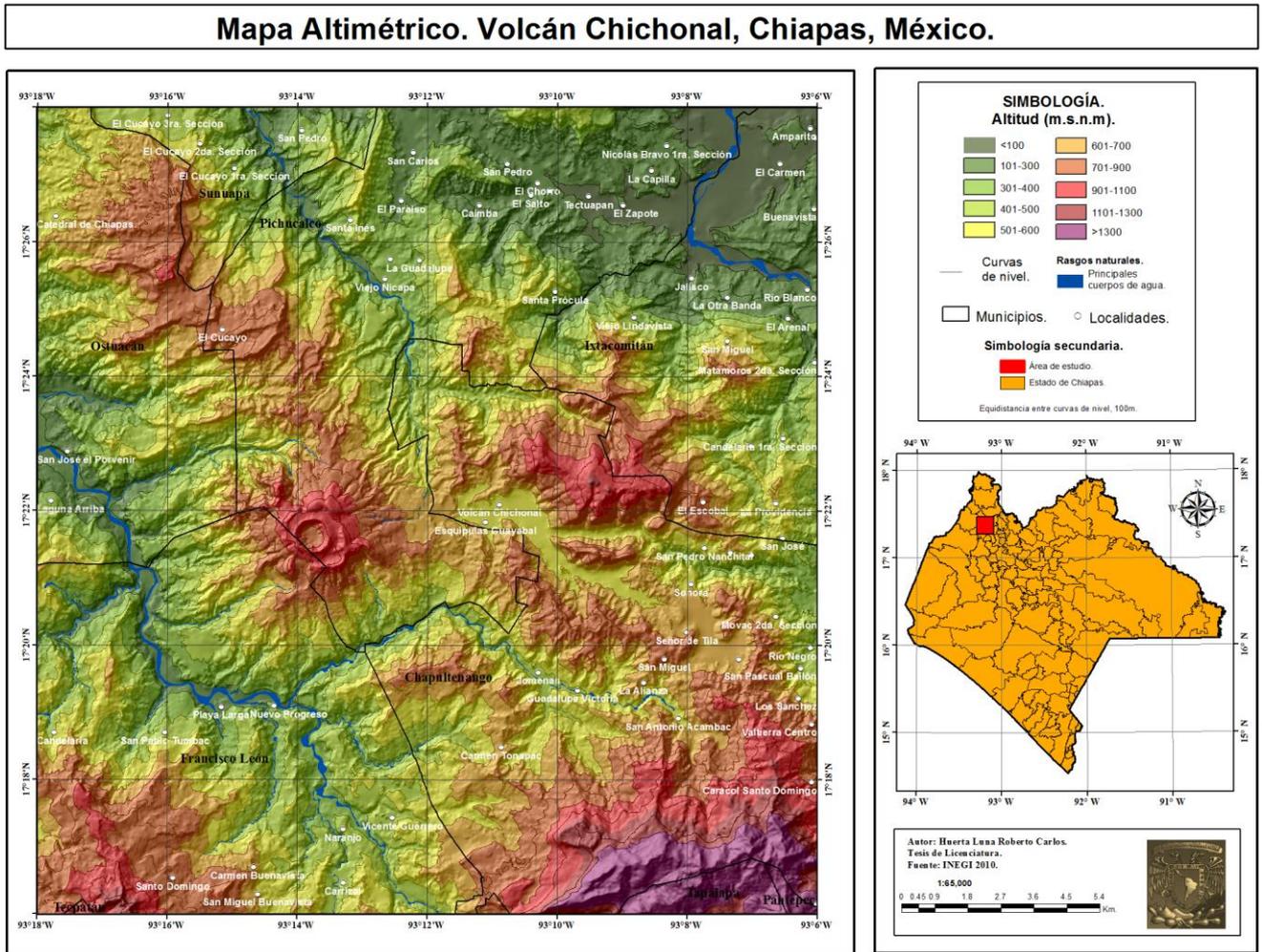
De acuerdo con el Sistema Modificado de García², la región de estudio cuenta con un clima cálido húmedo con lluvias abundantes durante todo el año, teniendo como fórmula Af(m)(i')gw", a más de mil metros de altura se modifica un poco la temperatura definiendo el clima en semicálido, con el mismo rango de precipitación, su fórmula es A(C)f(m).

La geomorfología del lugar se origina del relieve endógeno y exógeno, el primero es representado por el relieve volcánico y tectónico, reconociéndose coladas de lava, flujos, mantos y laderas piroclásticas, asociadas al edificio volcánico del Chichonal; por otra parte el relieve exógeno se representa por las formas fluviales definidas por la gran cantidad de causas de relativa profundidad, otro de los relieves exógenos representativos son los relacionados a los procesos de remoción en masa, teniéndose deslizamientos, desprendimientos y flujos de lodo (Mendoza-Margáin, 2013).

²García, E. (1988). Ver fuente en bibliografía.

Mapa A. Localización.

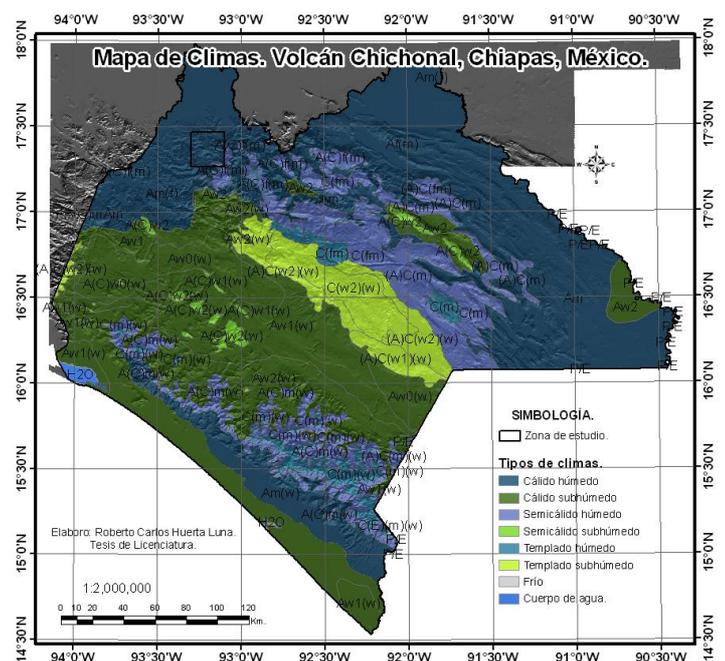
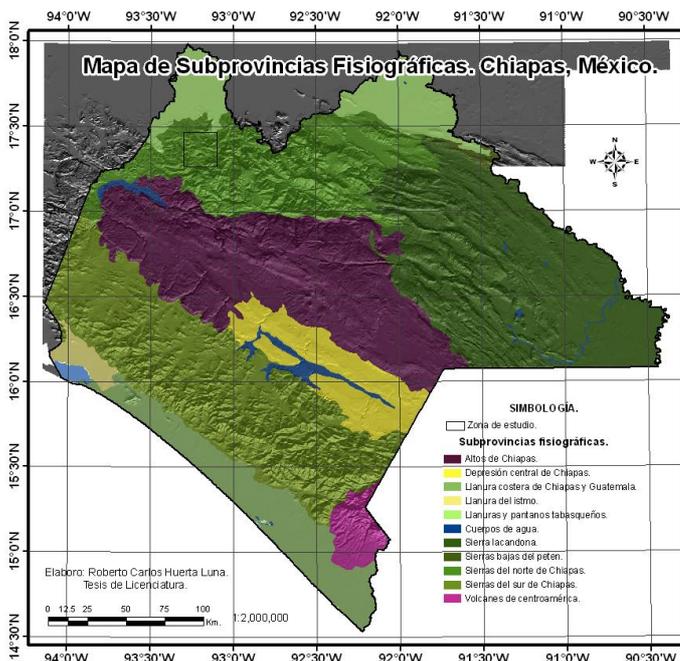




Mapa B. Altimetría.

Mapa C. Fisiografía.

Mapa D. Climas.



CAPÍTULO 1.

En el presente capítulo se establece los antecedentes del trabajo, donde el marco teórico y conceptual se instaura conforme a las nociones de vulnerabilidad y riesgos ambientales, gestión del riesgo e imágenes de satélite; en apoyo a la comunicación del propio riesgo en base a la parcelación del uso del suelo.

ANTECEDENTES.

En medio de un señalamiento global sobre fenómenos naturales extremos como pueden ser erupciones volcánicas, temblores de origen sísmico y eventos meteorológicos extraordinarios, algunas regiones en México se han visto especialmente afectadas por desastres asociados a estos fenómenos. En los sistemas naturales, como lo son las cuencas, la probabilidad de que ocurra un desastre como consecuencia de lluvias extremas, inundaciones, deslizamientos, está en función de la vulnerabilidad del sistema y a las características propias del evento natural. En los estados de Chiapas y Tabasco, a lo largo del río Grijalva que los une, se pueden identificar zonas particularmente sensibles, incluyendo por un lado desastres de inundación extensa río abajo en la ciudad de Villahermosa, y por otro lado procesos funestos de remoción en masa, incendios e inundación en zonas rurales situadas a media cuenca cerca del Chichonal en Chiapas.

La aceleración de las actividades humanas en las últimas tres décadas ha generado una situación en la cual el medio ambiente modificado en una región incide en los desastres que ocurren en otra zona, y la actividad de una área para el sustento de otra se vuelve potencialmente riesgosa para una tercera, etc. (Beck, 2006). Sin embargo, se sigue teniendo la tendencia de estudiar riesgos en una sola región, con esquemas de amenaza y vulnerabilidad local, lo que limita la posibilidad de cuestionar la organización de la sociedad a escalas pequeñas y de ver una posible recursividad de los riesgos, independientemente de posibles mejoras (disminuir la vulnerabilidad) a nivel local.

Algunas interrogantes desde la geografía parten de la consideración de la vulnerabilidad a amenazas ambientales, lo que hace más probable la ocurrencia de los desastres a partir de estas amenazas ambientales, es decir que una parte del desastre lo genera la sociedad humana.

La vulnerabilidad se puede considerar de varios tipos, desde las condiciones sociales y psicológicas de cada hogar expuesto a una amenaza, hasta la forma de organización de la sociedad que implica una exposición colectiva a una amenaza (Wilches-Chaux, 1993).

El factor de uso del suelo, por ejemplo, es susceptible de intervenir en una vulnerabilidad a procesos de remoción en masa en una casa rural. El mismo factor de uso de suelo, visto a escala regional para el sustento de una población, es susceptible de intervenir en la vulnerabilidad de una ciudad completa a la amenaza de una inundación. Según Vitousek *et al.*, (1997) “*El uso de la tierra para proveer bienes y servicios representa la principal alteración humana al sistema Tierra.*” Los cambios de uso del suelo y de la cobertura vegetal degradan el suelo y alteran el funcionamiento de los ecosistemas.

La modificación de uso del suelo por actividades humanas provoca la pérdida de la cubierta natural. López *et al.*, (2000) menciona que el desarrollo de la ganadería, como actividad complementaria a la agricultura, en el sureste de México se ha señalado como la principal causante del deterioro de los recursos naturales, es decir, el sistema ganadero de montaña se extiende a costa de la ampliación agropecuaria sobre selvas y bosques.

En la parte montañosa Zoque de la cuenca del Grijalva presenta una transición entre la actividad ganadera (procedente de la llanura Tabasqueña) y la agricultura comercial y de subsistencia. Se destaca el cultivo de café y cacao como productos comerciales de montaña, mientras que el maíz, frijol, yuca y calabaza son vistos como productos de subsistencia. Los grupos indígenas Zoques y Tzotziles al compartir conocimientos herbolarios de la región, que en muchos casos los ciclos naturales-productivos se relacionan con usos y costumbres religiosos.

Por otra parte, muchos de los peligros de origen natural que se presentan están relacionados con cuestiones climáticas (hidrometeorológicos), geomorfológicas, entre otros. En este contexto, las inundaciones representan el 50% de los desastres en México viéndose favorecido por la vulnerabilidad de la sociedad, son muy frecuentes en las partes bajas de las cuencas, por citar las inundaciones de la ciudad de Villahermosa y Cárdenas en los años 2007 y 2009 (Hinojosa *et al.*, 2011). Esto es un claro ejemplo de la acción de las lluvias extremas, propiciadas por los ciclones tropicales, aunado por el entramado social y la degradación de los recursos naturales de la región.

Los PRM son otros fenómenos que se pueden presentar en la parte media y alta de las cuencas, como en las cercanías al Chichonal en Chiapas, los PRM son eventos geomorfológicos muy comunes y propios de la naturaleza en geo-formas de considerable inclinación, pero que se ven favorecidos por el cambio de uso del suelo (deforestación, asentamientos humanos, entre otros).

Por lo tanto, en éste capítulo se dará una revisión de la importancia que presenta el uso de suelo como factor para la construcción y representación del riesgo local, además de diversos elementos que ponen de manifiesto la vulnerabilidad de la población, las principales actividades humanas que retroalimenta la vulnerabilidad del sistema, y por último, una breve revisión de trabajos relacionados con la teledetección relacionados con la determinación de la vulnerabilidad de la sociedad, afectados por fenómenos naturales.

1.1 Vulnerabilidad y riesgos en ambientes rurales y el Volcán Chichonal.

Existen diversas definiciones de “vulnerabilidad” y “riesgo” que en muchos casos corresponden a la línea de formación y trabajo de quien las formula, y encaminadas a intereses particulares. En primer lugar se debe retomar las definiciones de los conceptos que aquí se relacionan para entender con claridad la correlación vulnerabilidad-riesgo que normalmente se presenta en ambientes rurales. En este caso corresponde definir tres conceptos claves para el desarrollo del trabajo.

Se considera como **amenaza** a la probabilidad que ocurra un fenómeno que signifique un cambio en el medio físico, el cual pueda afectar a una comunidad (Cardona, 1993).

La **vulnerabilidad** es la incapacidad que tiene la comunidad para adaptarse al cambio producido en su medio ambiente (Wilches, 1993).

Por **riesgo** se entenderá como la probabilidad de un daño en la comunidad, consecuencia de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de origen natural o humano y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Cardona, 1993).

Una vez abordadas y delimitadas las definiciones se dará paso a exponer algunos casos donde se exhiben estos conceptos, en un grado menor o mayor de presencia pero suficientes para

producir un desastre o catástrofe, en ambientes rurales y algunos otros en ambientes urbanos. Un claro ejemplo de lo arriba expuesto es precisamente la erupción del Volcán Chichonal en el año de 1982, causando uno de los desastres más grandes en el registro a nivel nacional, descrito por Espíndola *et al.*, 2002; Limón-Hernández, 2005; y que en las siguientes líneas se presenta:

La erupción del Chichonal es considerada como una de las actividades volcánicas más grandes y más importantes por el impacto ambiental (evidenciando la importancia del volcanismo en el clima global) del siglo XX. A su erupción se le asignó un valor de 5 en el *Índice de Explosividad Volcánica* (IEV), índice conformado por nueve valores (0 al 8) donde cada valor es diez veces mayor que el anterior. El IEV es resultado de considerar diversas variables del evento como la altura de la columna eruptiva, volumen de los productos arrojados, la duración del evento eruptivo, entre otros. En este índice, la erupción del Chichonal es comparada con la del Volcán Santa Elena, Estados Unidos en 1980.

Mulleried (1933) presentó al Chichonal como un volcán activo y resalto su actividad sísmica e hidrotérmica, teniendo como resultado que la Asociación Internacional de Vulcanología lo introdujera en su “Catálogo de Volcanes Activos del Mundo”, para los años setentas la Comisión Federal de Electricidad (CFE) realizó estudios en la zona con fines de aprovechamiento geotérmico. Como consecuencia de estos estudios Canul y Rocha (1981) declararon en su trabajo *Informe geológico de la zona geotérmica de “El Chichonal”, Chiapas*, la eminente amenaza que representaba el volcán para esas fechas, lamentablemente se tuvo poca difusión del trabajo y sólo quedó en los archivos internos de la CFE.

La actividad volcánica del Chichonal se empezó a registrar desde el 29 de marzo a las 05:32 horas (del meridiano de Greenwich, el tiempo local es de 6 horas menos) con la primera erupción explosiva antecedida por un fuerte sismo a las 12:37 horas del día 28. Se registraron diez fases diferentes en esta erupción que concluyó el 4 de abril a las 18:30 horas aproximadamente. En las poblaciones más cercanas hubo caída de fragmentos de considerable tamaño que produjeron la muerte de los pobladores e impidió una eficaz evacuación. En los poblados vecinos se produjo un inusual terror provocando que huyeran en completo desorden. En las ciudades próximas también reinó el desconcierto, por la constante lluvia de ceniza, fragmentos de roca y pómez, como fue el caso de Ixtacomitán, Pichucalco y Ostucacán. El miedo aumentó cuando la actividad volcánica fue cobrando vidas humanas. La población

estaba mal informada por las autoridades correspondientes quienes les pedían que no evacuaran sus viviendas. El gobierno local y autoridades militares carecían de algún plan de contingencia de este tipo.

Los días siguientes se caracterizaron por una incesante actividad sísmica acompañada en ocasiones por erupciones menores y temblor volcánico. Todo esto llegaría a su fin la noche del 4 de abril a la 1:30 (del meridiano de Greenwich) cuando comenzó la erupción más violenta, pocas horas después se presentó una segunda erupción de menor intensidad, a las 11:30. Estas dos erupciones hicieron desaparecer el domo central del volcán, dejando un cráter de alrededor de 1 km. Ambas erupciones produjeron columnas plinianas de más de 20 km de altura y oleadas piroclásticas que alcanzaron distancias de hasta 8 km, arrasando por completo con la cubierta vegetal en las laderas del volcán. Como consecuencia de estas oleadas la cabecera municipal de Francisco León fue completamente arrasada, no quedó rasgo alguno del poblado ni de su gente, excepto los anchos paredones de su iglesia. También los poblados de Guayabal, Volcán, Tanchichal, Trinidad y Juan Bosco sufrieron las consecuencias en pérdidas materiales y muy probablemente de vidas humanas. En poblados más alejados al volcán también sufrieron los embates de la erupción, como lo fueron Chapultenango, Nicapa, Ixtacomitán, Tectuapán y Pichucalco, por consecuencia del depósito de cenizas en los techos de las viviendas que difícilmente pudieron sostener y terminaron por desplomarse. Incluso en las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y Villahermosa se llegó a depositar varios milímetros de estas cenizas.

De acuerdo con el censo de población del año 1980, el número de gente que habitaba los poblados aledaños al volcán, y que sufrieron una destrucción parcial o completa, supera los 6 000 habitantes. Este número de población no debió de ser muy diferente dos años después (1982), y es un buen referente para intuir el número de gente que sufrió algún tipo de pérdida material o humana. Se cree que el número de muertos osciló entre los 1 500 y 2 000 personas. Y el número de damnificados aumentó de 20 000 a 40 000 personas, según datos de la Secretaría de la Defensa Nacional en su reporte.

Sin duda alguna las vidas humanas que se perdieron en este evento volcánico son las más importantes, pero también los daños económicos en la región fueron muy graves, impactando fuertemente en las principales actividades económicas (ganadería y agricultura) de la zona, dejando en la pobreza extrema a miles de personas que lo perdieron todo, pero también el

evento exhibió el altísimo grado de vulnerabilidad en el que viven la población zoque de esta región, lamentablemente algunos colonos se niegan a entender las lecciones de la naturaleza, disponiéndose a regresar a sus lugares de origen y rechazándose a una reubicación. La erupción del volcán Chichonal no podía dejar de ser descrita en esta parte del trabajo puesto que representa, lamentablemente, un excelente ejemplo de los conceptos “riesgo” y “vulnerabilidad”.

También en Ecuador, en el año de 1993 se presentó un desastre producto de una cadena varios de fenómenos naturales en la provincia de Azuay, en un sitio conocido como La Josefina, descrito por Leone y Velásquez en 2002. El desastre se inició por un deslizamiento en la noche del 29 de marzo de ese año, a las 21:00 (tiempo local). Las causas del deslizamiento se dividen en factores intrínsecos por ser una zona de fuertes pendientes y fallas, y factores detonadores que pueden ser antrópicos e hidráulicos, en los antrópicos se conjuga el papel que tienen las canteras a cielo abierto y en los hidráulicos una infiltración masiva de aguas por una precipitación sería. El deslizamiento causó la obstrucción del cauce principal del río Paute, provocando una presa natural con las siguientes dimensiones: 1 100 m de largo, 500 m de ancho y 100 m de alto. Produjo la formación de dos lagos en su interior que se unieron el 17 de abril y llegando a su nivel máximo el 1 de mayo, fecha en que se produjo la ruptura promovida en la presa natural.

La crisis generada por la amenaza se vio favorecida por la incertidumbre de la población que recibió información mal interpretada por los medios de comunicación, complicando la tarea de las autoridades. La ruptura de la presa tuvo un doble efecto en la población, por un lado, la parte que estaba inundada por efecto del represamiento natural se vieron beneficiadas al liberarse del agua acumulada. Y por el otro lado, la población presente cuenca abajo se vio afectada al perder sus propiedades por la avenida torrencial. El efecto que tuvo el deslizamiento principal en la sociedad fue de 71 muertes y 14 000 personas evacuadas en campamentos provisionales para la liberación del agua represada. Los daños materiales ascendieron 147 millones de dólares aproximadamente, afectando varias centenas de casas, decenas de kilómetros de carreteras, puentes y numerosas plantaciones e instalaciones agrícolas, así como zonas residenciales y fábricas.

Un trabajo realizado por Oliver-Smith (2002) recopila los sucesos por terremoto en el Perú de 1970 y hace hincapié en el concepto de vulnerabilidad desde un enfoque de las ciencias

sociales y su función en el desarrollo del desastre. Se destaca la vulnerabilidad de la población peruana por el estado de subdesarrollo que sufría en aquellos años, aclarando que la pobreza por el subdesarrollo no es sinónimo de vulnerabilidad sino que puede ser un factor contribuyente que limita las acciones de respuesta ante amenazas ambientales. Perú por su posición geográfica la hace una nación sumamente expuesta a amenazas del tipo geológico, sus escarpadas laderas propician el desarrollo avalanchas de hielo y rocas de diversas dimensiones.

El día 31 de mayo de ese año, se presentó un sismo de 7.7 en la escala de Richter, afectando los departamentos de Chancay, Ancash, La Libertad, Lima, Huanuco, Trujillo, Callejón de Huaylas y el Callejón de Conchucos. En estos lugares las casas fueron destruidas, algunas parcialmente y otras por completo. El grado de destrucción que dejó el terremoto fue inimaginable, carreteras destruidas, vías férreas completamente retorcidas, desabasto de víveres, tuberías rotas y las que funcionaban subministraban agua contaminada, en algunos casos el suministro de luz eléctrica tardó meses en ser reparado, los aeropuertos quedaron inhabilitados.

El trabajo expone de manera crítica e implícita los diversos tipos de vulnerabilidades (económica, física, social, política y técnica) que presentaba la sociedad peruana en aquellos tiempos, distingue el tipo de amenazas a la que se está expuesta, y por último demuestra como la conjugación de amenaza y vulnerabilidad produce un riesgo. En síntesis, el terremoto en Perú demostró una vez más, el poder que tiene la naturaleza sobre una sociedad vulnerable y la susceptibilidad de su infraestructura, sin duda puso en jaque a toda la nación, demostrando las imperfecciones de su sistema y su deficiente respuesta ante tales situaciones.

Las inundaciones causadas por fenómenos meteorológicos extremos, es decir, lluvias de gran volumen, son otro de los riesgos a considerar para la vulnerabilidad de las personas que habitan las ciudades o poblados aledaños a grandes ríos, y que se ve favorecido por el cambio de la cubierta natural a una ampliada y constante urbanización. En los últimos años con la ampliación de las vías de comunicación y servicios, pequeñas ciudades o puertos se han convertido en grandes e importantes ciudades de atracción social y turística, y con ello los ciclones, tormentas tropicales y huracanes (cada temporada), eventos geológicos (erupciones y sismos) se convierten en una amenaza mayor para la población.

Los eventos donde grandes cantidades de energía se liberan de manera espontánea, como lo pueden ser las inundaciones, terremotos, erupciones, procesos de remoción en masa, entre otros, son considerados como modificadores importantes del paisaje, y más aún, como riesgos latentes para la sociedad presente. Un registro continuo de su ocurrencia, características y consecuencias son elementales en un futuro próximo para una importante contribución en análisis de vulnerabilidad y la estructuración de escenarios de riesgo (Velásquez *et al.*, 2002).

En el sureste mexicano la actividad ganadera es vista como una forma de ingreso económico para la población rural (López *et al.*, 2000), es en este mismo lugar de México donde se localiza la selva húmeda que rotundamente aporta una enorme riqueza en biodiversidad, y múltiples servicios ecosistémicos para la humanidad (Dirzo, 2004; Balvanera *et al.*, 2011), volviendo a la actividad ganadera, es en la zona de la selva húmeda donde se produce más de una cuarta parte de la producción de carne para el consumo nacional (Ruiz *et al.*, 2004, citado por Manjarrez *et al.*, 2007), desafortunadamente teniendo un alto costo ambiental (Toledo, 1990); por poner un ejemplo, el estado de Tabasco en los años sesenta y setenta proveía el consumo de carne para la capital del país en un 70% además de abastecer otros diez estados (Manjarrez *Ibidem.*).

Ahora bien, direccionando el discurso del párrafo anterior en una visión de consecuencias y que ayude a percibir la conflictividad de la actividad ganadera, se tiene que la transformación de los ecosistemas naturales tienen una fuerte relación con la práctica ganadera, la tala y quema de bosques; llegando a caracterizar a la ganadería como una amenaza ecológica para los bosques tropicales (Kaimowitz, 1996, citado por Murgueitio, 2003). Provocando un desgaste de los suelos que en ocasiones es irreversible, como la erosión y compactación, la desecación de humedales, la explotación del recurso maderero para limitación de potreros, la construcción de vías de penetración y la destrucción de la vegetación a su paso, contaminación del agua y suelo por usos de fertilizantes y plaguicidas, entre otros daños secundarios (*Ibidem.*).

Es claro que la práctica ganadera es en la mayoría de las veces efectuada en lugares impropios, que en un corto plazo presenta beneficios para la comunidad pero que consecuentemente tendrá como destino la degradación ambiental, un ejemplo claro es la compactación y erosión del suelo por el continuo paso del ganado en los terrenos deforestados reservados para los potreros, procesos que perjudican la retención y absorción del agua por el

perfil edafológico (Blanco, 2010; Murgueitio, *op. cit.*; Salazar *et al.*, 2004) haciendo que aumente el volumen de agua de escorrentía y favoreciendo así los procesos de remoción en masa en terrenos con pendientes, desencadenando posibles riesgos para la comunidad.

1.1.1 Marco teórico en vulnerabilidad y riesgos.

Según Bucek y Lacina (1983) la Geografía es concebida, hoy en día, como la ciencia que trata la relación del sistema de la sociedad humana con el sistema del medio ambiente en un espacio y tiempo determinado. Las investigaciones geográficas del medio ambiente identifican componentes bióticos, abióticos y antrópicos del paisaje, así como una composición y distribución espacial que es resultado de ellos mismos (Carbajal *et al.*, 2010).

Liverman (1994a) en un trabajo realizado en México, pone de manifiesto la vulnerabilidad de la población ante amenazas ambientales, pero lo hace desde un enfoque donde la vulnerabilidad la presenta en relación con la sustentabilidad agrícola de la nación, y lo expone bajo la relación de vulnerabilidad climática. En su escrito formula el concepto de “*vulnerabilidad biofísica*” y la define como la relación ante precipitaciones de baja intensidad o de ocurrencia inconstante, suelos de pocos nutrientes o en fuertes pendientes, y con ello ver un detrimento en la productividad agrícola elevando eventualmente el grado de afectación a la población.

También resalta que en los últimos tiempos el ser humano a propiciado el aumento de la vulnerabilidad biofísica, consecuencia del uso de combustibles fósiles y la deforestación, actos que degradan paisajes locales y regionales, alteran las condiciones climatológicas. La deforestación relacionada con el impulso de la explotación petrolera, desarrollo agrícola o la construcción de nuevos caminos que unifiquen poblados, eventualmente sea la causante parcial de los cambios de clima y el flujo hidrológico de una región, viéndose reflejado en temporadas de sequías más larga o inundaciones extremas, erosión de suelos y deslizamientos, es decir, el desarrollo imprudente de una nación puede crear las amenazas a partir de la modificación de su ambiente.

Distingue tres factores históricos que pueden estar propiciando de alguna manera la vulnerabilidad en México: la Reforma Agraria, las tecnologías introducidas por la revolución verde y la integración al mercado mundial. En la primera se justifica mencionando que el

reparto agrario tuvo lugar a principios del siglo pasado, tuvo como primer beneficio la repartición de tierras que anteriormente estaban en manos de unos cuantos hacendados y con ello disminuyó la pobreza de las personas, lamentablemente las tierras repartidas eran de baja calidad, poniendo a los campesinos en un nuevo panorama de vulnerabilidad como expuestos a sequias, deficientes sistemas de irrigación o apartados de lugares comerciales. Para el segundo factor, la revolución verde y sus aportes tecnológicos, destaca los beneficios que trajo a primera instancia, como la implementación de un sistemas de riego por medio de presas o pozos, semillas mejoradas, fertilizantes químicos y pesticidas, con todo ello los niveles de producción se elevaron radicalmente, ya no dependían del riego de temporal, dejaron de guardar semillas de cosechas pasadas y abandonaron el uso de fertilizantes verdes o caseros. Sin embargo, cuando las sequias se prolongan, las heladas se presentan o las inundaciones destruyen sus cosechas. Los campesinos aparte de perder sus productos y así su forma de subsistir, quedan endeudados ante los préstamos por los insumos tecnológicos. Para el tercero y último factor, la integración al mercado mundial, se hizo una reestructuración de las instituciones con la intención de unificar los diferentes mercados, lamentablemente con estas acciones los campesinos les fue más difícil asegurar sus cosechas generando diversos problemas agrícolas.

En resumen, se puede decir que la sociedad en México está transformando su ambiente y con ello haciéndose más vulnerable a situaciones de amenazas ambientales, esto se puede reducir a medida de un eficiente uso de los recursos naturales, una correcta planeación del uso de suelo y previniendo la deforestación.

Por otra parte, Rubio (2012) en su trabajo basado en el desastre ocurrido por las inundaciones que cubrieron la frontera de los estados de Chiapas y Tabasco y el deslizamiento de tierra que sepulto a la comunidad de San Juan de Grijalva en 2007, propone analizar la vulnerabilidad social como una estructura de relaciones de poder y control que en la medida de lo usual limita/posibilita la acción de los actores ante amenazas que afecten su territorio, acciones que en el mejor de los casos son decisiones estructuradas tomadas de los sistemas sociales (economía, política, entre otros). Al proponer a la vulnerabilidad como estructura hace referencia a palabras claves (diferencial y capacidades) en la definición que propone, siendo la siguiente: *“la vulnerabilidad social se constituye como el diferencial de capacidades de las entidades sociales involucradas en un escenario de riesgo”*, entendiendo como *diferencial* a la relación de que no todos los elementos o personas poseen el mismo grado de control sobre

la situación, y para *capacidades* la centra en el contexto del riesgo, es decir, que a no todas las amenazas se es igualmente vulnerable y no a todas éstas se enfrenta del mismo modo. En resumen, abre un espacio reflexivo donde relaciona las diferentes capacidades de los actores ante los riesgos y la interdependencia de sus diversos grados de vulnerabilidades.

La preocupación por estudiar y entender más a fondo los desastres “naturales” llevaron en la última década del siglo pasado a realizar estudios, talleres y seminarios que dieran pauta a la creación de una nueva visión “alternativa” dejando atrás la visión “dominante”, visión que exhibe a los desastres “naturales” como un artefacto ideológico, incontrolable y accidental. Con la nueva visión se propone hacer énfasis en la vulnerabilidad y su correcta conceptualización, y al desarrollo como la fuente originaria, o por lo menos, cooperadora en la producción de los desastres (*Ibidem.*).

En este tenor, en agosto de 1992 se creó la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (*LA RED*), con el paso del tiempo se ha convertido en una obligada referencia en cuanto a prevención y manejo de desastres para América Latina. Wilches-Chaux en su trabajo de “Vulnerabilidad Global” (1993) plantea la idea de contribuir en una teoría sobre los desastres basados en la dinámica de los fenómenos sociales, y en su primer apartado propone concebir a los desastres desde la óptica de la teoría de los sistemas, comenzando a definir las características propias de un sistema:

“sistema es un conjunto cuyos elementos se hallan en constante interacción, es decir, son dinámicos y cambiantes (sin perder su esencia), son estructuras y al mismo tiempo procesos, estructuras en proceso, [...] cada subsistema debe conservar sus propio ritmo de cambio y su propia dirección, pero al mismo tiempo debe integrarse a nuevos ritmos y direcciones,[...]debe poseer la flexibilidad necesaria para poder adaptarse a los cambios producidos en un sistema superior, al cual también pertenece...”

...de lo contrario viene la crisis, cuando la crisis cobra vidas humanas y pérdidas materiales se produce el desastre.

Es bajo esta óptica que se plantea a la sociedad como un sistema abierto formado por cada uno de los individuos y sus familias, familias que conforman una manzana, un barrio, una

colonia, una ciudad; e igualmente conforman el sistema todos los elementos materiales (carreteras, escuelas, edificios, casas, entre otros) e inmateriales (religión, política, ciencia, economía, entre otros). Ahora bien, este gran sistema “comunidad” se da lugar en otro gran sistema llamado “medio ambiente” formado por características meteorológicas, geológicas, bióticas y abióticas propias del lugar ocupado; y juntos forman un sistema jerárquicamente mayor, donde interactúan ambos sistemas. Si el sistema “comunidad” es incapaz de reaccionar favorablemente a los cambios producidos en el sistema mayor por dicha interacción, entonces se produce el desastre.

Siguiendo con la aplicación de la Teoría de Sistemas pretende hacer un acercamiento simple y cualitativo del concepto “desastre” explicándolo como el producto de la convergencia de dos factores: riesgo y vulnerabilidad. Factores íntimamente ligados entre sí, ya que un fenómeno de origen natural o humano solo conseguirá el grado de riesgo si su ocurrencia se presenta en un espacio ocupado por una población vulnerable a tal fenómeno.

En su segundo apartado desarrolla el concepto de vulnerabilidad en el marco de un sistema propio y autónomo, es decir que posee la interacción de diversas características y factores que convergen en una comunidad en particular, denominando al sistema como “vulnerabilidad global” y que es conformada por diversos tipos de vulnerabilidades, vulnerabilidades que constituyen una forma más específica de analizar y entender el fenómeno de la misma vulnerabilidad global, sin olvidar la fuerte relación existente entre cada una de ellas.

Especificando a la vulnerabilidad natural como los límites ambientales propios para el desarrollo de la vida; la vulnerabilidad física definida por la localización de los asentamientos humanos; la vulnerabilidad económica como la dificultad de poder aspirar a buenos ingresos económicos tanto a nivel individuo como a nivel sociedad o estado; la vulnerabilidad social reflejado en el grado de interacción y unificación que tenga la sociedad; la vulnerabilidad política como la falta de autonomía de una comunidad para poder expresar sus necesidades; la vulnerabilidad técnica vista como la falta de tecnología adecuada para el servicio de la comunidad; la vulnerabilidad ideológica como la atribución de los desastres en hechos bíblicos o actos de un ser supremo; la vulnerabilidad cultural reflejado en la forma de desenvolverse en sociedad; la vulnerabilidad educativa descrita como el desconocimiento de la realidad que conlleva a ignorar los riesgos; la vulnerabilidad ecológica vista como la alteración del ambiente por parte de los individuos y que más tarde serán ellos mismo los que

padezcan las consecuencias de los ajustes, y ya por último; la vulnerabilidad institucional que se expresa por incorrectas administraciones de los funcionarios públicos limitando las correctas decisiones y los tiempos de respuesta.

En pocas palabras lo que el autor expone es una visión global y coherente del gran sistema que constituyen los subsistemas comunidad y medio ambiente, y a la vez exhorta al entendimiento individual del desarrollo de sus estructuras y procesos.

El riesgo es la probabilidad de daños y/o pérdidas consecuencia de la interacción de dos factores, la amenaza y la vulnerabilidad, factores que por cuestiones prácticas se podrían separar y debatir por separado, ejerciendo una supuesta autonomía, pero en la realidad y para fines de prevenir el riesgo es imposible separar los conceptos y se debe entender la fuerte interacción de ambos en la producción del riesgo (Lavell, 1999).

1.1.2 Factores hidrodinámicos, geomorfológicos y climáticos que exhiben la vulnerabilidad de la población.

Para Romero *et al.*, (1993) la producción de un desastre “natural” es la relación entre un fenómeno natural peligroso y determinadas condiciones socioeconómicas en situaciones vulnerables. Algunos fenómenos naturales por su grado de ocurrencia, magnitud y tipo pueden ser considerados como una amenaza. Por situación vulnerable considera como la susceptibilidad a sufrir un daño y de carecer de la facultad para afrontar un fenómeno natural.

Los fenómenos naturales como los movimientos de masa, inundaciones, huracanes, entre otros, que tienen su origen por características geológicas, hidrológicas y atmosféricas de una región, significan una amenaza latente que bien puede afectar el desarrollo social y económico de dicho espacio (Cardona, 1993).

En el ámbito mundial las inundaciones son el fenómeno natural considerado con mayor impacto hacia la población, por su capacidad de afectar un amplio espacio en un tiempo relativamente corto, pero que para su recuperación es necesario una mayor temporalidad. Las inundaciones se convierten en amenazas para la población cuando éstas ocupan las llanuras de inundación naturales de los ríos. En ocasiones los espacios ocupados están densamente poblados.

México por su posición geográfica y carácter fisiográfico es continuamente afectado por precipitaciones de origen ciclónico y tormentas tropicales, durante el verano y otoño, y en invierno por frentes polares ocasionando cuantiosas lluvias. Las pérdidas económicas que conllevan las inundaciones justifican el interés por su estudio en las Ciencias de la Tierra, realizando diversas investigaciones con múltiples enfoques (Garnica *et al.*, 2004).

México comparte, en su parte sur, cuencas hidrográficas o *continuums* naturales con los países de Guatemala y Belice; con Guatemala se tiene las cuencas de los ríos Suchiate, Coatán, Grijalva y Candelaria; las cuencas de los ríos Usumacinta y Hondo son compartidas por las tres naciones. La cuenca del Grijalva tiene una extensión de 60 256 km² desde la Sierra de Cuchumatanes en Guatemala hasta la Llanura Costera del Golfo, en México. Las condiciones climáticas de la cuenca del Grijalva varían conforme el río avanza cuenca abajo. En la parte alta y media de la cuenca las precipitaciones oscilan entre los 1200 y 1700 mm anuales. En la parte alta de la cuenca baja las precipitaciones son de las más altas de México, registrando hasta 4000 mm anuales; en la parte baja de la cuenca, en la planicie, la precipitación está entre los 1700 y 2300 mm anuales (Hinojosa *et al.*, 2011).

El área de estudio de éste trabajo se encuentra en latitudes bajas, por lo que se encuentra en la zona intertropical del hemisferio norte, con dos periodos de aumento de temperatura, generalmente, por su recorrido anual del Sol hacia el Trópico de Cáncer; el primero en el mes de mayo y el segundo en agosto, éste último se ve atenuado por la presencia de las lluvias en la región.

El periodo de lluvias se presenta en verano y principios de otoño, con la llegada de los vientos alisios del NE cargados de humedad del Golfo de México, que chocan con las montañas del norte de Chiapas, ascienden y se enfrían para precipitarse, las lluvias se ven reforzadas con la presencia de los ciclones tropicales procedentes del Pacífico y del Golfo.

La cuenca del río Grijalva se encuentra en las trayectorias de fenómenos hidrometeorológicos de los océanos Pacífico, Atlántico-Caribe y Golfo de México. La relativa cercanía de los océanos hace posible el choque de nubosidades precipitando de forma torrencial en las partes altas. Las elevadas precipitaciones ocasionan derrumbes o deslizamientos de masas en las partes montañosas de la cuenca, que pueden influenciar en partes bajas azolvando causes o inundando poblaciones completas.

Las características fisiográficas de la cuenca, fuertes pendientes en partes altas-medias de la cuenca contrarios a la parte baja donde la pendiente es mínima en la cercanía a su desembocadura, así como la alta deforestación y el continuo cambio de coberturas pone a la población que habita esta cuenca en una situación de alta vulnerabilidad ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos.

La Sierra Madre de Chiapas, con sus 2250 msnm en su parteaguas, se localiza en una de las regiones más lluviosas del país, formando un paisaje fluvial en sus aproximadamente 40 km en su trayectoria hacia las costas del Pacífico, grandes ríos torrenciales de corto trayecto. Chiapas por la configuración de su relieve así como otros factores, es uno de los estados con mayor vulnerabilidad social y física frente a fenómenos hidrometeorológicos y sus consecuencias más próximas, como inundaciones en partes bajas, como también deslizamientos y derrumbes en las partes altas de la Sierra.

En las últimas décadas los fenómenos hidrometeorológicos se han hecho presentes en el sureste de México. Huracán Gilbert en 1988 impactó en la Península de Yucatán, Diana en 1990, Roxanne en 1995, Cesar-Douglas en 1996. En 1998 las costas de Chiapas fueron impactadas por una tormenta tropical ocasionando severas pérdidas humanas y económicas, en ese mismo año en Guatemala el Huracán Mitch dejó 750 mil damnificados. Los Huracanes Emily, Stan y Wilma se presentaron en el 2005 provocando daños por 4 300 millones de dólares.

Sin duda el evento hidrometeorológico más reciente y sorprendente, donde puso en evidencia la alta vulnerabilidad de la población de la cuenca del Grijalva, fue la inundación del 80% del territorio tabasqueño en el 2007, evidenciando la escasa visión sistémica que se tiene de la cuenca y de los elementos que conforman su territorio: suelo, cubierta vegetal y agua.

García *et al.*, (2011) en su estudio de cuencas fronterizas sureñas menciona que las más deterioradas por actividades humanas son las cuencas de los ríos: Suchiate, Coatán, Grijalva y Usumacinta, conservando menos del 50% de su superficie con bosques y selvas. Además de detectar, en los factores de inundaciones de estas cuencas, una relación directa entre la densidad de población, el porcentaje de cubierta vegetal (bosque y selva) y el continuo impacto de lluvias extremas. Las dos primeras cuencas presentan menor porcentaje de

cubierta vegetal, con mayor densidad de población, registrando mayores eventos de inundaciones y deslizamientos.

La inundación de la Ciudad de Villahermosa, y periferias, en el 2007 se debió principalmente a la poca presencia de selvas y bosques en la parte media y alta de la cuenca del Grijalva, ocasionando una erosión hídrica y azolve de los ríos; además de otros factores como la nula visión de conservar la vegetación, asentamientos humanos dentro de los cauces de los ríos y los constantes eventos de lluvia extrema en la zona.

Con respecto a la inundación de Tabasco en el 2007, el Senado de la República con asesoría de instituciones académicas y de investigación realizaron un análisis preliminar de las causas que generaron la inundación en esta entidad; determinando que una buena gestión de recursos hídricos debe incorporar apartados de usos del suelo, zonas de costas y manejo de riesgos para una mejor evaluación y disminución de la vulnerabilidad de la población. En la Ciudad de Villahermosa, el uso de suelo exhibe una inadecuada planificación; amplia urbanización en áreas bajas que en algunas de ellas eran inundables, una alta tasa de deforestación y un descontrolado parcelamiento en partes altas de la cuenca.

En lo que respecta a la Geomorfología, la zona de estudio se presenta en la unión de dos Provincias geomorfológicas, en la parte Norte se tiene la Llanura Costera del Golfo de México, en ella se diferencian las formas del relieve siguientes: Planicie deltaica, Planicie de acumulación fluvial y Lomeríos de roca sedimentaria cenozoica; hacia el Sur de la zona se presenta la Provincia Geomorfológica Montañas de Chiapas en su porción Norte, que en orden menor corresponde a la Región Geomorfológica Sierras y altiplanos plegados del norte de Chiapas, donde se distingue elevaciones montañosas de estructura monoclinal y de bloque o plegadas con cubierta volcánica neogénica (Lugo y Córdova, 1990).

Desde el punto de vista estructurotectónico, la zona de estudio abarca las provincias geológicas: Cuenca deltaica de Tabasco y el Cinturón chiapaneco de pliegues y fallas, conteniendo la provincia tectónica de Simojovel (Ortega *et al.*, 1992).

Resumiendo, el relieve de la porción estudiada se describe por una serie de escalos geomorfológicos, pasando desde las montañas bajas y pre-montañas, en el extremo sur;

pasando por lomeríos en su parte central; y un sistema de planicies en la porción norte (Hernández *et al.*, 2009).

Sobre la geo-forma más representativa del territorio se tiene El Volcán Chichonal con una altura de 1100 msnm situado en la porción noroeste de Chiapas, a unos 60 Km de la ciudad de Pichucalco. Registrando una edad del Plioceno. Se ubica entre el Eje Neovolcánico Transversal y el Arco Volcánico de Centroamérica.

Macías (2005) menciona que el edificio volcánico está sobre evaporitas y calizas fechadas del Jurásico-Cretácico Temprano, calizas dolomíticas del Cretácico Temprano a medio, y calizas, areniscas y lutitas del Terciario. El cráter del volcán tiene un diámetro de 1.5x2 km denominado Somma, con una altura de 1150 msnm. Dentro de éste cráter se encuentra uno más, que fue el reactivado en la erupción de 1982, con un diámetro de 1 km con paredes verticales de 140 m. En su interior tiene un lago de color azul turquesa. El Geólogo Mülleried dio a conocer la existencia del volcán en 1930.

En cuanto a la hidrografía, en la parte próxima al Volcán El Chichonal se tiene una topografía accidentada, con excepción a las proximidades del río Magdalena que llega a tener partes planas. En las inmediaciones del edificio volcánico el tipo de drenaje es radial y centrifugo. El río principal es el Magdalena y, en menor medida, el río Platanar que desembocan en el río Grijalva, el primero recorre por la parte Sur del Volcán acumulando las aguas de los tributarios Susnubac y Tuspac, los cuales sus caudales son de consideración para el análisis de riesgos. El río Platanar no por ser de menor magnitud es de menor importancia pues su caudal es considerable, se alimenta por aguas de la porción Norte del Volcán El Chichonal. Cabe mencionar que la importancia del río Magdalena está en que pasa por varias localidades en su paso a la presa Peñitas, entre ellas la cabecera municipal de Ostuacán, importante por su economía en el norte del estado y por su densidad de población.

Fue necesario ampliar un poco en las formas del relieve del lugar y un poco de la hidrología para poder enlazar los procesos de remoción en masa que se han originado en la región y que sin duda son fenómenos naturales que exponen a determinados grupos sociales a un riesgo latente.

Los procesos gravitacionales o procesos en remoción en masa se originan por una serie de factores, en general se pueden establecer una división de ellos y resultar en factores internos y externos; los primeros son características físicas propias de la ladera (morfología del terreno, movimientos tectónicos, actividad volcánica, entre otros) lo cual provoca su inestabilidad y los factores externos son relacionados con la actividad antrópica como los altos niveles de deforestación, exceso de carga por obras humanas y cambio de cobertura en pendientes pronunciadas.

Algunos de estos factores en combinación con lluvias de alta intensidad en poco tiempo, esto ocasionó el deslizamiento de ladera del cerro La Pera en la margen derecha del río Grijalva, afectando a la localidad de San Juan de Grijalva, Ostuacán, Chiapas. El cambio de uso de suelo de forestal a agrícola y sus prácticas agrícolas (rosa, tumba y quema) en pendiente pronunciada hace de esas laderas muy susceptibles a una fuerte erosión y deslizamientos, favorecidos por fuertes precipitaciones.

1.1.3 Actividades antrópicas.

En la actualidad, la influencia de la política económica en la investigación del medio ambiente y sus peligros conduce a una nueva comprensión de la vulnerabilidad y el papel de la economía mundial en la degradación local del medio ambiente (Liverman, 1999). Alrededor de la mitad de la superficie terrestre libre de hielo se ha convertido o modificado sustancialmente por las actividades humanas en los últimos 10 000 años, la actividad se ha expandido en los bosques, sabanas, estepas y en todas las partes del mundo para satisfacer la demanda de alimentos y fibras (Lambin *et al.*, 2003).

Un estudio reciente estimó que áreas no perturbadas representan el 46% de la superficie terrestre del planeta (Mittermeier *et al.*, 2003). Los bosques cubrían cerca del 50% de la superficie de la Tierra hace 8 000 años, frente al 30% en la actualidad (Ball *et al.*, 2001). La FAO estima que las regiones tropicales perdieron 15,2 millones de hectáreas de bosques por año durante la década de 1990. Según estimaciones (Achard *et al.*, 2003) los bosques tropicales registraron, por medio de un muestreo de datos de teledetección, una disminución del 23% más que la registrada por la FAO, sobre la cubierta forestal de los trópicos húmedos, que incluyen bosques secos tropicales.

Éstas y otras diferencias en los diversos estudios de deforestación pueden ser explicados por los métodos de evaluación (resolución espacial en teledetección) y definiciones utilizadas. Por otra parte, la deforestación en los bosques tropicales secos a menudo puede ser subestimado (Lambin, *op. cit.*). El proceso de deforestación en las partes altas o medias de la cuenca, conduce a la producción de amenazas como erosión de suelo, deslizamientos, sedimentación e inundación en la parte baja de la cuenca, causando severos impactos en la población y su producción (Narvéz *et al.*, 2009).

Los servicios que brindan los ecosistemas son variados e importantes. Según Balvanera *et al.*, (2011) los seres humanos han transformado los sistemas naturales en sistemas de producción intensiva de bienes. Los cambios que presentan los sistemas naturales hacen que se modifiquen los servicios de éstos hacia los seres humanos, limitando la capacidad de sus beneficios. Se le ha dado prioridad a la búsqueda de beneficios obtenidos del entorno inmediato sin considerar las consecuencias en espacios más alejados.

En los estados de Tabasco y Chiapas la actividad agropecuaria tiene una fuerte influencia económica y social para las comunidades indígenas y campesinas de la región. En la década de los 70 y 80's, el auge ganadero que había en el sureste de México provocó que se ampliara esta actividad a la parte indígena en las montañas del norte de Chiapas (López *et. al.*, 2000).

La crisis económica que enfrentan las comunidades indígenas de la región del norte de Chiapas, así como en países de América Latina, provoco la inserción de la ganadería bovina poniendo en desequilibrio el uso y manejo de los recursos naturales. En el estado de Chiapas, así como en la mayoría de los países de América Latina, la ganadería se basa en sistemas extensivos, con pocos animales y pastoreo sobre gramíneas, con claras consecuencias en la calidad de la leche y cantidad de carne, dejando una mala calidad en los espacios de pastoreo.

Los grupos indígenas de Chiapas cuentan con un amplio conocimiento del uso y manejo de árboles y arbustos forrajeros, que relacionándolos con la actividad ganadera hacen un uso más sustentable del espacio: agroforestería. Obteniendo múltiples usos como forrajes, madera, lugares de sombra, cercos, comida y rompevientos. Y beneficios como la fijación de nitrógeno al suelo y así mejorando el estado nutritivo del follaje.

Se han hecho varios estudios en la región detectando la forma de crianza del ganado, hallando el pastoreo sobre gramíneas (maíz y frijol), teniendo pocos animales en amplios territorios. Caracterizándose por la falta de conocimiento en manejo del ganado (vacunas, enfermedades, desparasitaciones, entre otros), sus hatos no superan la decenas de ejemplares, en temporada de sequías los animales son mal alimentados, recorriendo largas distancias en busca de agua, resultando en la disminución de peso. Los pobladores ven en la crianza de ganado una fuente de ingresos extra, vendiendo los becerros a intermediadores para su engorda.

La rotación del ganado es otra actividad relacionada con el deterioro del lugar, teniendo de bosque a milpa y de milpa a potrero, disminuyendo claramente las áreas forestales. En tiempo de barbecho introducen el ganado en la milpa para su alimentación del rastrojo que normalmente es de maíz, frijol y calabaza. Obviamente se detecta diferencias entre los productores, marcada por la posesión de terrenos adecuados para el pastoreo, así como por el número de animales; algunos son capaces de relacionar su ganado en puntos de venta a diferencia de la mayoría de los productores que ven una limitante en el transporte de los becerros.

Por otra parte la agricultura también es de considerarse en la región Norte de Chiapas, principalmente practicada por indígenas de origen mayense, cultivando principalmente maíz y frijol bajo el sistema milenario de rosa-tumba-quema y café. Los granos que se producen en la región representan la base de la alimentación de la población, además de vegetales y ganado menor, mientras que el ganado mayor es la base de la economía. Reflejando las bases de la economía local, fundamentada en un sistema mixto, actividades agrícolas y pecuarias, ambas actividades se limitan a una economía de subsistencia. El cultivo del grano se lleva a cabo en dos ciclos agrícolas de temporal, primavera/verano y otoño/invierno. Los procedimientos de producción están escasamente relacionados con mejoras tecnológicas, recurriendo al uso de semillas criollas bajo sistemas tradicionales, donde se aplica el trabajo familiar como principal insumo del sistema (Aguilar *et al.*, 2008).

Los cambios que se producen en los ecosistemas por las actividades agropecuarias, que en su mayoría no son practicados de manera óptima, aunado a las carencias económicas que sufre la mayoría de los poblados rurales en México, son factores, entre muchos otros, que favorecen la construcción de la vulnerabilidad ante amenazas naturales.

En la parte norte de Chiapas y sur de Tabasco, el aumento y establecimiento de la población urbana en áreas propicias a amenazas naturales y su demanda en bienes y servicios, aunado a la explotación irracional de los recursos naturales en su afán de cubrir las necesidades de la sociedad, así como la falta de conocimientos en el ámbito rural para un óptimo desarrollo de las actividades agropecuarias, hacen de ésta región ambientalmente sensible y vulnerable a la producción de desastres detonados por la presencia de fenómenos naturales

A continuación se presentan algunos datos generales de la región, plasmados en tablas, que amplían el panorama de la economía regional.

Municipio	Total	Agricultura	Pastizal	Bosque	Selva
Chapultenango	17 643.4	682.5	8 016.8	2 613.3	1 765.2
Francisco León	21 175.7	123.0	11 861.6	1 474.9	192.2
Ixtacomitán	12 749.5	1 007.1	8 200.5	0.0	230.2
Ostuacán	60 711.3	3 913.1	39 255.3	0.0	0.0
Pichucalco	59 721.4	11 964.3	38 518.6	0.0	1 253.8
Sunuapa	7 835.0	367.8	5 331.6	0.0	0.0

Municipio	Total	Riego	Temporal
Chapultenango	682.5	0.0	682.5
Francisco León	123.0	0.0	123.0
Ixtacomitán	1 007.1	0.0	1 007.1
Ostuacán	3 913.1	0.0	3 913.1
Pichucalco	11 964.3	0.0	11 964.3
Sunuapa	367.8	0.0	367.8

Municipio	Total	Cultivado	Natural	Inducido
Chapultenango	8 016.8	7 938.3	0.0	78.4
Francisco León	11 861.6	11 643.6	0.0	218.0
Ixtacomitán	8 200.5	8 200.5	0.0	0.0
Ostuacán	39 255.3	39 255.3	0.0	0.0
Pichucalco	38 518.6	36 750.3	0.0	1 768.3
Sunuapa	5 331.6	5 331.6	0.0	0.0

Tabla 1.4. Superficie de bosque (Ha) por municipio según tipo de bosque.⁵

Municipio ³	Total	Cultivado	De coníferas	De encino	Mesófilo de montaña	Inducido
Chapultenango	2 613.3	0.0	0.0	0.0	2 613.3	0.0
Francisco León	1 474.9	0.0	0.0	0.0	1 474.9	0.0

Tabla 1.5. Superficie de selva (Ha) por municipio según tipo de selva.⁵

Municipio	Total	Perennifolia	Subcaducifolia	Caducifolia	Espinosa
Chapultenango	1 765.2	1 765.2	0.0	0.0	0.0
Francisco León	192.2	192.2	0.0	0.0	0.0
Ixtacomitán	230.2	230.2	0.0	0.0	0.0
Ostuacán	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pichucalco	1 253.8	1 253.8	0.0	0.0	0.0
Sunuapa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 1.6. Superficie de vegetación secundaria (Ha) por municipio según tipo.⁵

Municipio	Total	De pastizal natural	De bosque	De Selva	De otros tipos ⁴
Chapultenango	4 534.1	0.0	510.9	0.0	4 023.2
Francisco León	7 151.1	0.0	194.7	0.0	6 956.5
Ixtacomitán	3 311.8	0.0	0.0	0.0	3 311.8
Ostuacán	12 511.7	0.0	0.0	0.0	12 511.7
Pichucalco	6 876.5	0.0	0.0	0.0	6 876.5
Sunuapa	1 948.4	0.0	0.0	0.0	1 948.4

Tabla 1.7. Volumen de la producción de ganado y aves (Ton) en pie por municipio, 2008.⁵

Municipio	Bovino	Porcino	Ovino	Gallináceas	Guajolotes
Chapultenango	1 188	45	3	17	8
Francisco León	1 954	60	10	34	13
Ixtacomitán	1 435	56	10	34	7
Ostuacán	11 179	63	16	58	10
Pichucalco	11 908	256	27	64	9
Sunuapa	1 949	68	5	39	6

³Los demás municipios no cuentan con este tipo de vegetación.

⁴Comprende vegetación hidrófila, de galería, palmar y otras comunidades vegetales en sus distintas fases de desarrollo: herbácea, arbustiva y arbórea.

Tabla 1.8. Valor de la producción de ganado y aves en pie (Miles de pesos) por municipio según especie, 2008.⁵

Municipio	Total	Bovino	Porcino	Ovino	Gallináceas	Guajolotes
Chapultenango	17 150	15 806	645	56	328	315
Francisco León	29 395	27 237	871	155	664	468
Ixtacomitán	22 239	20 239	903	172	673	253
Ostuacán	158 350	155 535	999	268	1 127	420
Pichucalco	176 884	170 527	4 238	460	1 274	384
Sunuapa	28 950	26 789	1 063	81	767	251

Tabla 1.9. Volumen de la producción de carne en canal de ganado y aves (Ton) por municipio, 2008.⁵

Municipio	Bovino	Porcino	Ovino	Gallináceas	Guajolotes
Chapultenango	612	33	2	13	6
Francisco León	1 008	44	5	27	10
Ixtacomitán	743	42	6	26	5
Ostuacán	5 780	46	9	45	8
Pichucalco	6 179	189	15	49	7
Sunuapa	1 006	50	3	30	5

Tabla 1.10. Valor de la producción de carne en canal (Miles de pesos) por municipio según especie, 2008.⁵

Municipio	Total	Bovino	Porcino	Ovino	Gallináceas	Guajolotes
Chapultenango	18 398	16 893	736	59	364	346
Francisco León	31 295	28 873	996	163	737	526
Ixtacomitán	23 371	21 161	1 009	184	741	275
Ostuacán	165 739	162 601	1 129	314	1 240	456
Pichucalco	187 857	180 953	4 613	472	1 407	412
Sunuapa	30 662	28 269	1 193	84	843	273

Las tablas anteriores en forma estadística explican el rol de importancia que presenta la ganadería en la región, que normalmente se caracteriza por ser una actividad extensiva; es decir, y relacionando las tablas, se puede entender que la totalidad de superficie de agricultura y pastizal (ya sea cultivado o inducido) va acorde o se relaciona ala demanda espacio-alimenticia del ganado en la región, en específico para el ganado bovino. La práctica de la

⁵Tablas procedentes del *Sistema para la Consulta del Anuario Estadístico de Chiapas, 2009*. Distribuido por INEGI, disponible en versión disco. Como se mencionó en la sección de localización, también están presentes, aunque en muy baja proporción de territorio, los municipios de Tecpatán, Tapalapa y Pantepec, como los datos de estas tablas están disponibles a nivel municipal no se llegaron a considerar estos municipios en la compilación de dichas tabla.

ganadería bovina en la región norte de Chiapas tiene una importante función económica y social en las comunidades indígenas y campesina. Sin embargo, este sistema conlleva el deterioro de los recursos naturales (López *et al.*, 2000).

En el sureste mexicano la vegetación primaria y secundaria ha presentado la tendencia de desaparecer por el desarrollo del capitalismo. Por la integración de la economía a nivel internacional y el aumento de la población, la vegetación se ve como la abastecedora de maderas preciosas y como materia prima para la industria de la construcción rural y urbana así como para la fabricación de papel, instrumentos de trabajo y vías de comunicación.

1.1.4 Actividades humanas relacionadas al concepto de vulnerabilidad.

El cambio de uso del suelo determina, en parte, la vulnerabilidad de las personas y lugares a condiciones climáticas, económicas, o socio-políticas. El crecimiento de las aspiraciones urbanas, la distribución de la población urbano-rural, y el impacto de las ciudades de rápido crecimiento en los bienes y servicios pueden llegar a ser factores dominantes de retroalimentación en el cambio de uso de la tierra en las próximas décadas (Lambin *et al.*, 2003).

La interacción entre las actividades humanas y el ambiente son procesos complejos cuyo análisis demanda una visión sistémica (Gómez, 2001). Con este tipo de enfoque se puede ver a la vulnerabilidad desde ambas perspectivas (causa-efecto) considerando componentes de retroalimentación positiva y negativa e incluyendo otros factores sociales, y así superar algunas limitaciones de la perspectiva tradicional, donde las relaciones se caracterizan por ser lineales.

Dirzo (2004) en su epítome de la crisis de la biodiversidad, justifica la importancia que guarda las selvas tropicales, estimando casi dos tercios de la diversidad de organismos del mundo en selvas tropicales; así como la mayor riqueza de ecosistemas terrestres, tanto a nivel local como regional, están en las selvas tropicales húmedas. Demostrando las selvas tropicales su riqueza de especies en la diversidad alfa y beta que resguarda.

Algunas consecuencias por la perturbación a las selvas tropicales, entre muchas otras, es la fragmentación o eliminación de costumbres y conocimientos de grupos indígenas de las

selvas tropicales, como también la pérdida o deterioro de los servicios ambientales de la biodiversidad tropical por la deforestación, encerrando en éste concepto a la tala, quema y cosecha de la selva para la producción de madera.

El cambio de cobertura vegetal conlleva muchas consecuencias, desde las ecológicas: como la defaunación total o parcial de aves, mamíferos e insectos, extinción local y regional de las especies, disminución de la absorción del bióxido de carbono, entre otros. Hasta las de índole geodinámico: pérdida de las propiedades del suelo facilitando su erosión, menor capacidad de absorción del agua, facilitando el desazolve en la cuenca, desbordamientos del cauce cuenca abajo, entre otros.

El medio ambiente es considerado como un sistema integrado por elementos que están en continua interacción, determinando sus propias condiciones de existencia, así como del mismo sistema. Por lo tanto, una de sus propiedades es su carácter dinámico. Los sistemas son considerados, a la par, como configuraciones en el espacio y desarrollos en el tiempo (Wilches, 1993).

Un sistema se caracteriza por un grado de flexibilidad para adaptarse y mediante ajustes “absorber” los cambios del sistema, pero si el sistema es incapaz de reajustarse a dichos cambios, surge una crisis. Si la crisis conlleva pérdidas humanas y materiales se le denomina desastre (*Ibidem*). En sistemas naturales, como cuencas y ecosistemas, el riesgo de desastre por la ocurrencia de un fenómeno natural está en función tanto de la vulnerabilidad del sistema como de la magnitud del fenómeno.

La conversión de selvas y bosques tropicales a potreros y a terrenos agrícolas (cambio de uso del suelo), son las principales causas del deterioro de la biodiversidad en los trópicos, como resultado de la interacción negativa por la presión demográfica (sistema “comunidad”) sobre el uso inadecuado de los recursos naturales (Aguilar *et al.*, 2000).

Los ecosistemas son la unidad básica de la naturaleza donde interactúan componentes bióticos y abióticos, y que a su vez se relacionan con los grupos humanos, estos últimos, considerados como sistemas complejos que interactúan de forma dinámica con los ecosistemas. Es en ésta

interacción donde se pone en evidencia los “servicios ecosistémicos”⁶ divididos en bienes: que es lo que consumimos, siendo lo tangible; y servicios: que son los menos tangibles, ósea los beneficios (Balvanera *et al.*, 2011).

En las últimas décadas la deforestación y fragmentación de ecosistemas se ha presentado en diversas partes del mundo, siendo una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad, afectando la flexibilidad sistémica del medio ambiente en estructura y funcionamiento. Modificando los ciclos hidrológicos y cambios regionales de temperatura y precipitación y exponiendo a la población a amenazas ambientales.

En zonas sensibles como la cuenca del río Grijalva, y en su caso las inmediaciones del Chichonal, el cambio de cobertura vegetal en los trópicos húmedos es un tema de importancia que puede contribuir a una concientización de problemas inherentes a la organización del territorio y ayudar a entender la complejidad de la producción de los riesgos ahí presentes, más allá de los factores de vulnerabilidad inmediata cuando ocurre un fenómeno meteorológico extremo.

La vulnerabilidad natural de los ecosistemas se ha acrecentado en las últimas décadas debido a la desaparición de múltiples especies vegetales (Wilches-Chaux, 1993) en zonas tropicales las actividades humanas afectan los cambios de cobertura vegetal aumentando la vulnerabilidad del sistema “comunidad-medio ambiente” ante amenazas naturales.

Hasta ahora se ha considerado actividades de áreas rurales como agricultura, deforestación y ganadería, pero las actividades humanas en áreas urbanas también influyen en la vulnerabilidad de la sociedad y en este caso es Lansigan (2007) que describe los cuatro más próximos factores de muchos, que determinan la vulnerabilidad de una ciudad ante inundaciones o deslizamientos:

1. *Crecimiento de la población.* El aumento de la población ejerce presión para la producción de alimentos, asentamientos humanos, y otros usos, amenazando la integridad hidrológica de la cuenca.

⁶Se entiende por “servicios ecosistémicos” a todos los beneficios que la población puede obtener de los ecosistemas (Balvanera *et al.* (2011).

2. *Cambio de la cubierta.* Ha traído consigo problemas ambientales como inundaciones y sequías, la escasez de agua, drenaje inadecuado, y la reducción freático.

3. *La rápida urbanización.* Reduciendo la filtración y aumentando el caudal en la cuenca, amplificando la vulnerabilidad a los desastres naturales.

4. *El Cambio Climático (CC).* Aunque el CC es de escala mundial, las acciones locales pueden aplicarse, que en conjunto pueden contribuir a reducir los impactos adversos en ambas escalas.

1.2 Gestión del riesgo.

Los desastres han existido desde los orígenes de la humanidad, y su incidencia ha aumentado de forma acelerada en las últimas décadas del siglo pasado, incidencia que se refleja en pérdidas humanas y económicas, y que cada vez son más costosas en los llamados países menos desarrollados. La explicación está en el aumento de la población e infraestructura, así como en la forma irracional de intervención en el medio ambiente. Las múltiples representaciones de la vulnerabilidad (explicada por las variadas formas de desarrollo) conjugadas con los diversos tipos de amenazas, dan como resultado condiciones amplias de riesgo, con una expresión social y territorial muy diferenciada. La probabilidad de daño y pérdida (riesgo) anteceden y anuncian al desastre, siendo por lo tanto el desastre, la concreción del riesgo no manejado. Con los avances en la concepción de la vulnerabilidad es posible entender la íntima relación desarrollo-desastre, recayendo la solución del problema en la consideración del riesgo en los esquemas de planificación del desarrollo territorial y ambiental; gestión de riesgo (Lavell *et al.*, 2003; Ribera, 2004).

Previo a la década de los noventa se tenía la convicción de trabajar los desastres por debajo de los tópicos denominados “preparativos” y “respuestas”; la prevención y mitigación fueron representados por actos aislados ingenieriles de poca trascendencia social, durante la década noventa y con el nombramiento de *Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales* se volteó la mirada a la temática del riesgo, el debate estuvo basado en la construcción social del riesgo; el desarrollo conceptual prosperó al grado de considerar la prevención y mitigación de desastres una práctica social y no una práctica técnica, con estos avances conceptuales surgió una nueva teoría, superando así, la visión de prevención y mitigación de desastres, basándose ahora en el terreno del riesgo (*Ibidem*). La Red de

Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED) es pionero en el manejo de la Gestión de Riesgos (Wilches-Chaux, 1998).

La gestión del riesgo debe considerarse como piedra angular en la planificación y desarrollo de cualquier programa teniendo una acción permanente y mismo rango jerárquico de importancia, como los demás puntos de referencia en la ejecución de proyectos urbanos o rurales.

Es importante entender el concepto de riesgo para poder ejecutar las acciones correspondientes en pro de la prevención, y para ello es necesario entender las amenazas como una construcción social, es decir, cualquier evento físico como pueden ser ciclones, deslizamientos, erupciones volcánicas, entre otros. Solo serán amenazas si éstas afectan a un grupo social el cuál este sujeto a posibles daños.

La vulnerabilidad también es por lo consecuente un resultado de la interacción de ineficiencias sociales; es decir, una interacción de las incapacidades sociales como pueden ser: la falta de comunicación interna y externa de un grupo social, limitado acceso a recursos económicos, infraestructura insipiente, ideologías fatalistas; estas y otras expresiones de vulnerabilidad se interrelacionan para dar lugar a una vulnerabilidad global (Wilches-Chaux, 1993.)

El riesgo, como se ha venido explicando, es producto de la relación de dos factores, amenaza y vulnerabilidad; siendo la amenaza la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno físico causante de un daño a la sociedad, y la vulnerabilidad como sinónimo de debilidades que predisponen a la sociedad a un daño causado por algún evento físico. En otras palabras se podría decir que la vulnerabilidad y la amenaza son *mutuamente condicionadas o creadas*, no puede existir una amenaza sin la presencia de una sociedad vulnerable y viceversa, si la sociedad no es vulnerable a algún fenómeno natural entonces, el fenómeno no representará una amenaza para dicho grupo social (Lavell, 2001; Cardona, 2001).

Es decir, el riesgo se debe entender como la *probabilidad* de que ocurra un evento dañino autor de pérdidas y perjuicios sociales, ambientales y económicos. Muchas veces la sociedad se ve en la necesidad de convivir en lugares donde la presencia de amenazas es común,

teniendo como excusa la obtención de algunos beneficios del lugar, dicha práctica se conoce como “*apuesta a futuro*” (*Ibidem*).

Para poder realizar una correcta gestión del riesgo es necesario contar con planes de desarrollo donde intervenga un análisis exhaustivo de los múltiples beneficios obtenidos a corto y largo plazo, pero también de los costos o desventajas que traerán consigo dichos beneficios, y que muy probablemente se verán reflejados en daños y pérdidas reales a largo plazo.

Dichos daños y pérdidas deberán ser calculables en los tiempos y magnitudes correspondientes, así como de las diversas escalas en que podrían ser las afectaciones, ya que dependiendo de los beneficios buscados y obtenidos serán las desventajas a sufrir. Los riesgos son una referencia palpable de una mala gestión del desarrollo y gestión ambiental. Por lo tanto, para la reducción del riesgo se debe trabajar en la transformación y control de los elementos que generan los riesgos.

El planeta Tierra es por naturaleza un lugar a veces peligroso (Lavell, 1999). En materia de gestión de riesgos se debe reflexionar los actos sociales que conllevan una interacción con el ambiente; por el mismo proceso de la naturaleza, los lugares donde una cierta sociedad se veía beneficiada por la obtención de recursos naturales se pueden llegar a convertir en amenazas que conlleven al desarrollo de un desastre para el mismo grupo humano.

La mala interacción en la dupla sociedad-ambiente hace que los fenómenos naturales de la segunda se conviertan en amenazas para la primera, y también en dicha interacción se puede producir amenazas de origen socio-naturales, como las inundaciones, hundimientos, deslizamientos, producto de un mal manejo natural por parte de la sociedad. Transformando un ambiente natural en un ambiente construido.

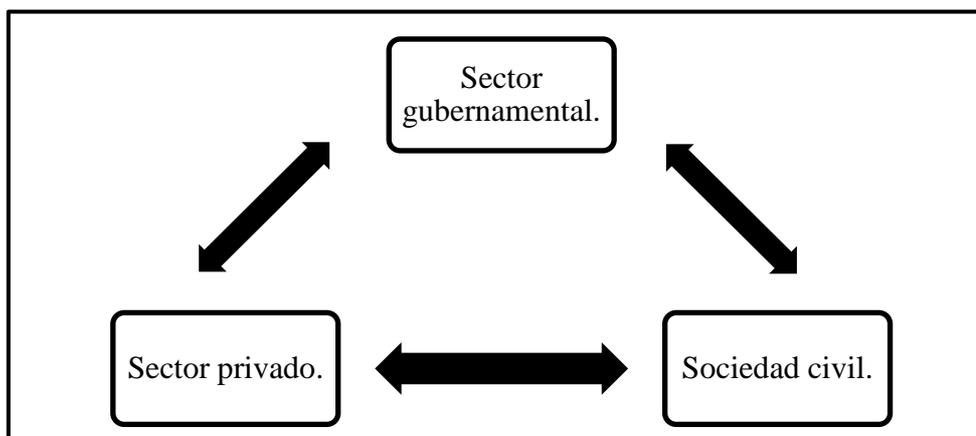
Una adecuada acción en la gestión de riesgos debe reflexionar los orígenes de las distintas amenazas y vulnerabilidades de la sociedad, así como a partir de qué circunstancias un fenómeno natural o social se convierte en amenaza para la sociedad; en los ambientes urbanos es muy común que se presenten daños en su infraestructura, conocido como degradación ambiental urbana (Lavell, *Ibidem*), como puede ser un ineficiente sistema de drenaje, edificios públicos en mal estado, vías de comunicación dañadas, entre otros, con lo cual se convierte en

un lugar más proclive a amenazas por inundación, sismos, fenómenos meteorológicos, entre otros.

Es común ver en las ciudades la falta de disposición institucional, y que perjudica los esquemas enfocados a la reducción de la vulnerabilidad. La corrupción es un claro ejemplo de ello, ignorando las normas y leyes que se tiene en las ciudades y que fueron elaboradas para un óptimo desarrollo de la urbe.

La forma más correcta de reducir los riesgos que enfrenta la sociedad no está en acciones aisladas de los diversos actores, sino paradójicamente, en el pleno entendimiento del riesgo mismo; identificando los principales factores que lo generan, extrapolando las consecuencias y daños del mismo, ejerciendo acciones que conlleven a esquemas que reduzcan los riesgos, en la educación, participación y compromiso de cada uno de los actores, tanto públicos como privados.

De forma general se puede esquematizar el proceso de la gestión de riesgos de la siguiente forma (esquema 1.1), donde el sector gubernamental tendrá como misión la articulación de aspectos legislativos y normativos, y eventualmente estos actos legislativos pueden ser nutridos con la participación de los sectores sociales y privados; y los actos de prevención y mitigación deben estar en función de la interacción del sector privado y comunitario en conjunción con el gobierno local (Herzer *et al.*, 2002).



Esquema 1.1. La gestión del riesgo.

1.2.1 Teorías o enfoques relacionados a la gestión del riesgo.

En la última década del siglo pasado (1998) Centroamérica fue impactada por un evento meteorológico (Huracán Mitch) de lento movimiento dejando a su paso altos niveles de precipitación y ocasionando graves pérdidas humanas y materiales. Previo al fenómeno meteorológico, la sociedad en general tenía la visión de manejar o administrar los desastres, posterior al desastre se cambió la visión, entendiendo los riesgos como potencialidad de daño y pérdida, evitando así el desastre, donde ya es inevitable el daño y pérdida.

Como ya se mencionó anteriormente, en la última década del siglo pasado se dieron los primeros pasos en la reducción de los factores de riesgo. Diversos autores y dependencias no gubernamentales se han esforzado en trabajar en pro de la construcción y definición de conceptos que orienten a la ciudadanía a favor de la sostenibilidad.

Y es en este caso que Lavell *et al.*, (2003) proponen una definición básica acerca de la gestión de riesgos refiriéndola de la siguiente manera:

*Es un **proceso social complejo** cuyo fin último es la **reducción o la previsión y control permanente del riesgo** de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles. Admitiendo, en principio, **distintos niveles de coordinación e intervención** que van desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar.*

Analizando dicha definición se puede extraer una terna de ideas claves:

- I. La gestión de riesgo es un proceso social complejo, es decir, no un proyecto, producto o acción discreta-aislada que intente apaciguar el desastre.
- II. Ubica a la gestión en dos tiempos posibles para el riesgo, el riesgo existente y el posible riesgo futuro.
- III. La importante participación de los diferentes niveles de intervención.

De la segunda idea se divide el proceso de gestión en dos tiempo, es decir, la *gestión correctiva* y la *gestión prospectiva*. La primera se refiere al riesgo existente, fruto de acciones sociales pasadas, y donde la pronta intervención a favor de reducir las condiciones de riesgo

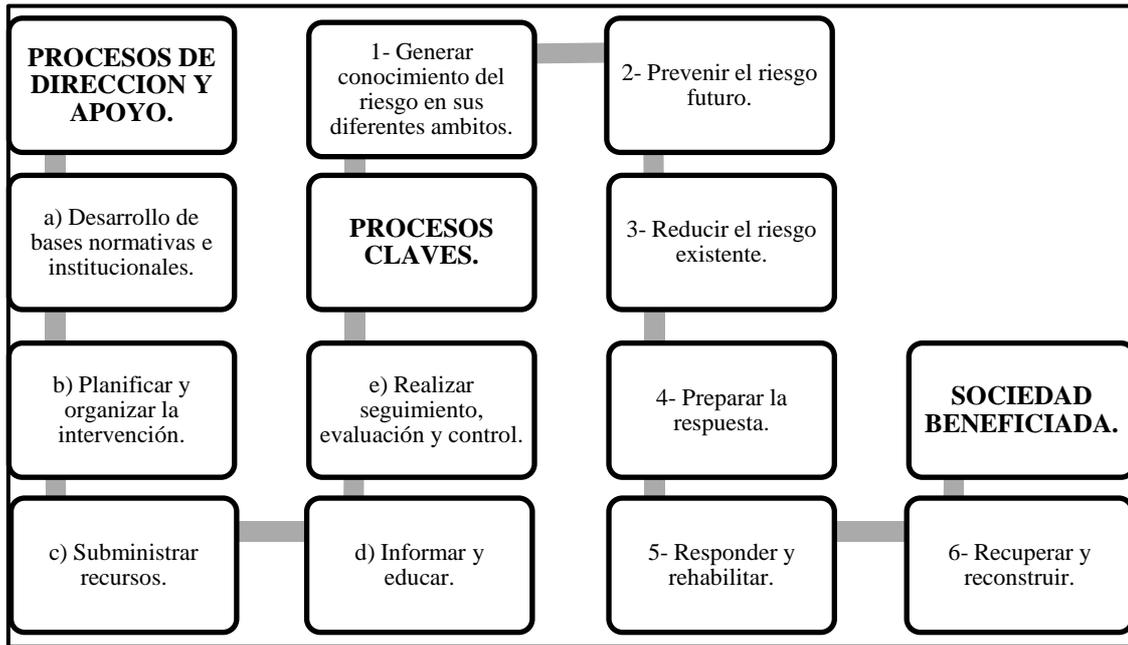
se le nombrará correctiva. La segunda, es una gestión futurista, es decir se prevé en función del riesgo aún no existente, pero que se podría crear a partir del nuevo desarrollo e inversión. Por lo tanto la gestión prospectiva es pieza clave en la gestión del desarrollo, gestión ambiental y gestión de proyectos de inversión.

Narvéz *et al.*, (2009) reconoce que existe diversos enfoques de lo llamado gestión de riesgos, y que en ocasiones, se entiende equivocadamente a la gestión de riesgos como la forma de prevención y mitigación del desastre, sin entender que la gestión se fundamenta en el riesgo mismo, ya que el riesgo está presente en los momentos pre y post impacto. Estos mismos autores (*Ibidem*) mencionan las características que debería tener una óptima gestión del riesgo, las cuales cito algunas de ellas:

- Relación directa con el desarrollo y su gestión.
- Buscar la sostenibilidad en el tiempo y en el territorio. Teniendo en cuenta la visión de un proceso.
- Una participación y apropiación estrecha por parte de todos los actores.
- La integración y la correcta coordinación de los diferentes estratos institucionales.
- Ser entendido como un proceso transversal e integral.

En el esquema 1.2 los procesos de dirección y apoyo son necesarios para la correcta ejecución de los procesos claves, los primeros proporcionan recursos dentro del sistema de gestión del riesgo, con el fin de que el sistema pueda operar y generar por medio de los procesos claves, productos para la sociedad o beneficiario externo, y así brindar protección ante el desastre y contribuir con el desarrollo sostenible (*Loc. cit.*).

Lavell (2001) entiende el enfoque de la gestión del riesgo como un proceso de control sobre la construcción de la vulnerabilidad y amenazas; la gestión del riesgo no puede ser expresada a través de una acción concreta, es decir alguna obra ingenieril, más bien debe ser entendida como un proceso por medio del cual un grupo social toma conciencia del riesgo que enfrenta, hace un balance de ello y considera las opciones con las que cuenta, tanto sociales, económicas como ideológicas, diseñando las estrategias y evaluando los recursos disponibles. Recalcando que es un proceso en el que interactúan todos los sectores de la sociedad, desde el gobierno o Estado como impulsor de este enfoque hasta el individuo que debe aplicar la gestión con su participación en los planes de desarrollo.



Esquema 1.2. Mapa de Procesos de la Gestión del Riesgo. Tomado de Narvéz *et. al.*, 2009.

Muchas veces al poner en marcha la gestión del riesgo se entiende que es aplicable al riesgo existente, producto de las condiciones vulnerables y de amenazas ya construidos, sin embargo la práctica de la gestión va más allá del presente mismo, es decir, se debe contemplar en los nuevos riesgos futuros que la sociedad en su natural crecimiento, y en algunas veces desordenado, creará al impulsar nuevas infraestructuras, nuevas unidades habitacionales, lugares nuevos de explotación de recursos naturales, entre otros.

Lo anterior se entiende en la relación de gestión y su referencia temporal, el primer enfoque se determina bajo el concepto de “*gestión compensatoria o correctiva*”, gestión donde se practican acciones encaminadas al riesgo existente en la sociedad; el segundo enfoque es la “*gestión prospectiva*” encaminada a mecanismos que normen y controlen nuevos desarrollos, necesitando una fuerte voluntad política y un elevado grado de conciencia y compromiso social, además de una sincera participación por parte del gobierno o Estado.

1.2.2 Interacción con la población local. Experiencias de gestión de riesgos.

Visto como una forma de ejemplificar la importancia de la interacción de los tres sectores formadores de la gestión⁷, se hará una breve mención de algunas experiencias

⁷Sector gubernamental, civil y privado. Definidos en el esquema 1.1. *La gestión del riesgo*.

tomadas del Programa Regional de Gestión del Riesgos en América Central CEPREDENAC-PNUD⁸:

De la emergencia de la hambruna a la reducción integral del riesgo: la experiencia de Jocotán – (Ejercicio Profesional Supervisado Multidisciplinario) EPSUM⁸. En las comunidades de los municipios de Jocotán, Camotán y Olopa en Guatemala, en los primeros meses del año 2001, se presentó una crisis de hambruna a partir de condiciones de riesgos del lugar.

En el municipio de Jocotán se tenía implando el proyecto de “Prevención de riesgos y Manejo de Desastres” a cargo de la Universidad de San Carlos en conjunto con un Programa de Voluntarios de las Naciones Unidas, enfocando su trabajo en diagnósticos de riesgos, reducción de riesgos ambientales y preparativos ante emergencias.

Durante la crisis de hambruna dicho proyecto enfocó sus actividades en analizar la problemática, diseñar estrategias de corto, mediano y largo plazo que contribuyeran a la salida del problema. A partir de esta intervención, el equipo de trabajo dejó de ser visto como voluntarios del Gobierno Local y pasaron a ser promovedores de acciones.

Como reflexión de su intervención pudieron concluir, por un lado, la suma importancia de la formación universitaria, expresada por su visión integral en temas de riesgos. Y por otro lado, la necesaria intervención integral en procesos donde las relaciones sociales, económicas y políticas son inequitativas.

Análisis de vulnerabilidad: la experiencia en caseríos del Volcán San Miguel, El Salvador (Geólogos del Mundo)⁸. Agregó esta experiencia de gestión de riesgos por hacer mención y trabajar una parte muy importante del factor riesgo, que es la vulnerabilidad. Comparto la idea de que son pocos los trabajos realizados donde se trate de mapear el grado de estabilidad de una sociedad en relación con su entorno. Y reconozco el esfuerzo realizado por conjuntar dos rubros muy importantes, el ambiente físico con el ambiente social, por parte de especialistas de Ciencias de la Tierra.

⁸Dicha información se puede consultar de forma completa y ampliada en la página WEB: www.cepredenac.org/03_proyec/pnud/index.htm

En los estudios sociales de los desastres es pieza insoslayable la elaboración de un índice de vulnerabilidad. Dada la importancia por contar con información para el análisis, diagnóstico y toma de decisiones, colaborando con la sensibilización y conocimiento del riesgo.

En el marco del proyecto “Manejo Integral de Amenazas y Vulnerabilidades en el municipio de San Miguel, El Salvador” efectuado por Geólogos del Mundo. Implementaron un análisis de vulnerabilidad social diseñando la construcción del índice en tres facetas: a) definición de los niveles de vulnerabilidad, b) delimitación de una escala numérica para los niveles de vulnerabilidad y, c) establecer y justificar los parámetros/criterios.

El principal referente usado para la elaboración de este trabajo fue el texto hecho con anterioridad por Wilches Chaux G.(1993). “La Vulnerabilidad Global”. El cual ayudo a definir los cuatro grandes grupos de factores propiciadores de la vulnerabilidad para este trabajo: físico-técnicos, sociales, económicos y ambientales, reconociendo la segura existencia de sub-factores que podrían aumentar la lista.

Sin el afán de introducirnos demasiado en esta experiencia de gestión de riesgos hago mención de dos parámetros que, en lo particular, me habían sido inusuales, aunque para nada incorrectos, en la elaboración de índices de vulnerabilidad; el primero corresponde al parámetro económico utilizando como referente, entre otros, la propiedad de la tierra; y el segundo, correspondiente al parámetro ambiental, el uso del suelo, entre otros. Jerarquizando dichos parámetros en base a porcentajes para poder así establecer un valor de vulnerabilidad. Como consideración final de este caso, agrego que uno de los principales aportes de la elaboración de un índice de vulnerabilidad, es la identificación de posibles áreas y sub-áreas de intervención, basada en sus carencias y limitaciones sociales.

Apoyo Local al Análisis y Manejo de Riesgos Naturales (ALARN) de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE) –Nicaragua⁸. Es un proyecto en tutela de ALARN que se encarga de enseñar/fortalecer los conocimientos de profesionistas para la elaboración de estudios de riesgo con un enfoque técnico-científico. En beneficio del estudio y gestión de riesgos, basándose en la producción de mapas, índices de vulnerabilidad e informes.

Los mapas resultantes adquieren un gran peso de importancia por la consideración en proyectos reductores de riesgo y tomas de decisión. Además el material cartográfico es otorgado como una herramienta de apoyo para las autoridades municipales creándose una referencia obligada.

El personal entrenado bajo la perspectiva técnico-científica se convierte en una inversión de capital social que tiene como potencialidad el multiplicar su conocimiento/experiencia hacia otros profesionistas, que en un primer plano podría ser los profesionistas próximos a sus municipios creando un ambiente cada vez más amplio de sustentabilidad.

En lo personal, comparto la técnica empleada en Nicaragua, debido a que la elaboración de cartografía representativa de riesgos junto con informes y trabajos de vulnerabilidad es algo que éste presente trabajo plantea dejar como producto final para una continua comunicación del riesgo a nivel local. Y que mejor -independientemente de entregar estudios/mapas- es el poder dejar y enseñar la técnica utilizada para la identificación de los riesgos.

Otro trabajo independiente de CEPREDENAC-PNUD pero que está relacionado a la gestión de riesgos, en base a experiencias de comunicación periodística es: ***Periodismo y comunicación para la gestión de riesgos en la subregión Andina: Discursos periodísticos y perspectivas para un enfoque prospectivo y preventivo***⁸. Y corresponde a Obregón *et al.*, (2012) en los países de Bolivia, Colombia Ecuador, Perú y Venezuela; plantear tres puntos claves: a) la forma como los medios escritos abordaron y caracterizaron la gestión de riesgos; b) la esencia de los discursos; y c) las consecuencias de tales discursos en la comunicación para la gestión de riesgos.

Realizando una crítica constructiva de los discursos periodísticos en beneficio de brindar otras perspectivas de información pública sobre gestión de riesgos. Y con ello, estimular la acción de diversas agencias responsables de la comunicación y educación, así como de instituciones académicas y de investigación que ayuden a modificar las perspectivas públicas correspondientes a situaciones y gestión del riesgo.

Ante lo cual, la respuesta de algunos académicos es resaltar el papel de los medios periodísticos con respecto a la ciencia, logrando educar al público (McCarthy *et al.*, 2008, citado en Obregón *et al.*, 2012), ya que los medios de comunicación masiva ocupan un lugar

privilegiado en la formación de la opinión pública contemporánea; planteando *cómo* pensar y *qué* pensar (McCombs y Shaw, 1972, citado en Obregón *et al.*, 2012).

Por esta razón, la responsabilidad de la comunicación periodística recae en la entrega de información constructiva y veraz, permitiendo concebir una gestión de riesgos como un proceso colectivo, a partir de una concepción más amplia y holística.

En esta sección se han hecho mención de algunas experiencias relativas a la gestión de riesgos, en cada una de ellas se ha tenido como conclusión la importancia de alguna de las bases de dicha gestión, que en gran medida están relacionadas con el propósito general del presente trabajo por el hecho de plantear algunos aspectos como la cartografía social, la creación de un índice de vulnerabilidad y la comunicación del riesgo.

En la primera experiencia se tuvo como hilo conductor la visión integral de la formación universitaria en temas de riesgos. En la segunda, se tuvo como conclusión la importancia de la construcción de índices de vulnerabilidad en estudios sociales de riesgos y desastres. En la tercera experiencia se plantea la forma de transmitir conocimientos con un rigor técnico-científico a favor de diseñar mapas de riesgos e informes de vulnerabilidad. Y por último, en el cuarto trabajo se plantea la trascendencia de la información periodística en beneficio de apoyar la comunicación en gestión de riesgos.

También en el afán de comprender mejor los riesgos y desastres en la cuenca del río Grijalva se han hecho diversidad de estudios, algunos del tipo post-desastre, teniendo como beneficio la mitigación de un fenómeno natural, en este caso lluvias extremas. Santos y Beard (2011) aplicaron un sistema de gestión de desastres sistémicos para analizar el desastre por inundación y conocer las características del sistema y sus debilidades en Villahermosa, Tabasco producida en noviembre de 2007 por la presencia de dos frentes fríos en la cuenca media del río Grijalva, como estrategia para mitigar los futuros riesgos de inundación, detectando una serie de fallos en el sistema, sistema que es considerado como un entero hecho de partes y relaciones, el enfoque adoptado se basa en Viable System Model (VSM) propuesto por Beer (1994) y el Failure Paradigm Method (FPM) por Fortune (1993).

1.2.3 La importancia del componente uso de suelo para la comunicación del riesgo.

El *uso del suelo* es entendido por las actividades humanas que se llevan a cabo sobre un lugar o territorio (Turner *et al.*, 1995, citado por Rosete *et al.*, 2008).

Mientras que *cobertura vegetal* es la representación de los diferentes componentes espacio-temporales de la vegetación que cubre una superficie (Turner *et al.*, 1995, citado por Rosete *et al.*, 2008; Velázquez *et al.*, 2010; Cervantes, 2013).

En lo particular, el uso del suelo es considerado como un medio cartográfico popular en beneficio de la comunicación del riesgo. En este efecto se utilizó la extracción de la densidad de vegetación por medio de la clasificación por objeto cercano en su forma representativa de parcelas.

En las últimas décadas, las actividades humanas se han caracterizado por ser la principal fuerza responsable de cambios, y en ocasiones de modelar el medio ambiente (López *et al.*, 2002). En el marco global del cambio climático; el cambio de uso del suelo se ha convertido en un importante detonador de éste, además de provocar la alteración del suelo y como factor preponderante para limitar la capacidad de los sistemas biológicos para soportar las necesidades humanas. Estos cambios provocan en el sistema un aumento de la vulnerabilidad social ante amenazas ambientales.

Los patrones espaciales de uso del suelo responden a causas económicas y ecológicas teniendo consecuencias en el ambiente regional, alterando los procesos ecológicos y patrones de la biodiversidad. Por lo tanto el patrón de uso del suelo es una característica dinámica del territorio, propia del tiempo y espacio ocupado, por lo tanto su análisis y caracterización constituye un desafío en sí mismo (Trewick, 1999; Matteucci *et al.*, 1999; ambos citados por Alperín *et al.*, 2002).

Los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal cuando se consideran a un nivel regional o mundial pueden afectar de manera considerable el funcionamiento del Sistema Tierra, favoreciendo el cambio climático a niveles locales y regionales así como el calentamiento global y degradación de suelos, entre otras consecuencias (Lambin *et al.*, 2001).

La expansión de los núcleos urbanos hacia sus periferias aumenta la presión en los usos del suelo rurales viéndose reflejados en cambios espaciales de la cubierta, haciendo notoria la transformación en el vínculo urbano-rural, la dependencia de los espacios urbanos hacia los rurales otorga la importancia en las evaluaciones de cambios de cobertura vegetal en dichos espacios rurales.

En estudios hechos en la década de los setentas por Otterman (1974) y Sagan *et al.*, (1979), ambos citados por Lambin *et al.*, (2003) ponen de manifiesto las negativas consecuencias que presenta la modificación del albedo de la superficie, provocados por los cambios de uso del suelo, y que se ve reflejado en la alteración de los intercambios de energía entre la superficie y la atmósfera, teniendo un impacto directo en el clima regional. La población humana aproximadamente se apropia del 20 o 40% de la producción primaria terrestre del planeta, teniendo una influencia directa en la transformación de los ecosistemas (Vitousek *et al.*, 1986).

Tiempo después, en el año de 1983 por Woodwell *et al.*, y en 1985 por Houghton, citados por Lambin *et al.*, (2003) resaltaron la importancia de los ecosistemas terrestres como fuentes y sumideros de carbono, con lo que se evidencio, nuevamente, el impacto en el uso del suelo y cambio de la cobertura vegetal en el clima mundial a través del ciclo del carbono.

Dichos cambios en el Sistema Tierra derivados del componente uso del suelo determinan, en parte, la vulnerabilidad de la sociedad y la susceptibilidad de los lugares a condiciones de perturbación climática, económica y socio-política (Kasperson *et al.*, 1995, citado por Lambin *et al.*, 2001). El uso del suelo representa una paradoja, por un lado es vital para el desarrollo de la humanidad pero a la vez, deteriora los ecosistemas de los cuales depende para su supervivencia (Foley *et al.*, 2005, citado por Evangelista *et al.*, 2010).

Según Lambin (1994) los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres deben su origen a tres principales razones:

- Conversión de la cobertura del terreno (cambio de uso del suelo).
- Degradación de la tierra.
- Intensificación del uso del suelo.

Los cambios de uso del suelo es el resultado de la combinación entre las actividades humanas y el medio ambiente. La interacción de ambas partes puede tener una amplia influencia espacial y temporal. Conocer la evolución del uso del suelo así como los motivos que empujan a la sociedad a cambiar su entorno, son necesarios para conocer, evaluar y predecir la vulnerabilidad del ambiente a nivel local y regional. A lo largo del tiempo se han realizado diversos estudios, y enfoques, relacionados con el cambio uso del suelo, algunos vinculan el concepto de vulnerabilidad, otros se enfocan al estado que guarda el uso de suelo espacial y temporalmente.

En el estado de Tabasco y norte de Chiapas, la actividad que contribuye para el cambio de uso del suelo es la ganadería, sus pastos cubren más de la mitad de su superficie de estos estados. Según Bollo *et al.* (2010) la vegetación natural, de sur a norte, está dada por selva alta perennifolia, selva media perennifolia inundables (de Canacoite) y los humedales que en su mayoría son de popal-tular, pero que han sido sustituidos por cultivos, ganadería extensiva, pastizales inducidos y plantaciones de cacao. Los suelos predominantes son los Acrisoles pero también se tienen, aunque en menores extensiones, los Gleysoles, Cambisoles, Leptosoles, Fluvisoles, Luvisoles, Andosoles, Regosoles y Vertisoles.

Con respecto a la comunicación del riesgo existe una gama de trabajos teóricos realizados donde se exponen ideas y teorías desde la sociología⁹ donde se debate los orígenes de ésta concepción entendida como corriente ideológica y debate político-social del riesgo. No es el fin propio de este apartado el profundizar al respecto. Sino la comunicación del riesgo vista de forma práctica. Ahora corresponde emplear estos conocimientos revisados como base teórica-histórica, para poder canalizar, en particular, el concepto de uso de suelo como una herramienta real y eficaz que pueda ser utilizada en beneficio de la comunicación del riesgo.

Lo anterior se justifica en la siguiente premisa: para que un fenómeno sea tipificado como riesgo, su desarrollo debe de ser en un espacio que contenga a un grupo social, y que éste grupo contenga características de vulnerabilidad ante tal fenómeno, teniendo como consecuencia directa la afectación de su óptimo desarrollo.

⁹Revisar Beck, 1998, 2006; Obregón *et al.*, 2012; entre otros.

Aplicando una fracción de la parte básica del proceso de gestión de riesgos que es el entendimiento de los factores antrópicos, por mencionar un tipo, propiciadores del riesgo y de la interacción con la parte social como un medio básico de concebir sus carencias y necesidades, en conjunción, por otra parte, con el entendimiento de la afectación causada por los continuos cambios de uso del suelo y cobertura vegetal como un ingrediente más en la producción de amenazas, es que se propone la importancia de utilizar el factor de uso del suelo como un “*medio cartográfico social*” encaminado a la comunicación del riesgo. Replanteando la forma tradicional cartográfica de representar el riesgo.

Si bien los trabajos hechos en relación con el uso del suelo y su importancia en interacción con el ambiente son muy diversos y extensos, anteriormente citados algunos de ellos, poco se ha planteado la opción de utilizar ésta expresión del medio ambiente-sociedad como herramienta en beneficio de prevenir los riesgos, es decir, siendo el uso del suelo un factor donde influye directa o indirectamente la sociedad propia o no propia del lugar, se podría usar este carácter en virtud de la comunicación del riesgo.

En realidad, la conceptualización que se pretende dar en esta parte del trabajo, sin llegar a complicar el significado de comunicación de riesgos, es en la practicidad a la que se pretende alcanzar por medio del uso del suelo como medio transmisor de información que ayude a sensibilizar a la sociedad viviente del riesgo.

Esta propuesta de representación cartográfica viene a la par de innovar en la forma de hacer llegar la información relevante hacia las autoridades tomadoras de decisiones, sector privado y social, explotando los recursos profesionales de la disciplina geográfica en el análisis de los riesgos naturales, aportando estrategias de estudio y gestión alternativa (Ribera, 2004).

Normalmente los trabajos cartográficos representativos del riesgo tienen como resultado mapas con diseños técnicos, propio del método del cuál fue creado (mencionando algunos trabajos en el siguiente subtema). Sin el afán de menospreciar el trabajo realizado de dichos autores, y con el debido respeto, percibo una considerable dificultad de analizar y entender la cartografía para aquellos individuos que tienen poca o nula experiencia en el ámbito de interpretación de mapas.

Ahora bien, considerando que uno de los supuestos fines por los que se elabora la cartografía de riesgos es que sea un instrumento de comunicación efectivo, en beneficio de la sociedad, es que planteo la necesidad de basar su diseño pensando en la flexibilidad que tenga el documento en dicha divulgación.

CENAPRED (2006) plantea en su Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos el ejemplo de representar el riesgo en una zona urbana en base a regiones geográficas (grupo de manzanas) con vista a una representación de detalle a nivel manzana. Esto evidencia la necesidad de replantear la forma de transmitir la información hacia aquella sociedad carente de visión cartográfica.

1.3 Imágenes de satélite. Una herramienta empleada para evaluar el cambio de uso de suelo.

En países en vías de desarrollo es una prioridad el reconocimiento de sus recursos y de riesgos naturales a los que están expuestos. Lo anterior se puede llevar a cabo por medio de un análisis visual y digital de imágenes de satélite. La aplicación de esta técnica se basa en el análisis de la reflectancia o respuesta espectral de los diversos objetos presentes en la superficie terrestre. La técnica automatizada de percepción remota ha contribuido, tanto a nivel internacional como nacional, a la realización de inventarios, cartografía (mapas de uso del suelo y vegetación) y monitoreo (seguimiento, detección de cambios) de recursos y riesgos naturales (Bocco *et. al.*, 1991).

Los estudios realizados a la superficie terrestre a partir de información generada por imágenes de satélite, conocida como la técnicas de percepción remota, supone el registro de la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre mediante sensores a larga distancia (Rosete y Bocco, 2003).

Los avances tecnológicos en el área de la teledetección han permitido la variación de métodos para el análisis de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo con diferentes grados de efectividad, permitiendo una mayor estructuración de la información espacial para el manejo de ambientes tropicales (Berlanga *et al.*, 2010).

Múltiples trabajos se han hecho en relación con factores de riesgos naturales y la vulnerabilidad de la población, algunos de ellos en una situación post-desastre, otros, evalúan la modificación espacio-temporal de la cobertura y uso de suelo. A continuación se exponen algunos trabajos que aplican la técnica de la teledetección a partir de imágenes de satélite y fotografías aéreas, y que de alguna manera están relacionados o sirvieron de referencia en el presente trabajo.

Diferentes autores han trabajado el tema de cambio de uso de suelo, con una diversidad de enfoques, pero los que más se acercan a esta propuesta de trabajo son Gómez y Rojas (2009), quienes evalúan la situación de la cobertura vegetal en la zona V Norte de Chiapas para el ordenamiento ecológico territorial y análisis detallado de los cambios de uso de suelo en los últimos 18 años. Obtienen el índice de vegetación normalizado (NDVI) por medio de dos imágenes de satélite de los años 1986 y 2002.

En sus apartados del estado actual de la cobertura, determinan que el uso extensivo del suelo con fines ganaderos ha propiciado la deforestación de selva alta a mediana perennifolia dejando pequeños y aislados acahuales. El cultivo del cacao se ve beneficiado en grandes extensiones de selvas, aunque para su cultivo se tiene que eliminar especies medianas y bajas para hacer espacio para el cultivo. Y para el apartado del estado actual de uso de suelo en la Región V Norte, diferenciaron trece tipos de usos de suelo: Selva alta perennifolia con vegetación secundaria, potreros en zonas inundables, potreros bajo cobertura, humedales, suelo desnudo, selva alta perennifolia, agua, plantaciones de plátano, selva mediana perennifolia inundable de canacoíte, urbano, pastizal inducido, plantaciones de naranjos y depósitos fluviales.

Dupuy *et al.*, (2007) realizaron un análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en relación con las actividades humanas, en las localidades de San Ángel y Solferino en el municipio de Lázaro Cárdenas, Quintana Roo, los resultados tienen como finalidad la planificación del desarrollo socioeconómico y del uso y conservación de los recursos naturales. Los tipos de vegetación y cubierta del suelo fueron identificados a través de la interpretación de fotografías aéreas de los años 1979 y 2000, adicionalmente, utilizando imágenes de satélite Landsat MSS de 1976 y TM de 2000 como material de apoyo para la interpretación. Detectando un aumento en coberturas de selvas de 10 832 ha en 1979 a 22 167 ha para el 2000, como consecuencia de

la regeneración de áreas quemadas. El cambio de uso del suelo se favoreció en Solferino por la deforestación de la selva para usos agropecuarios.

Por otro lado, la clasificación de imágenes Landsat ETM de 1990 y 2000 fue en beneficio de conocer las causas y tendencias de uso del suelo en Laguna Guerrero, Calderitas y Úrsulo Galván, ejidos próximos a la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo (García *et al.*, 2005). En el entendido que el impacto que ocasiona el cambio de uso del suelo significa estudiar la relación de factores ambientales y socioeconómicos (Rosete *et al.*, 2008). Identificando el uso de vegetación secundaria y selva para actividades agropecuarias, la cercanía con la Ciudad de Chetumal facilita el trámite de créditos, apoyos y accesos a trabajos remunerados, posibilitando la venta de productos agropecuarios. Lo que estimula el cambio de uso del suelo y cobertura en los ejidos.

Otro trabajo relacionado con la evaluación de cambios espaciales de la vegetación por medio de fotointerpretación de fotografías aéreas, es el hecho por Salazar *et al.*, (2004) donde se cartografió la vegetación y uso del suelo de los años 1973, 1984 y 2003 para la región Sierra Madrigal en Tabasco, la cual tiene una importancia biológica y ecológica por la diversidad de flora y fauna que presenta. Registrando una pérdida del 80% de vegetación de Selva Alta Perennifolia de Ramón y Huapaque, por el contrario, los pastizales cultivados incrementaron su presencia del 13.8% en 1973 al 24% en el 2003, la agricultura de temporal y perenne aumento del 1.1% al 3.2% para el mismo periodo. Se reconoció que la causa de la degradación de la selva se debió al aumento de incendios forestales que favorecen el desarrollo de la vegetación secundaria y pastizales con fines pecuarios seguido por la agricultura y la tala clandestina de arboles maderables.

1.3.1 Imágenes de satélite. El caso de los PRM, deslizamientos.

En este subtema se abordara de manera breve trabajos donde la percepción remota es aplicada en los procesos de remoción en masa, en específico en los deslizamientos. Para ello es necesario acotar los significados de tales términos.

Los **procesos de remoción en masa (PRM)** son los movimientos que modelan las laderas por el desplazamiento de materiales no consolidados (roca, detritos y suelo) situados en las laderas bajo la influencia directa de la gravedad y sin la colaboración primordial de algún

agente transportador del fluido. De tal forma se incluyen los deslizamientos, las caídas de materiales, vuelcos, expansiones laterales, flujos y los movimientos complejos. Los términos procesos gravitacionales, procesos de ladera y movimientos de ladera son sinónimos del término procesos de remoción en masa (Lugo, 2011; Alcántara, 2000).

El término **deslizamiento** significa un movimiento lento de una masa de material sobre un plano o superficie, implicando un mecanismo de movimiento específico (Lugo, 2011; Alcántara, 2000).

La percepción remota además de ser, ahora, una herramienta indispensable para el estudio del medio ambiente, es frecuentemente utilizada en trabajos relacionados a procesos de remoción en masa, para su estudio post-proceso o detección de ellos; cuantificando, identificando el tipo de movimiento y examinando las zonas propensas a estos procesos.

Los PRM son procesos modificadores del relieve, en mayor o menor medida, de sumo interés para los especialistas del propio relieve, y no representarían ninguna amenaza si no se manifestarán en regiones pobladas, afectando de esta manera a la sociedad ocupante del espacio. Este apartado es enfocado al tipo de movimiento de ladera que es el deslizamiento citando un breve ejemplo en la cuenca del río Grijalva.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección son utilizados frecuentemente en trabajos de deslizamientos; este es el caso del deslizamiento en el río Grijalva durante las lluvias de octubre y noviembre del 2007, donde se produjo un bloqueo natural que afectó la localidad de San Juan de Grijalva, utilizando modelos digitales del terreno, uno previo y otro posterior al deslizamiento e imágenes de satélite de alta resolución espacial (Imagen Quickbird), para tener una perspectiva del antes y después del evento, pudiendo fotointerpretar los lineamientos del terreno y visualizar el fenómeno; el modelo digital del terreno posterior al deslizamiento fue generado a partir de un levantamiento Lidar aerotransportado.

A partir de los modelos se trazaron perfiles topográficos que ayudaron a graficar la magnitud de la remoción de masa. Se analizaron diferentes factores que pudieron incidir en el deslizamiento, no se encontró alguno que fuera el causante principal de tal fenómeno, por lo

que se concluyó que fue una serie de factores causales los cuales produjeron el movimiento de ladera en forma de deslizamiento (Hinojosa *et al.*, 2011).

Concluyendo con el primer capítulo de este trabajo se pretende dar paso a la utilización de imágenes de satélite para la detección de uso del suelo por medio de una técnica semi-automatizada de clasificación por objeto, puesto que ha sido escasamente documentado la optimización de este método para la comunicación del riesgo enfocando su práctica en los procesos de ladera llamados deslizamientos.

Bibliografía del capítulo 1 antecedentes.

Achard F, Eva HD, Stibig HJ, Mayaux P, Gallego J. (2002). *Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests.* Science 297. Pp. 999–1002.

Aguilar, C., E. Martínez, L. Arriaga (2000). *Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿Qué tan grave es el problema en México?*. CONABIO. Biodiversitas 30: 7-11.

Aguilar J. C., Tolón B. A., Galdámez G. J., Gutiérrez M. A., Mendoza P. S. y Martínez A. F. (2008). *La producción sostenible de maíz en la selva de Chiapas, México.* II Seminario de cooperación y desarrollo en espacio rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. Almería, 14-15 Julio.

Aibar, J., Cortés F., Martínez L., Zaremborg G. (2013). *El helicoide de la investigación: metodología en tesis de ciencias sociales.* Ed. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México.

Alcántara A., I. (2000). *Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida.* Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Instituto de Geología, UNAM; Vol. 17, Núm. 1. Pp. 66-75.

Alcántara A. I., Garnica P. R. y Hernández M. G. (2013). *Susceptibilidad a procesos de remoción en masa, en La región del volcán Chichón, Chiapas: un espacio potencial para su protección, conservación y desarrollo sustentable.* Alcántara A. I., Garnica P. R., Coll-Hurtado A. y Ramos H. S. (Coordinadores) Universidad Nacional Autónoma de México.

Alperín M. I., Borges V. G., Sarandón R. (2002). *Caracterización espacial de los tipos de cobertura de suelo usando técnicas geoestadísticas a partir de información satelital.* Revista de la Facultad de Agronomía, UNLP, Argentina, 105 (1). Pp. 40-51.

Arcia-Rodríguez, M., (editor) (1994). *La Geografía del Medio Ambiente: Una Alternativa del Ordenamiento Ecológico.* Colección Ciencia y técnica # 24, UAEM. 289 p.

Ball, J. B. (2001). *Global forest resources: history and dynamics.* In The Forests Handbook. Vol. 1, ed. J Evans, pp. 3–22. Oxford: Blackwell Sci. 418 pp.

Balvanera, P., H. Cotler (2011). *Los servicios ecosistémicos.* CONABIO. Biodiversitas, 94: 7-11.

Beck, U. (1998). *La política de la sociedad de riesgo.* Estudios demográficos y urbanos. El Colegio de México. Vol. 13, No 3 (39) Sept-Dic. Pp. 501.

Beck U. (2006). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad.* Colección Surcos. Paidós Ibérica. Barcelona. Pp. 393.

Beer S. (1994). *Brain of the Firm.* Wiley & Sons, Chichester, UK.

Berlanga C., García R., López J., y Ruiz A. (2010). *Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000).* Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 72, pp. 7-22.

Blanco, J. (2010). *Una reseña sobre el papel de la ganadería en los problemas actuales del medio ambiente*. Ciencia y Tecnología Ganadera. Volumen 4. No. 2, pp. 65-72.

Bocco, G., J.L. Palacio y C.A. Valenzuela (1991). *Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica*. Ciencia y Desarrollo XVII(97): 79-88.

Bollo Manent, M. y J. R. Hernández Santana (2008). *Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México*. Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 66, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-24.

Bollo Manent, M., Hernández J., Méndez A., (2010). *Evaluación de potencialidades naturales en el ordenamiento ecológico territorial: noroeste del estado de Chiapas, México*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. No. 53. Pp. 191-218.

Bucek, A., y J. Lacina., (1983). *Creación de los sistemas territoriales de estabilidad ecológica en el paisaje como parte integrante de la optimización de la actividad económica en el paisaje*. Stud. Geogr., 86 p.

Canul, R. F. y Rocha, V. L., (1981). *Informe geológico de la zona geotérmica de "El Chichonal", Chiapas*. Comisión Federal de Electricidad, Morelia, Mich., México, 38 pp.

Carbajal J., Hernández J., y Bollo M., (2010). *Paisajes físico-geográficos del Circuito Turístico Chilpancingo- Azul, estado de Guerrero, México*. Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 73, pp. 71-85.

Cardona, O. (1993). *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo*, en *Los Desastres no son Naturales*. Andrew Maskrey (Comp.). LA RED.

Cardona, O. (2001). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. "Una crítica y una revisión necesaria para la gestión"*. Bogotá: Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos-Universidad de los Andes.

Cardoso, M., (1979). *El clima de Chiapas y Tabasco*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Cram S., Sommer I., Oropeza O., Mendoza A. (coords.) (2010). *Atlas regional de impactos derivados de actividades petroleras en Coatzacoalcos, Veracruz*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

CENAPRED (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social*. Serie: Atlas Nacional de Riesgos. México. Pp. 166.

Cervantes Rodríguez, C. (2013). *Cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en Tlalpan D. F., 1970 y 2011*. Tesis de Licenciatura, Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Pp. 90.

Cortina V. S., Macario M. P., Ogneva H. Y. (1999). *Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México*. Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 38, pp. 41-56.

Delgadillo Macías, J. (coord.) (1996). *Desastres Naturales. Aspectos sociales para su prevención y tratamiento en México*. Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

Dirzo, R. (2004). *Las Selvas Tropicales. Epítome de la crisis de la biodiversidad*. CONABIO. Biodiversitas 56: 12-15.

Dupuy, J. M., González, J. A., Iriarte, S., Calvo, L. M., Espadas, C., Tun, F., Dorantes, A. (2007). *Cambios de cobertura y uso de suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 62. Pp. 104-124.

Espindola, J. M., Macías, J. L., Godínez Ma. L., Jiménez, Z. (2002). *La erupción de 1982 del volcán Chichonal, Chiapas, México*, en *Desastres Naturales en América Latina*. Lugo-Hubp, J., Inbar, M., (Compiladores). Fondo de Cultura Económica. México.

Evangelista O. V., López B. J., Caballero N, J., Martínez A. M., (2010). *Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 72, pp. 23-38.

Figueroa M. J. y Ortiz P. M. A., (2013). Geología, en *La región del volcán Chichón, Chiapas: un espacio potencial para su protección, conservación y desarrollo sustentable*. Alcántara A. I., Garnica P. R., Coll-Hurtado A. y Ramos H. S. (Coordinadores) Universidad Nacional Autónoma de México.

Flores, P; Alcántara Ayala I., (2012). *Susceptibility to shallow landslides of soil in the municipality of Temoaya, México: multicriteria analysis*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 77, pp. 31-47.

Fortune, J. (1993). *Systems Paradigms: Studying Systems Failures*. Open University Worldwide, Milton Keynes, UK.

García, A. G. y E. F. Kauffer. (2011). *Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: Un acercamiento a su delimitación y problemática general*. Frontera Norte, Volumen 23, Número 45, Enero-Junio, pp. 131 – 162.

García, E. (1988). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Primera edición: 1964. Offset Larios, S. A. México, 213 p.

García, G., Schmook, B., Espejel, I. (2005). *Dinámica en el uso de suelo en tres ejidos cercanos a la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 58. Pp. 122-139.

García M. T., Mas J. F. (2008). *Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 67, pp. 7-19.

García-Pereyra, R. (2012). *Métodos de elaboración de proyectos de investigación*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.

Garnica, R., e I. Alcántara. (2004). *Riesgos por inundación asociados a eventos por precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 55, pp. 23-45.

Gaslélum-Escalante J., Montoya J. P. (2013). *El oficio de investigar en ciencias sociales: enfoque, métodos y técnicas aplicadas en ejemplos concretos*. Universidad de Occidente. México.

Gómez. J. J. (2001). *Vulnerabilidad y medio ambiente*. en Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe. Seminario Internacional. Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL.

Gómez G., Rojas O., (2009). *Estudio de cambio de uso de suelo como insumo al ordenamiento territorial de la Zona V Norte petrolera del estado de Chiapas*, en *Conceptos de Geomática y estudios de casos en México*. Aguirre R., Geografía para el siglo XXI, serie libros de investigación, núm. 5. Instituto de Geografía, UNAM. 365 p.

Hernández Santana, J. R., Bollo Manent, M., Méndez Linares, A. P., Figueroa Mah Eng, J. M. (2009). *Formación y morfogénesis del relieve del extremo noroccidental del estado de Chiapas, México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México, 68, pp. 25-40.

Herzer, H., Rodríguez, C., Celis, A., Bartolomé, M., Caputo, G. (2002). *Convivir con el riesgo o la gestión del riesgo*. Buenos Aires: Centro Estudios Sociales y Ambientales.

Hinojosa, A., Rodríguez, V. M., Munguía, L., Meillón, O. (2011). *El deslizamiento de ladera de noviembre 2007 y generación de una presa natural en el río Grijalva, Chiapas, México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63:1, 15-38.

Lambin, E.F. (1994). *Modelling deforestation processes. A review*. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites (TRESS). TREES Series: Research Report No. 1. Luxemburgo, 113 pp.

Lambin, E. F., H. J. Geist, E. Lepers (2003). *Dynamics of Land-Use and Land-Cover change in tropical regions*. Annual Review of Environment and Resources. Volume 28.

Lambin, E. F., B. L. Turner, H. J. Geist, et al. (2001). *The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths*. Global Environmental Change. 11; 261-269.

Lansigan, F. P. (2007). *Assessing Vulnerability of Urban Areas to Floods for Effective Disaster and Risk Management in Local Government Units*. University of the Philippines. Paper presented at the International Workshop on the Science and Practice of Flood Disaster Management in Urbanizing Monsoon Asia. Chiang Mai, Thailand.

Lavell, A. (1999). *Gestión de riesgos ambientales urbanos*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales y la Red Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina – LA RED.

Lavell, A. (2001). *Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición*. Scripta Nova–Revista.

Lavell, A., Mansilla, E., Smith, D. (2003). *La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Programa Regional para la Gestión del Riesgo en América Central. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Leone, F., Velásquez, E. (2002). *La catástrofe del deslizamiento de La Josefina (Ecuador, 1993): algunas enseñanzas sobre la vulnerabilidad*, en *Desastres Naturales en América Latina*. Lugo-Hubp, J., Inbar, M., (Compiladores). Fondo de Cultura Económica. México.

Limón Hernández, Cecilia G, (2005). *Análisis de la percepción del riesgo en los volcanes Chichón y Tacaná, Chiapas*. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

Liverman, Diana M. (1994a). *Variación ambiental y transformación económica: cambios de la vulnerabilidad a amenazas naturales en el México rural*. Texto presentado en el Seminario Internacional “Sociedad y Prevención de Desastres” COMECOSO, UNAM, CONACYT, LA RED. En febrero de ese año.

Liverman, Diana M. (1999). *Geography and the Global Environment*. Annals of the Association of American Geographers, 89:1, 107-120

López, E. M. E. Mendoza y A. Acosta. (2002). *Cambios de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del Lago de Cuitzeo, Michoacán*. Gaceta ecológica. 64: 19-34.

López M. R. (1995). *Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y Norte de Chiapas*. Cuadernos Universitarios. Colección Agricultura Tropical. Universidad Autónoma de Chapingo. México. Pp. 121.

López, M., G. Jiménez, B. de Jong, S. Ochoa y J. Nahed (2000). *El sistema ganadero de montaña en la región norte-tzotzil de Chiapas, México*. Revista Ecosur, No. 32, año 2, pp. 93-102.

Lugo H., J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. Geografía para el Siglo XXI; Serie: Textos Universitarios, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. Pp. 479.

Lugo H., J. (1990). *El relieve de la Republica Mexicana*. Revista del Instituto de Geología, UNAM, México, 9 (1), pp. 82-111.

Lugo Hubp, J., y Córdova Fernández de Arteaga, C. (1990). *Regionalización Geomorfológica (mapa de la Republica Mexicana)*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de

Geografía, Atlas Nacional de México, hoja Geomorfología 2, núm. IV.3.4, escala 1:12'000,000.

Lugo-Hubp, J., Inbar, M., (Compiladores) (2002). *Desastres Naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica. México.

Macías, J. L. (2005). *Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Boletín Conmemorativo del Centenario, tomo LVII (3), pp. 379-424.

Manjarrez Muñoz B., S. Hernández Daumás, B. de Jong, J. Nahed Toral, O. de Dios Vallejo, E. Salvatierra Zaba. (2007). *Configuración territorial y perspectivas de ordenamiento de la ganadería bovina en los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 64, pp. 90-115.

Maskrey A. (comp.) (1993). *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Mendoza-Margáin C. E., (2013). Geomorfología en *La región del volcán Chichón, Chiapas: un espacio potencial para su protección, conservación y desarrollo sustentable*. Alcántara A. I., Garnica P. R., Coll-Hurtado A. y Ramos H. S. (Coordinadores) Universidad Nacional Autónoma de México.

Mittermeier R, Mittermeier CG, Gil PR, Pilgrim J, Fonseca G. (2003). *Wilderness: Earth's Last Wild Places*. Chicago: Univ. Chicago Press. 576 pp.

Morán Delgado G. (2013). *Métodos de investigación*. Ed. Pearson. México.

Mulleried, F. K. G. (1933). *El Chichón, único volcán en actividad en el sureste de México*. Revista del Instituto de Geología, UNAM. México, 33: 156-170.

Murgueitio, E. (2003). *Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución*. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Cali, Colombia.

Narvéz, Lizardo., Lavell, A., Pérez Ortega. G. (2009). *La gestión del riesgos de desastres: Un enfoque basado en procesos*. Secretaria General, Proyecto apoyo a la prevención de desastres en la comunidad Andina (PREDECAN). Lima, Perú. 102.

Obregón, R., Arroyave, J., Barrios, M. M. (2012). *Periodismo y comunicación para la gestión de riesgo en la subregión andina: discursos periodísticos y perspectivas para un enfoque prospectivo y preventivo*. Revista de la Facultad de Comunicaciones, Universidad de Antioquia, Colombia. Folios (23), Pp. 105.

Oliver-Smith, A. (2002). *El gran terremoto del Perú, 1970: el concepto de la vulnerabilidad y el estudio y la gestión de los desastres en América Latina*, en *Desastres Naturales en América Latina*. Lugo-Hubp, J., Inbar, M., (Compiladores). Fondo de Cultura Económica. México.

Ortega-Gutiérrez, F., L. M. Mitre Salazar, J. Roldán Quintana, J. J. Arada Gómez, D. J. Morán Zenteno, S. A. Alaníz Álvarez y A. F. Nieto Samaniego (1992), *Carta geológica de la Republica Mexicana a escala 1:2 000 000*, UNAM y CRM, 5a. ed., México

Pineda N., Bosques J., Gómez M., y Plata W. (2009). *Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación*. Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 69, pp. 33-52.

Regmi, Netra R., John R. Giardino, y John D. Vitek. (2010). *Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA*. *Geomorphology* 115. Pp. 172-187.

Ribera, L. (2004). *Los mapas de riesgo de inundación: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas*. Doc. Anál. Geogr. Número 43, Pp. 153-171.

Romero, G., y Maskrey, A. (1993). *Como entender los desastres naturales*, en *Los desastres no son naturales*. Andrew Maskrey (Comp.) LARED.

Rosete, F. A. y Bocco, G. (2003). *Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales*. Gaceta Ecológica. INE-SEMARNAT, No. 68, Pp. 43-54.

Rosete, F. A., Pérez, J. L., Bocco, G. (2008). *Cambio de uso de suelo y vegetación en la Península de Baja California, México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Núm. 67. Pp. 39-58.

Rubio Carriquiriborde, I. (2012). *La estructura de vulnerabilidad y el escenario de un gran desastre*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Núm. 77, pp. 75-88.

Salazar, E. C., Zavala, J., Castillo, O., Cámara, R. (2004). *Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México (1973-2003)*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Núm. 54, pp. 7-23.

Sánchez Salazar, M. T., y O. Oropeza Orozco. (coords.) (2000). *Atlas regional del Istmo de Tehuantepec*. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Santos Reyes, J., y Beard (2011). *Applying the SDMS Model to the Analysis of the Tabasco Flood Disaster in Mexico*. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 17:3, 646-677.

Turner, M. G., Arthaud, G. J., Engstrom, R. T. (1995). *Usefulness of spatially explicit population models in land management*. *Ecological Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 12-16.

Velázquez, A., Duran E., Larrazábal A., López F y Medina C. (2010). *La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo*, en <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/601/cobertura.pdf>. Consultada en septiembre del 2013.

Velázquez, E., Hermelin, M., Mejía, O. (2002). *El evento torrencial de septiembre de 1990 en San Carlos (Colombia) y sus consecuencias catastróficas*, en *Desastres Naturales en América Latina*. Lugo-Hubp, J., Inbar, M., (Compiladores). Fondo de Cultura Económica. México.

Vitousek, P., Ehrlich, P., Ehrlich A. & P. Matson (1986). *Human appropriation of the products of photosynthesis*. *BioScience*, no. 36, pp. 368-374.

Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco and J. M. Melillo (1997). *Human domination of Earth's ecosystems*. *Science*, 277, pp. 494-499.

Wilches-Chaux, G., (1993). *La Vulnerabilidad Global*, en *Los Desastres no son Naturales*. Andrew Maskrey (Comp.). LA RED.

Wilches-Chaux, G. (1998). *Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, mecánico y soldador*. *Guía de La Red para la gestión local de los desastres*. La Red, Quito, Ecuador.

CAPÍTULO 2.

EL segundo capítulo corresponde a la metodología del trabajo, donde se hace uso de la teledetección, o también llamada percepción remota; abundando en el tema de las imágenes de satélite, en específico del sensor Landsat. También se hace uso de la clasificación por objeto en el software de MadCat 3.3.22 para un continuo estudio de susceptibilidad de laderas por parcela en base al método estadístico de pesos de evidencia (WOE). Y por último, se aplica un análisis de componentes principales en diversas variables socioeconómicas para la producción de un índice de vulnerabilidad a nivel localidad.

METODOLOGÍA.

Para el presente trabajo se utilizó el método de clasificación por objeto en imágenes satelitales para lograr los objetivos planteados; que es la extracción de usos del suelo y sus cambios por medio de percepción remota y software de licencia libre, para la continua representación del mapa de Susceptibilidad de Laderas por Parcelas. Previamente las correcciones radiométricas y los ajustes de histogramas de las imágenes se harán en el software **ENVI 4.5**, y aunque éste software proporciona excelentes resultados solo será utilizado en ésta parte del trabajo.

MadCat 3.3.22 es utilizado para la obtención del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI; por sus siglas en inglés) y la clasificación por objeto para la continua extracción del uso del suelo por parcelas, que por el grado de resolución espacial de las imágenes Landsat MSS, TM y ETM+ (60 y 30m) se le designo como Densidad de Cobertura Vegetal a la dinámica espectral de las parcelas. Pero que dichas parcelas (polígonos en el ámbito SIG) corresponden a determinados usos del suelo.

Se hará mención de un segundo método, -pesos de evidencias- utilizado en la elaboración del mapa de *Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa*, de Alcántara Ayala Irasema, Garnica Peña Ricardo J. y Hernández Moreno Guadalupe, 2013; el cual fue la base e inspiración del mapa resultante del presente trabajo, donde se introdujo a dicho proceso la capa de Densidad de Cobertura Vegetal, integrándose en el análisis para posteriormente agruparse en las unidades de terreno, dando como resultado el mapa de *Susceptibilidad de Laderas por Parcela*.

Además de exponer el desarrollo estadístico para la elaboración del Índice Socioeconómico de Vulnerabilidad, obteniendo los datos poblacionales de la página electrónica de INEGI¹⁰. Justificando las variables utilizadas y los motivos por los cuales se pretende relacionar la representación del riesgo y la vulnerabilidad.

El método de extracción de usos del suelo requiere de insumos iniciales como imágenes de satélite a escala contextualmente regional (porción de la cuenca del Grijalva) y local (zona del Chichonal, Chiapas). La utilización de imágenes de satélite en dicho estudio es tomada por el marco de trabajo (incluyendo cuerpo de conocimiento y algoritmos) de la percepción remota o teledetección que permite obtener información a distancia de los objetos que están situados en la superficie terrestre (Chuvieco, 2002).

Se consideraron imágenes de tipo Landsat, MSS en los años 70 y 80, y TM de los años ochentas y noventas; y una ETM+ del 2003, las cuales fueron importadas al sistema de procesamiento digital de imágenes ENVI para pre-procesamientos digitales (corrección radiométrica, ajuste de histograma) y la extracción de usos del suelo se llevó a cabo por procesamientos semi-automatizados, opción que se exploró bajo el software *MadCat 3.3.22* e *ImageJ*. Se tendrán como referencia los trabajos realizados por Gómez y Rojas (2009) donde se hace uso de imágenes de satélite para la identificación de la cobertura vegetal del Norte de Chiapas.

Adicionalmente se proponen aproximaciones de representación para asociar las unidades territoriales (parcelas) identificadas con el concepto de vulnerabilidad en co-dependencia de las zonas ambientalmente sensibles consideradas en la cuenca del Grijalva. Proponiendo una representación a escala más chica de la densidad de cobertura vegetal (zona contextual regional), abarcando una región más amplia de la cuenca. En un periodo de tiempo de 1984, 1993 y 2003.

En general la metodología empleada para esta tesis se representa en el esquema 2.1.

¹⁰<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>

2.1 Teledetección y el programa Landsat.

Volar ha sido, desde épocas remotas, uno de los sueños más intensamente anhelados por la Humanidad. Basados en la motivación de capturar una nueva forma de visualizar los paisajes terrestres, es que surge la observación remota de la superficie terrestre, como marco de estudio de la percepción remota, también denominada teledetección (Chuvieco, 2008).

La *percepción remota* es el registro de información de un objeto sin entrar en contacto material con él en las regiones del ultravioleta, visible, infrarrojo y microondas, por medio de instrumentos como escáners y cámaras localizadas en plataformas móviles (avión o satélite) y el análisis de la información adquirida por medio de técnicas de fotointerpretación, interpretación de imágenes y procesado de las mismas (Sabins, 1978).

Si bien se podría citar algunos personajes que llevaron a cabo trabajos relacionados con la percepción remota, nos veríamos en la necesidad de remontarnos a mediados del siglo XIX, con Gaspar Félix de Tournachon, y de ahí hacer un exhaustivo recuento de los diversos avances en esta técnica, que dichos avances van muy ligado a los progresos tecnológicos de cada época.

Sin duda, los periodos bélicos traen consigo un avance tecnológico sorprendente, las guerras mundiales lo fueron, con el desarrollo y perfeccionamiento de cámaras aéreas y sistemas de comunicación. En la posguerra, se puede resumir de forma general, los avances tecnológicos de la teledetección en tres rubros: satélites meteorológicos, satélites para la prospección de recursos naturales y el radar satelital.

En cada una de ellas se observa la integración de numerosas dependencias, algunas gubernamentales; otras tantas del sector académico, como universidades e institutos; así como ONG y empresas privadas, que participan en la evolución de la técnica aplicada de la percepción remota.

La *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) y la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) son algunas dependencias de renombre que se crearon a partir de este nuevo impulso en la Ciencia de la Tierra, con principal interés en la

meteorología satelital, los vuelos espaciales, la cartografía y la evaluación de los recursos naturales.

2.1.1 Principios básicos de la percepción remota.

Todos los materiales de la Tierra reflejan o emiten energía electromagnética. Los sensores miden la intensidad de la radiación electromagnética emitida por un objeto y estudian sus propiedades físicas a partir de su variación con la frecuencia. Bajo el conocimiento de que la energía se transmite por medio de tres procesos: convección, conducción y radiación; es éste último, la radiación, que es la base de la percepción remota. La radiación electromagnética se transmite de la cubierta terrestre al sensor de tres formas diferentes de flujos energéticos: reflexión, emisión y por emisión-reflexión. Los sensores de los satélites reciben la información acerca de un objeto a través de la energía electromagnética

La radiación electromagnética se transmite de forma armónica y continua, a la velocidad de la luz y manteniendo los campos eléctricos y magnéticos. El flujo energético se describe por una longitud de onda, la cual es la distancia entre dos picos continuos de onda; y una frecuencia que designa el número de ciclos que pasan por un punto fijo en un determinado tiempo. Esto bajo la teoría ondulatoria de Huygens y Maxwell. Y bajo la teoría cuántica (Planck y Einstein) se puede calcular la cantidad de energía transportada, siempre y cuando se conozca la frecuencia, claro está (Chuvieco, 2008).

Los diferentes niveles de longitud de onda de la energía radiante se detecten por distintos medios; sin embargo, se identifican frecuencias y longitudes de onda de similar comportamiento, determinándolas como series de bandas de radiación electromagnética; por lo tanto existen desde los rayos gamma, pasando por el espectro visible, hasta las ondas de radio y se les denomina como *espectro electromagnético* (Aguirre, 2009). Imagen 2.1

A decir de Chuvieco (2002), un sistema de teledetección ambiental concibe seis elementos: *una fuente de energía* que, en los sistemas pasivos, es el Sol (dado que en los sistemas activos, el propio sensor emite la fuente de energía) y que proporciona la radiación electromagnética que detecta el sensor; *una cubierta terrestre*, formada por vegetación, suelos, cuerpos de agua y edificaciones que absorben la radiación y la reflejan; *el sistema sensor y la plataforma que lo aloja*, captando la energía reflejada por la cubierta terrestre,

codificando y grabando la información en el sistema; *sistema de recepción-comercialización*, donde se recibe la información enviada por la plataforma; *el intérprete* que se encarga de transformar los datos en información temática de interés; y por último, *el usuario* que se encarga de analizar la información permitiendo tomar decisiones a partir de la interpretación.

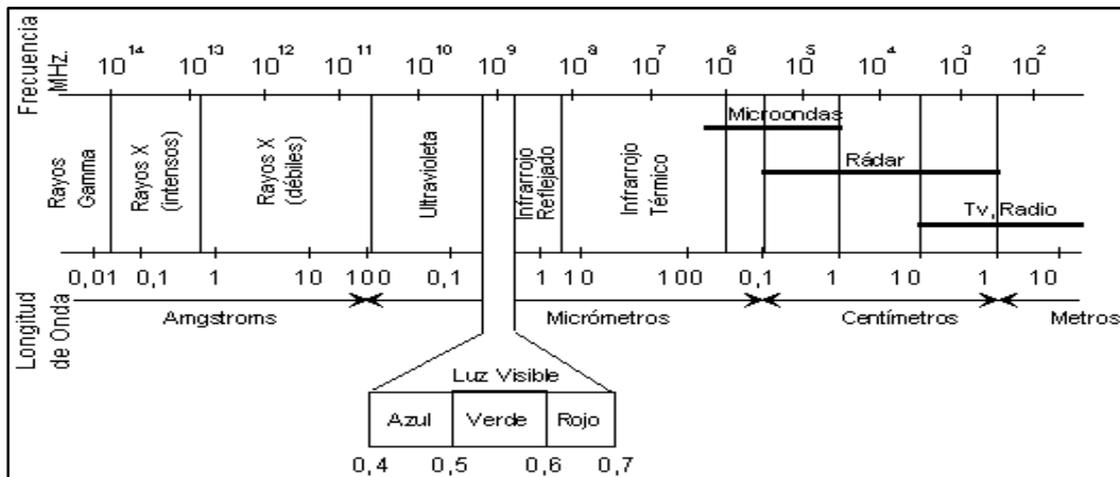


Imagen 2.1 . División del espectro electromagnético¹¹.

La técnica de la percepción remota tiene múltiples aplicaciones y beneficios, por mencionar algunas tenemos las siguientes:

Aplicaciones.

- Análisis de la cobertura vegetal del suelo.
- Seguimiento de fenómenos meteorológicos a diversas escalas.
- Base para la creación de mapas temáticos.
- Permite realizar estudios de riesgos ambientales.
- Herramienta esencial en estudios de incendios forestales.
- Identificación de la cobertura, plagas y estimaciones de cosechas.
- Insumo en estudios de crecimiento de área urbana.
- En estudios oceanográficos, etc.

Beneficios.

- Es una de las escasas fuentes homogéneas de información global.

¹¹Tomado de la página electrónica: <http://atlasneuquen.uncoma.edu.ar/articulos/?e=18> consultado el día 16 de diciembre de 2013.

- La altura orbital del sensor permita apreciar en una sola imagen un mayor espacio del que se puede visualizar en una fotografía aérea, permitiendo una visión más amplia de los hechos geográficos.
- Los sistemas de teledetección proporcionan una diversidad de escalas visuales, desde imágenes detalladas a nivel local hasta imágenes a escala global.
- También los sensores permiten la visualización de tipos de energía que no son visibles al ojo humano o fotografía, como el infrarrojo medio y térmico o las micro-ondas.
- Otra ventaja es la relativa facilidad con la que se puede contar con la información, y por último pero no menos importante.
- Las características orbitales de los satélites permite tener imágenes del mismo lugar en diferentes tiempos beneficiando los estudios multitemporales.

Los sensores de los sistemas de percepción remota difieren de la resolución de sus imágenes, es decir, el nivel de detalle que pueden alcanzar al capturar la imagen. Determinando cinco diferentes tipos de resolución: espacial, espectral, radiométrica, angular y temporal.

La primera se refiere a la finura de detalles visibles en una imagen, a menor área representada en un píxel, mayor será la resolución espacial de la imagen. La resolución espectral se refiere al número y ancho de las bandas espectrales registradas por un sensor. La resolución radiométrica o sensibilidad radiométrica hace referencia al número de niveles digitales (ND) utilizados para expresar los datos recogidos por el sensor. La tercera, la resolución angular es la capacidad de observación multiangular del sensor, es decir, la capacidad de poder observar el mismo lugar desde diferentes ángulos. Y por último, la resolución temporal referida a una medida de la frecuencia con la que un satélite es capaz de obtener imágenes de una determinada área¹².

Existen diversas formas de clasificar a los sensores, la más común es en base a la forma de obtener la energía procedente de las cubiertas, definiendo dos tipos de sensores, los sensores pasivos y los sensores activos. Son considerados sensores pasivos los que tienen como característica básica la limitación de recibir la energía proveniente del Sol. En el grupo de los sensores activos entran todos aquellos que tienen la capacidad de emitir su propio haz de energía.

¹²Tomado de la página electrónica: <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/satelites-resolucion-espacial.htm> consultado el día 16 de diciembre de 2013.

También las plataformas de teledetección espacial se pueden, en base a su tipo de órbita, dividir en satélites de órbitas geosíncronas (geoestacionarios) y heliosíncronas. Debido a que los tres elementos más importantes de una órbita son la inclinación, período orbital y altura. La inclinación es referida con respecto al ecuador terrestres. El período orbital es la duración de un recorrido orbital, es decir, el tiempo que tarda en estar en el mismo lugar. Y la altitud, que es la distancia que guarda en referencia con la superficie terrestre; que puede llegar a ser constante, lo cual determinaría una órbita circular, o puede tener una órbita eclíptica, teniendo una distancia variada a lo largo de su recorrido.

Los geoestacionarios mantienen una inclinación muy similar a la línea ecuatorial, su período orbital va en sincronía con la Tierra, y su altura es constante. Teniendo como resultados imágenes del mismo lugar del planeta, su aplicación se remita a observaciones meteorológica. Los heliosíncronos tienen un grado de inclinación muy próximo al polar, su altura varía y suele ajustarse a su periodo orbital, dando como resultado la observación de diferentes zonas del planeta, pasando a la misma hora local. Su aplicación va enfocada a la evaluación de recursos naturales en satélites de media y alta resolución (Chuvienco, 2008).

2.1.2 El programa Landsat.

Para este trabajo, como ya se mencionó, se utilizaron imágenes Landsat MSS, TM y ETM+. Por lo tanto se abordará información de estos sensores. La serie de satélites Landsat ofrece la colección continua más larga de las observaciones satelitales. Como tal, Landsat es un recurso invaluable para el seguimiento del cambio global y es una fuente primaria de observaciones espaciales para la toma de decisiones (Chander *et al.*, 2009).

El programa Landsat comenzó en julio de 1972 con el lanzamiento del primer satélite de la serie ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*), siendo el primer satélite con fines exclusivos de prospección en recursos naturales y su consecutiva cartografía, programa desarrollado por la NASA; el proyecto ERTS fue rebautizado a Landsat, del acrónimo *Land*: tierra, *Sat*: satélite, con el envío del segundo satélite puesto en órbita en el año de 1975. Landsat ha sido el proyecto espacial más fructífero con fines civiles de teledetección, en las últimas décadas su archivo histórico constituye una herramienta de referencia insustituible en trabajos relacionados con cambios sobre la superficie terrestre (Chuvienco, 2008).

La razón por la que sea la más popular herramienta utilizada en trabajo de teledetección por la comunidad científica y profesional es porque, el proyecto Landsat se caracteriza por su aceptable resolución del sensor en escalas medias, el carácter periódico y global de las escenas captadas y por su fácil accesibilidad a éstas (Goward *et al.*, 2006, citado por Chuvieco, 2008). Los satélites Landsat se pueden clasificar en tres grupos, en base a las características del sensor y la plataforma:

MSS (Multispectral Scanner). El primer grupo lo forman Landsat 1, Landsat 2 y Landsat 3 con el Multispectral Scanner (MSS) y el sensor de Return Beam Vidicon (RBV) que es un conjunto de una terna de cámaras de video, en una plataforma “NIMBUS-like”. La resolución espacial del sensor MSS fue de 79 m pero normalmente se procesan a 60 m. Cuenta con cuatro bandas que van desde el azul visible hasta el infrarrojo cercano.

TM (Thematic Mapper). El siguiente grupo lo conforma Landsat 4 y Landsat 5 que mantienen el sensor MSS e incorporan el Thematic Mapper (TM). Con una resolución espacial de 30 m para sus seis bandas reflectivas y 120 m para la banda térmica. El sensor TM represento la principal fuente de información para la cartografía temática por sus mejoras espaciales, espectrales, radiométricas y geométricas en relación con el sensor MSS que sólo se mantuvo en estos satélites para dar continuidad a las misiones anteriores.

ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). El tercer grupo lo conforman Landsat 6 y Landsat 7 con los sensores Enhanced Thematic Mapper (ETM) y el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), respectivamente. Desafortunadamente Landsat 6 no se logró poner en órbita. Landsat 7 cuenta con una resolución de 30 m para sus seis bandas reflectantes, 60m para la banda térmica y 15m de resolución para su banda pancromática, los costos de producción redujeron considerablemente, aumentando el uso de estos sensores; a pesar de que en el año 2003 se presentó una avería con un mecanismo de barrido, Landsat 7 sigue siendo operable y captando imágenes con buena calidad radiométrica (*Ibíd.*).

En la tabla 2.1 se presenta la información general de cada sensor utilizado en éste trabajo.

Tabla 2.1 Información básica de los sensores satelitales.

SATE-LITE.	SENSOR	FECHA LANZAMIENTO.	DECOMISION.	ALTITUD Km.	INCLINACION Grados	PERIODO Minutos	CICLO Días	CRUCE Tiempo (a.m.)
Landsat 4	MSS y TM	Julio 16, 1982.	Junio 30, 2001.	705	98.20	98.20	16	9:45
Landsat 5	MSS y TM	Marzo 1, 1984.	Operando	705	98.20	98.20	16	9:45
Landsat 7	ETM +	Abril 15, 1999.	Operando	705	98.20	98.20	16	10:00

Fuente: Chander *et al.*, 2009.

2.2 La adquisición de las imágenes satelitales en la zona de estudio.

La Teledetección espacial ofrece destacados beneficios al estudio del medio ambiente, uno de ellos es su dimensión espacial, provista por la continua captación de imágenes, por medio de un sensor que observa la Tierra desde una plataforma que gira de forma cíclica. Puede ayudar a prevenir y evaluar erupciones volcánicas, incendios, deforestación, inundaciones, seguimientos de huracanes y procesos de desertificación (Chuvienco, 1998). Lo anterior reafirma que la aplicación de múltiples imágenes (estudios multitemporales) de la misma región, ayudan a la caracterización de zonas propicias a amenazas ambientales.

La adquisición y selección de imágenes de satélite se pudo obtener de la *Global Visualization Viewer* (GloVis)¹³; descargando escenas de los años 1975 (2 escenas), 1978, 1984, 1986 (tres escenas), 1990, 1993, 1998, 2003, en todas ellas se trabajó en un ajuste de histograma para visualizar la potencialidad de cada escena, lamentablemente solo 7 escenas fueron probables a trabajar, las demás se desecharon en parte por la nubosidad que presentaban en la porción del Volcán El Chichonal.

Los años a trabajar son: 1984 con una imagen de tipo MSS (LandSat 4), tres de 1986 (dos MSS y una TM de LandSat 5), una del año 1993 y otra de 1998 de tipo TM (LandSat 5), y finalmente una más de 2003 con una escena de ETM+ (LandSat 7). Que a continuación se presentan en orden consecutivo. Imagen 2.2.

A las escenas se les hizo un doble corte donde se enmarca la zona de trabajo, ya que éste se apoya de una zona contextual regional y local; también por estar en el marco de evaluación de la zona del Volcán El Chichonal, como candidata para la conformación de un Geoparque.

¹³<http://glovis.usgs.gov/>

La primera serie de cortes corresponde una escala contextual regional (imagen 2.3), abarcando desde el noroeste de Chiapas y el sur de Tabasco con coordenadas en el extremo SW $\lambda N 17^{\circ} 01.00'$, $\phi O 93^{\circ} 36.00'$, y en el extremo NE $\lambda N 18^{\circ}03.00'$, $\phi O 92^{\circ}50.00'$ la segunda serie corresponde a una escala local (imagen 2.4), que comprende el Volcán El Chichonal y sus inmediaciones con coordenadas en el extremo SW $\lambda N 17^{\circ}16.0'$, $\phi O 93^{\circ}18.0'$, y en el extremo NE $\lambda N 17^{\circ}28.1'$, $\phi O 93^{\circ}06.1'$.

Cabe la oportunidad de hacer una breve aclaración del contraste visual de algunas imágenes, con especial atención en la imagen del año 1993. Si se observa dicha imagen se puede apreciar un ligero cambio de tonalidades entre la escena completa y los cortes regional y local de ésta, aun cuando se trata del mismo compuesto a color en RGB.

Esto se puede entender de la siguiente manera: la imagen cuenta con un determinado número de ND, que son la Radiancia recibida, al hacer una ampliación de la imagen se crea una nueva matriz de tamaño equivalente al nivel magnificado, en esta nueva matriz se sitúan los ND originales y se calculan otros por interpolación, para dar una impresión de imagen mucho más nítida (Chuvieco, 2008).

Tabla 2.2. Información básica del *Header* de las imágenes.

SENSOR.	FECHA DE ADQUISICIÓN.	SATELITE.	ELEVACIÓN DEL SOL.	RESOLUCIÓN ESPACIAL.
MSS	1984-01-09	Landsat 4	38.3410435°	60
MSS	1986-03-11	Landsat 5	49.2779511°	60
MSS	1986-04-12	Landsat 5	56.5392322°	60
TM	1986-03-11	Landsat 5	49.2751970°	30
TM	1993-01-09	Landsat 5	37.2715973°	30
TM	1998-01-07	Landsat 5	39.4118775°	30
ETM+	2003-04-03	Landsat 7	60.0494041°	30

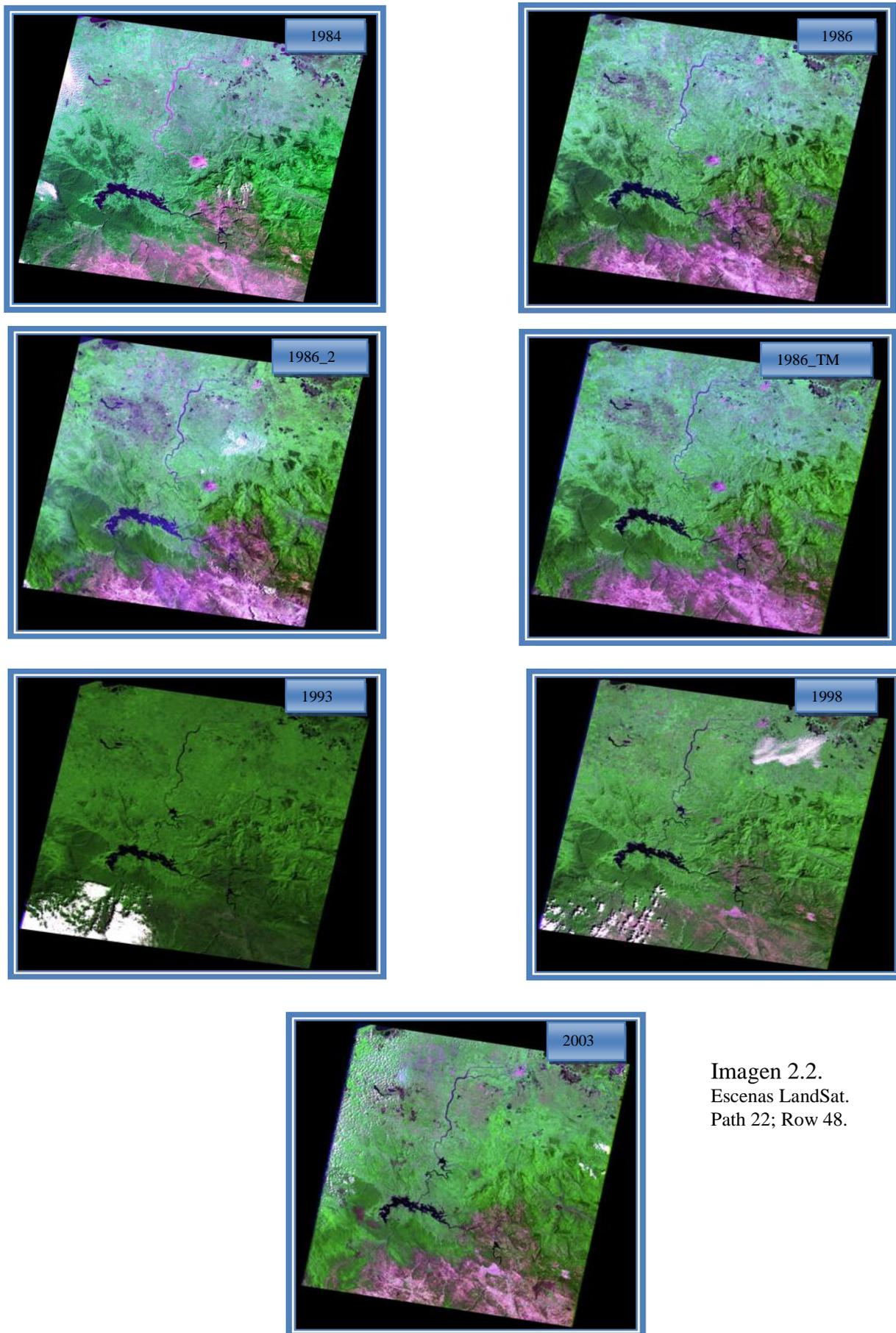


Imagen 2.2.
Escenas Landsat.
Path 22; Row 48.

Zona contextual regional.

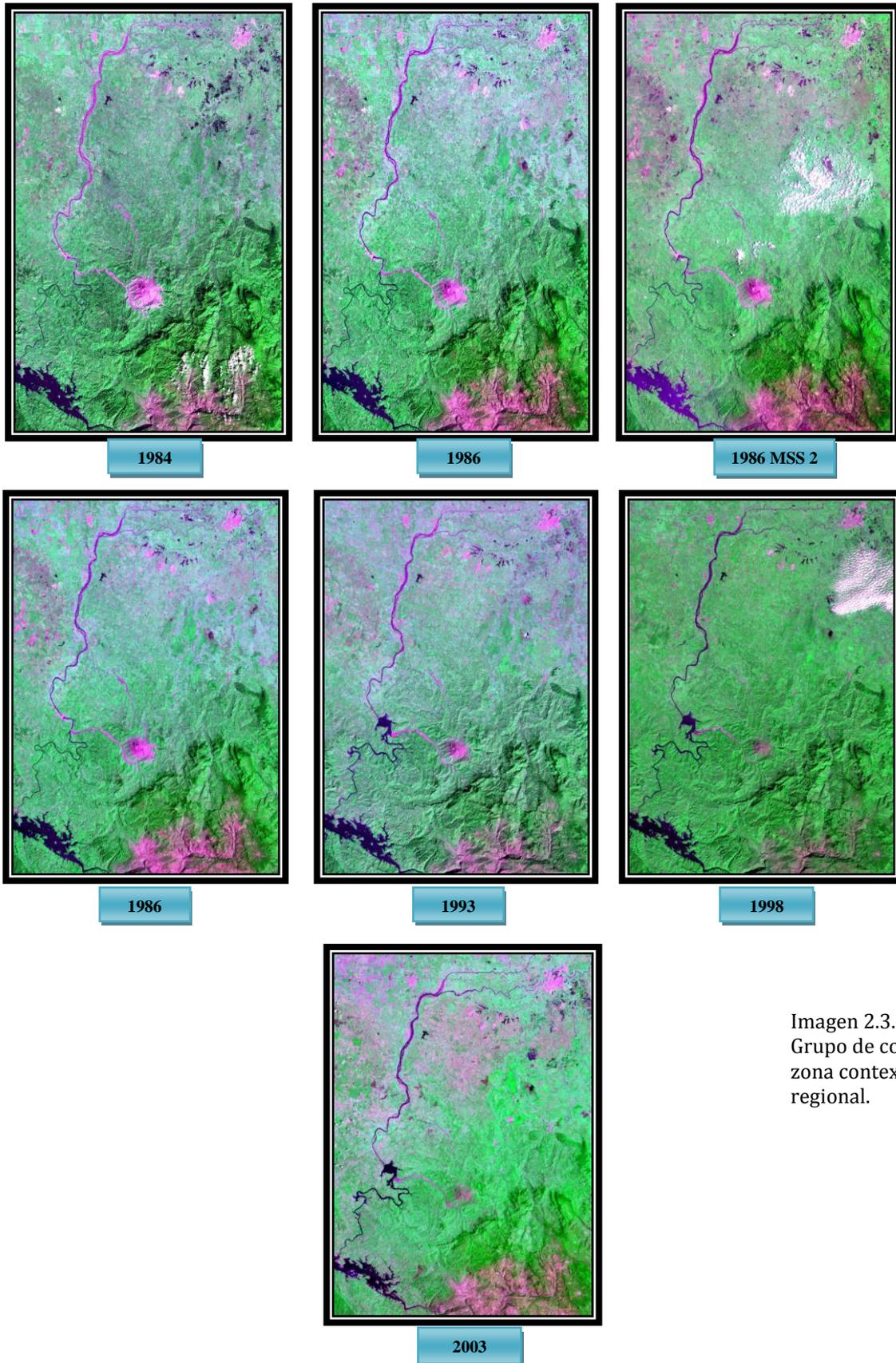


Imagen 2.3.
Grupo de corte en la
zona contextual
regional.

Escala Local.

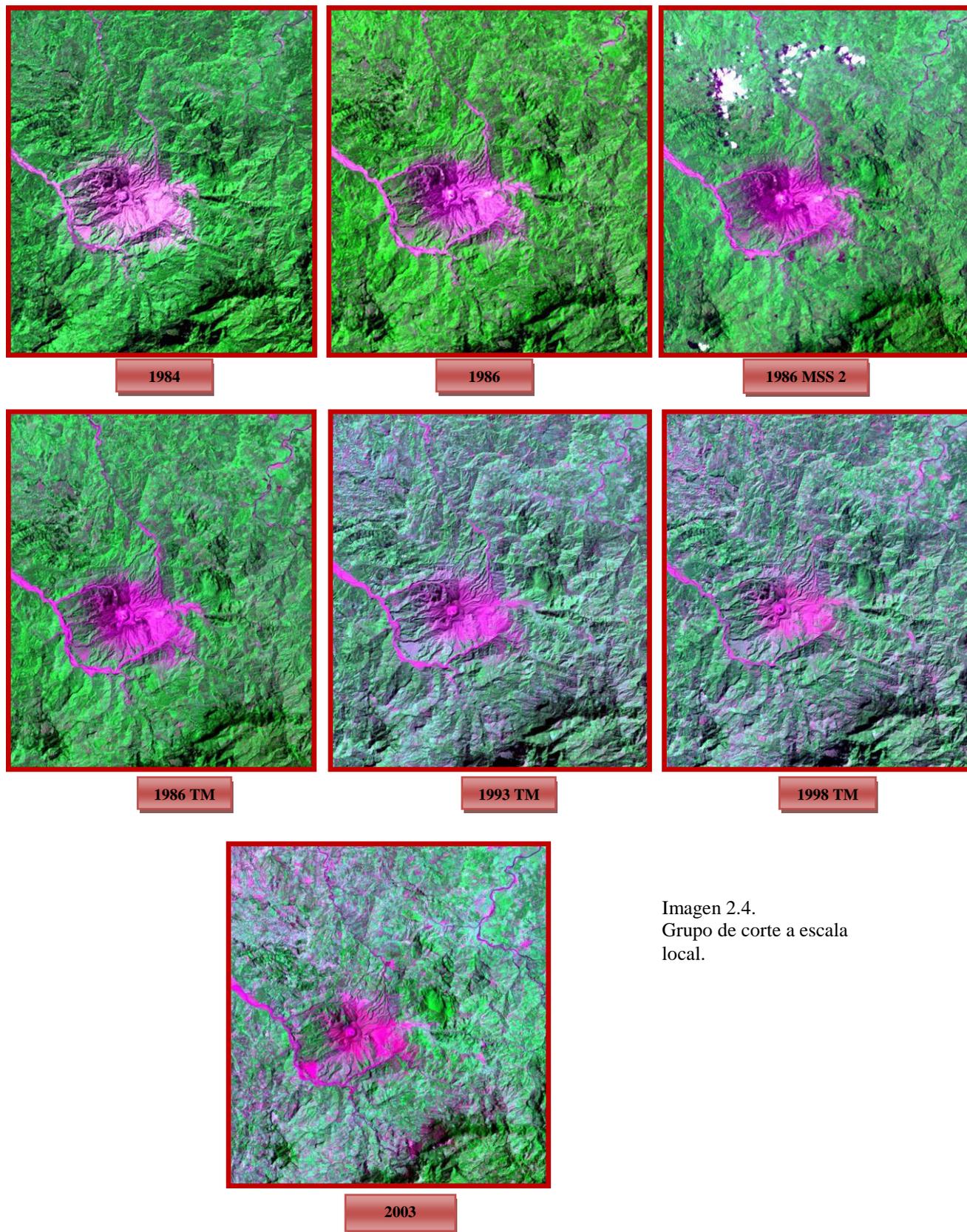


Imagen 2.4.
Grupo de corte a escala local.

2.3 Corrección radiométrica y ajuste del histograma en las imágenes satelitales.

Posteriormente, se importaron todas las escenas al sistema de procesamiento digital de imágenes (ENVI 4.5) solo para realizarles, a cada una, compuestos a color, rectificación radiométrica y consecutivamente un ajuste de histograma.

Se basó en la tabla de características de imágenes Landsat que presenta Berlanga y Ruiz (2007) para saber cuál es el mejor compuesto a color para fines de determinación de unidades territoriales, se estableció para las imágenes de tipo MSS un compuesto de RGB de las bandas 2, 3, 1, respectivamente, y para las imágenes TM y ETM+ con el compuesto de bandas 3, 4, 2; con este orden se podrá llegar a una equivalencia entre ambos sensores.

Características de las imágenes de satélite Landsat MSS, TM y ETM+.						
Sensor / Plataforma						
Banda	MSS / Landsat 1-5		TM / Landsat 4-5		ETM+ / Landsat 7	
	Resolución Espacial	Definición Espectral	Resolución Espacial	Definición Espectral	Resolución Espacial	Definición Espectral
1	80 m	Verde 0.5 - 0.6 μ m	30 m	Azul - Verde 0.4 - 0.52 μ m	30 m	Azul - Verde 0.4 - 0.52 μ m
2	80 m	Rojo 0.6 - 0.7 μ m	30 m	Verde 0.52 - 0.6 μ m	30 m	Verde 0.52 - 0.6 μ m
3	80 m	Infrarrojo cercano 0.7 - 0.8 μ m	30 m	Rojo 0.63 - 0.69 μ m	30 m	Rojo 0.63 - 0.69 μ m
4	80 m	Infrarrojo cercano 0.8 - 1.1 μ m	30 m	Infrarrojo cercano 0.76 - 0.90 μ m	30 m	Infrarrojo cercano 0.76 - 0.90 μ m
5			30 m	Infrarrojo medio 1.55 - 1.75 μ m	30 m	Infrarrojo medio 1.55 - 1.75 μ m
6a			120 m	Infrarrojo lejano 10.4 - 12.5 μ m	120 m	Infrarrojo lejano 10.4 - 12.5 μ m
6b					60 m	Infrarrojo lejano 10.4 - 12.5 μ m
7			30 m	Infrarrojo medio 2.08 - 2.35 10.4 - 12.5 μ m	30 m	Infrarrojo medio 2.08 - 2.35 μ m
8					15 m	Panromático 0.52 - 0.90 μ m

Tabla 2.3. Fuente: Berlanga y Ruiz, 2007.

Para poder trabajar e interpretar imágenes que fueron adquiridas por técnicas de teledetección es necesario hacerles un tratamiento previo, que consista en la corrección de la imagen (Rosete y Bocco, 2003). La corrección radiométrica es un procedimiento que resulta necesario cuando se trabaja con niveles digitales de diversas imágenes de la misma área, de

diferentes fechas, como un medio para asegurar que los valores de todas las imágenes a trabajar sean equiparables entre sí (Chuvienco *et al*, 2002).

Corrección radiométrica. “*Designa aquellas técnicas que modifican los ND originales, con objeto de acercarlos a los que habría presentes en la imagen caso de una recepción ideal.*”

La corrección radiométrica consiste en la transformación de los *Digital Number (ND)* a *Radiancia* y luego a *Reflectancia* (o bien reflectividad). Resulta necesaria esta corrección para comparar imágenes de la misma área, pero de distintas fechas, y/o tomadas por sensores múltiples, como un medio para asegurar que los valores de todas las imágenes a trabajar sean equiparables entre sí (Chuvienco *et al.*, 2002; Brizuela *et al.*, 2007; Chander y Markham, 2003; Chuvienco, 1998, 2002, 2008).

Los ND son valores enteros relativos de los píxeles, que expresan una cantidad de energía radiante recibida por el sensor. Las correcciones consisten en:

1. Los valores ND se convierten a *radiancia* por medio de una transformación lineal con base en coeficientes de calibración del sensor, y
2. La *radiancia* se convierte a *reflectancia*, por medio de una normalización por la radiación incidente con base en parámetros de adquisición de la imagen, como son la fecha y hora de adquisición, el ángulo solar y el ángulo de vista del sensor (Brizuela, *op. cit.*).

La radiancia (L). “*Total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida, y es lo que esencialmente mide un sensor remoto.*”(Chuvienco *et al.*, 2002)

Reflectividad (ρ). “*Relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie.*”(Chuvienco *et al.*, 2002)

Un propósito de esta corrección es la transformación de los ND (codificación digital para almacenamiento óptimo) a parámetros físicos que reflejan realmente la radiación captada por el sensor. Además, la conversión a valores de reflectancia permite dar un significado físico a la característica espectral de diferentes objetos observados, y poner en relación imágenes adquiridas en distintas fechas y/o por distintos sensores con datos adquiridos en laboratorio o en la superficie terrestre para una interpretación robusta.

En un inicio se aborda de forma teórica la conversión entre ND de la imagen y parámetros físicos (radiancia y reflectividad) tomado de Chuvieco (1995)¹⁴, en cuanto que también supone una transformación de los ND originales. Para después plantear la ejecución del proceso de forma práctica en el software de nombre reconocido.

Parte teórica.

Los ND son traducciones digitales de la radiancia espectral (L_{senK}) definidos por la siguiente ecuación:

$$L_{senk} = a_{0,k} + a_{1,k} ND_k$$

Donde L_{senK} , pertenece a la radiancia espectral recibida por el sensor en la banda K (en $W/m^2sr \mu m$); a_{0K} y a_{1K} son los coeficientes de la calibración para esa banda, y ND_K , corresponde al nivel digital de la imagen en la misma banda.

Dicha radiancia espectral es el conjunto de diversos factores que influyen como lo son: la radiación solar incidente (L_{suK}); de la reflectividad espectral de la cubierta (P_k); de la transmisividad de la atmósfera (T_k); y de la radiancia aportada por la dispersión atmosférica ($L_{a,k}$), dejando la fórmula de la siguiente manera.

$$L_{senk} = L_{suK} P_k T_k + L_{a,k}$$

De ahí se puede despejar la reflectividad, dando:

$$P_k = (L_{senK} - L_{a,k}) / (L_{su,k} T_k)$$

Considerando que la superficie tenga un comportamiento Lambertiano, podemos estimar la radiancia que llega al suelo, en la fecha concreta de adquisición de la imagen, a partir de la irradiación solar extraterrestre ($E_{o,k}$); el ángulo cenital (θ); y el factor corrector de la distancia Tierra-Sol (K), calculado como:

$1 + 0.0167(\sin(2\pi(\text{día} - 93.5) / 365))^2$. Resultando en la fórmula:

$$L_{su,k} = (E_{o,k} \cos \theta) / (k \pi)$$

¹⁴Se hace una cita eventualmente textual del proceso teórico en virtud de no propiciar errores técnicos de escrituración.

Sustituyéndola para la reflectividad:

$$P_k = (L_{\text{senk}} - L_{\text{ak}}) / ((E_{0,k} \cos \theta / k \pi) T_k)$$

Y si se prescinde de la transmisividad atmosférica (T_k).

$$P_k = (k \pi L_{\text{senk}}) / (E_{0,k} \cos \theta)$$

Resumiendo el proceso de traducción de ND a parámetros físicos en la conversión de ND a valores de radiancia (L_{senk}), a partir de los coeficientes de calibrado del sensor; estimación de valores de reflectividad (P_k), conociendo la fecha (K y el ángulo θ).

Parte práctica.

La reflectividad es una variable que permite una interpretación de los datos de distintos sensores. La conversión de los niveles digitales a parámetros físicos (radiancia-reflectancia) se realizó en ENVI 4.5 con el módulo de **FLAASH**, que es un método basado en abstracciones teóricas de una serie de atmósferas estándar desarrollado por el *USA Army*, que considera los efectos en la reflectancia de objetos cercanos o vecinos.

El módulo solicita un primer ajuste de valores en las unidades de radiancia. Este sencillo ajuste se realiza con la herramienta de **Band Math**, localizada en la barra de menú principal de ENVI, *Basic Tools > Band Math*, escribiendo la expresión *B1/10.0* en *Enteran expression*. El resultado de esta expresión es que los valores de RGB aparecerán en decimales.

Seguido de esto se hace un cambio de intervalo de **BSQ** a **BIL** o **BIP**, en *Basic Tools > Convert Data (BSQ, BIL, BIP)*, esto debido a que FLAASH requiere en la imagen un intervalo de entrada de estos dos últimos.

Cabe la oportunidad de hacer una especificación de estos tres formatos de grabación de las imágenes, los tres formatos más usados son: Las Bandas secuenciales, **BSQ** (*Band Sequential*) donde los ND de cada banda se acomodan uno detrás del otro hasta completar todos los píxeles, seguidos de la siguiente banda. Está también el formato de Bandas intercaladas por línea, **BIL** (*Band Interleaved by Line*) aquí los ND se acomodan por líneas, formando bloques

por banda registrada. Y por último, Bandas intercaladas por píxel, BIP (*Band Interleaved by Pixel*) donde se acomodan los primeros ND de cada banda, seguidos de los segundo de cada banda, seguidos de los terceros de cada banda, así consecutivamente (Chuvieco, 2008). Más adelante se hará uso y mención del formato GeoTIFF, utilizado para el traspaso de archivos de un programa a otro.

Aclarado lo anterior, se prosigue a la calibración de parámetros, en la barra de menú principal se selecciona *Basic Tools > Preprocessing > Calibration Utilities > Landsat MSS* o *Landsat TM*, según el tipo de sensor del que procede la imagen. Cabe mencionar que en la segunda opción (Landsat TM) se encuentra la elección para el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Se elige la imagen a trabajar, y la siguiente ventana será donde se lleva a cabo la calibración de los parámetros.

Los datos con los que se debe de contar son: el tipo de satélite, el día, mes y año en que se tomó la imagen, así como la elevación del Sol al momento de la toma, y por último se selecciona la opción de *radiancia* o *reflectancia* (Tutorial ENVI 4.5). Los datos para la calibración de las imágenes se encuentran en el archivo *Header* de cada escena, tabla 2.2.

Los cambios producidos a las imágenes no son visuales, excepto en el caso de ajuste de histogramas, las rectificaciones radiométricas son una conversión de los valores originales a valores de reflectancia. Imagen 2.5. Con esto se concluye la calibración de parámetros de las imágenes.

También se hicieron ejercicios de ajuste de histograma de frecuencias en cada banda, que a decir de Chuvieco (*ibídem*) son los números de píxeles que cuentan con un determinado ND, y que nos informa sobre cómo se distribuyen los ND en cada imagen. Castleman (1978) y Jensen (1996), citados por Chuvieco (*loc. cit.*) ponen de manifiesto el uso del histograma con fines de realizar una primera aproximación de las imágenes en cuanto a su valoración.

El acomodo de cada histograma permite imaginar la tonalidad predominante de cada banda. Si el histograma presenta varios picos, estos pueden representar la posible presencia de diversas clases de cobertura. Así pues, la anchura del histograma se relaciona con su contraste visual de la banda.

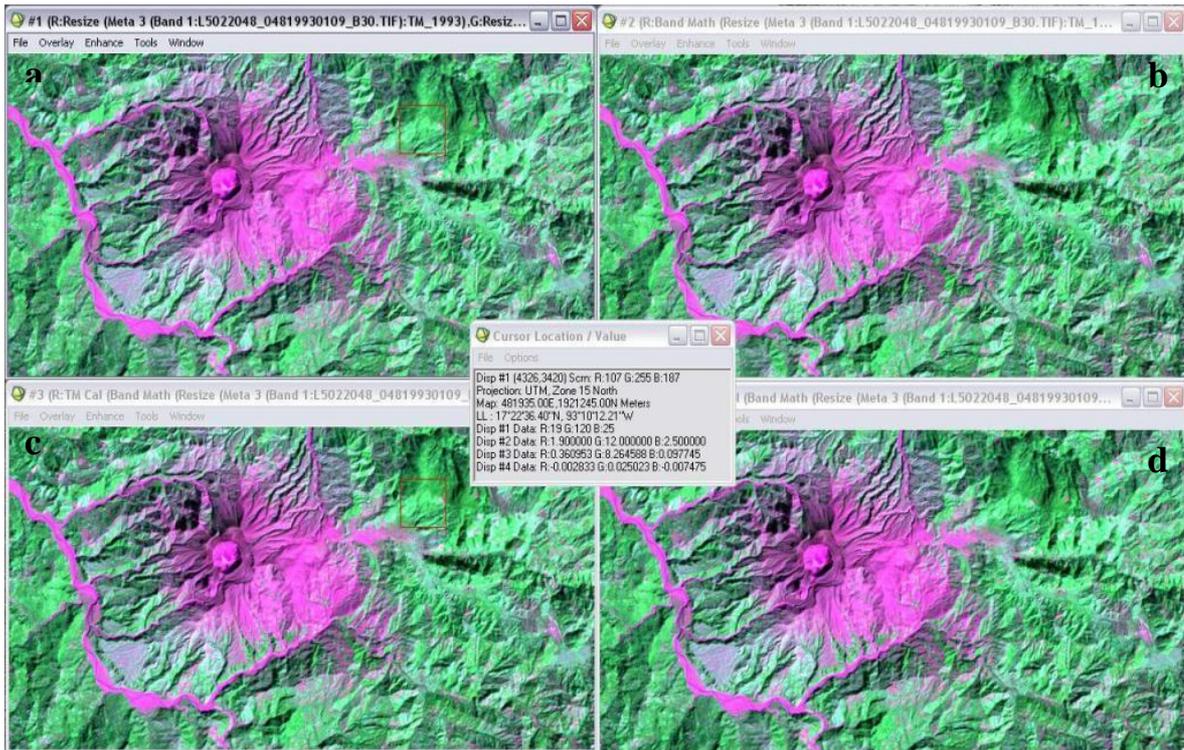


Imagen 2.5. Captura de pantalla. a) Imagen sin calibrar, b) imagen con el ajuste de unidades de radiancia, c) imagen calibrada en radiancia, d) imagen calibrada en reflectancia.

Dicho ajuste se realizó con la herramienta de *Interactive Stretching* (ENVI), con motivo de homogeneizar visualmente las imágenes y realizar una primera valoración de las mismas, lo que supondrá una mejora del contraste, resultando así, en una mejor interpretación de las imágenes

Se presenta la imagen 2.5 donde se visualiza los cambios producidos en la imagen del año 1993 correspondientes a las correcciones radiométricas. Así como las imágenes de los tres años, 1984, 1993, 2003, en sus dos dimensiones, zona contextual regional y local, que son propicias para la etapa de segmentación (Imagen 2.6).

2.4 Técnicas utilizadas en teledetección para la clasificación de imágenes.

La percepción remota se ha vuelto una herramienta importante en el análisis e interpretación de datos espaciales (Coulson *et al.*, 1991; Texeira *et al.*, 1992; citados por Moizo, 2004), las imágenes satelitales procesadas por SIG o software dedicados al manejo de dichos archivos, permiten integrar y analizar la heterogeneidad espacial, haciéndola cada vez más accesible (*ídem*).

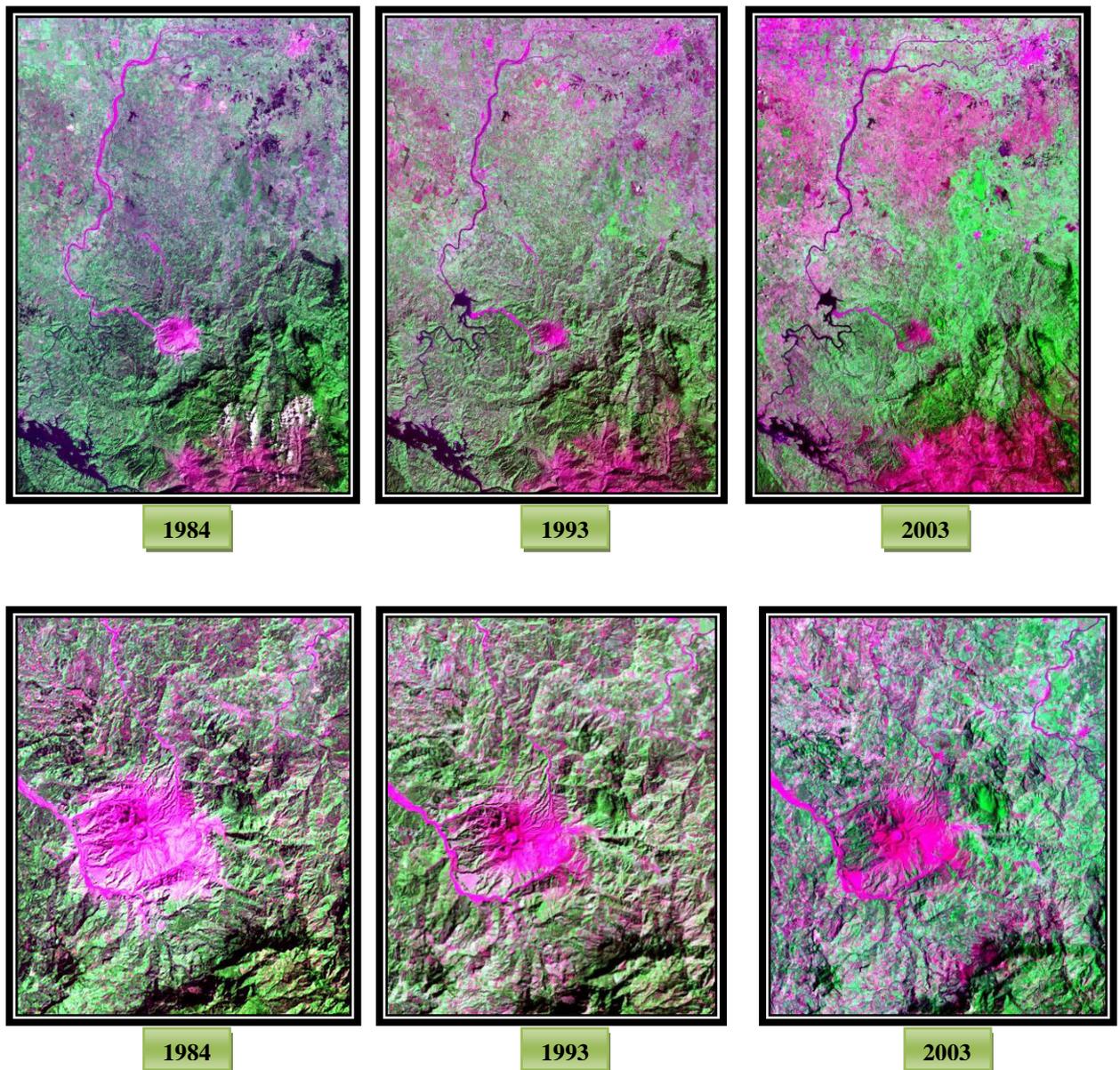


Imagen 2.6. Series con ajuste de histograma.

La técnica de clasificar digitalmente las imágenes de satélite es indispensable para el monitoreo y estimación multitemporal de la cobertura vegetal (García y Mas, 2008). Hoy en día, el monitoreo de la superficie terrestre ha tomado un papel muy importante entre la sociedad y el órgano gubernamental, debido a los avances tecnológicos, monitoreando y mapeando los cambios de cobertura y uso del suelo a escala regional (Alperín *et al.*, 2002), estos cambios propician una mayor vulnerabilidad en los sistemas ambientales.

La técnica de percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG), utilizados por la comunidad académico-científico, son capaces de manejar datos y proporcionar

información de manera ágil y a bajo costo, direccionándose como la principal tecnología en el desarrollo de la geografía moderna (García y Mas, *op. cit.*).

Cada una de las bandas espectrales de las imágenes reciben determinada información de la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre, pudiéndose analizar de forma individual para obtener información sobre los recursos naturales y la evaluación de las actividades antrópicas, por supuesto se enriquece el análisis con la combinación de bandas espectrales afines a los objetivos (Rosete y Bocco, 2003).

En la literatura y en la práctica existen diversos métodos de clasificación, algunos corresponden a secuencias algorítmicas supervisadas, otros tantos a secuencias no supervisadas, algunas otras a patrones estadísticos que conlleva a un agrupamiento definido por el usuario y/o el sistema, pero todos concluyen en la formación de clases de zonas homogéneas de la imagen.

Comúnmente los métodos enfocados a la clasificación se basan en las respuestas espectrales de cada pixel, tales procesos son ejecutados por ordenadores y programas a fines al método. La clasificación automática es de gran ayuda para el investigador en la interpretación de imágenes multiespectrales, con el objeto de reconocer clases o grupos cuyos elementos mantengan ciertas características en común. Las clases deben ser espectralmente diferentes unas de otras, conteniendo información representativa para el investigador (Sacristán, 2006).

Tradicionalmente la clasificación se ha basado en dos métodos generales: uno que corresponde al tipo supervisado y otro no supervisado. En la clasificación supervisada se requiere de un “entrenamiento” en el ordenador donde se le establecen los límites espectrales de cada clase, en base a la selección de píxeles representativos, previo de un conocimiento del terreno u otras fuentes de información (e.g. insumos satelitales de mayor resolución espacial y cartografía). En la clasificación no supervisada se hace uso de procedimientos numéricos, basándose en la estructura de los datos espectrales (*Ibidem*).

Algunos trabajos han demostrado la utilidad de realizar clasificaciones supervisadas por medio de varios algoritmos, uno de ellos, es el más referenciados en trabajos de ésta índole, el clasificador de *máxima verosimilitud* (o *máxima probabilidad*), debido a que es muy sencillo y fácil de interpretar sus resultados. Ejecutando cálculos de varianza, media y covarianza en la

fase de entrenamiento, para después poder asignar los píxeles a las clases determinadas por medio del cálculo de probabilidad de pertenencia (Maselli *et al.*, 1992; citado por García y Mas, 2008).

Otro de los algoritmos utilizados en clasificación supervisada es el *perceptrón multicapa*, basada en redes neurales que pretenden formar correspondencia entre las redes de entrada, que pueden ser las respuestas espectrales de cada banda, y las redes de salida, categorías de mapas temáticos; este algoritmo permite trabajar con cierta tolerancia ante información incompleta e imprecisa (Mas y Flores, 2008); es un modelo estadístico no paramétrico de regresión no lineal (Sarle, 1994; citado por García y Mas, 2008).

El *Sequential maximum a posteriori*, es otro algoritmo de clasificación, este método difiere de clasificar por píxel, considera regiones aledañas que pueden ser probables a pertenecer a cierta clase considerando dos parámetros: la media espectral simple y la covarianza, segmentando la imagen a varias resoluciones (García y Mas, 2008).

Vega *et al.*, (2008) describe el trabajo realizado por clasificación digital y visual en imágenes de satélite ETM+ del año 2000, para la elaboración de cartografía de vegetación y uso del suelo para la zona del Corredor Biológico Chichinautzin. Destacando el uso de puntos de control en base a trabajo de campo y fotografías aéreas.

El uso de cada uno de los métodos anteriores es definido por el autor, en base a los objetivos y limitaciones de cada trabajo, exponiéndose a la crítica constructiva de los resultados obtenidos; pero teniendo la oportunidad de objetar a favor, al experimentar la falta de insumos tecnológicos, en muchos casos, así como la difícil accesibilidad de la adecuada materia prima para su elaboración, entre otras circunstancias.

En la actualidad los trabajos relacionados con percepción remota son de gran valor, experimentando nuevos procesos, en muchos de ellos, a favor de ampliar la gama de oportunidades que ofrece los avances tecnológicos relacionados con la teledetección. El mejor método o algoritmo utilizado en la clasificación de imágenes dependerá del interés del usuario, ayudándole a segregar categorías específicas de acuerdo a sus intereses, objetivos y tiempos de los cuales disponga para su elaboración.

2.5 Software de licencia abierta, el caso de MadCat.

El uso del software libre ha crecido debido a la gran socialización de la información, como consecuencia de la comunicación global llamado *Internet*. La creación de los software libres se fundó bajo la necesidad de no depender de costosas licencias y la oportunidad de contar con una paralela opción computacional. Los principios básicos de operabilidad garantizan la posibilidad de revisar el programa en beneficio de detectar vulnerabilidades y fallos del propio programa, otorgando al usuario una posible autonomía (Escamilla, 2011).

En los tiempos actuales es posible encontrar software libres semejantes a los paquetes comerciales, evitando caer en la compra de costosas licencias y/o herramientas simuladas, que podrían comprometer el desarrollo de la información. Una ventaja más en el uso de software abierto, es la actualización de algoritmos permitiendo nutrir continuamente el proceso. Además de estar al alcance de todo usuario, permitiendo crear proyectos que vayan en pro del avance colectivo e imponiéndose a los monopolios y corporaciones creadores de software del mundo, reduciendo claramente los costos y tiempos de producción (*Ibidem*).

El proceso de segmentación y etiquetado, para este trabajo, se utilizó el software de acceso libre **MadCat 3.3.22** (MApping Device – Change Analysis Tool), que fue descargado de la página electrónica de la *Global Land Cover Network (GLCN)*¹⁵ y que forma parte de GEOvis que es desarrollado por la FAO. Es un software dedicado principalmente a la optimización de la producción de mapas de polígonos basados en vectores. Además de ver en él, una nueva opción de análisis y manejo de la información digital, es visto con la finalidad de probar su potencialidad y como ampliación del panorama de programas disponibles de fácil acceso.

Para que el software haga una correcta información de salida debe haber una adecuada introducción de materia prima en él. Para el caso de MadCat fue necesario introducir en archivos georeferenciados cada banda de las imágenes, con la finalidad de mantener la referencia espacial de la imagen. En un trabajo enfocado para analizar la influencia de diversas técnicas de compresión en procesamiento de imágenes satelitales, por Pérez *et. al.*, 2003; demostraron que los algoritmos de compresión sin pérdida (*lossless*) -donde la información contenida en los ficheros originales se conserva en todo momento, respetando la

¹⁵http://www.glcn.org/sof_0_en.jsp

calidad radiométrica de las mismas, encontrándose los formatos para imágenes TIFF, PNG y GIF- son la mejor elección ante los algoritmos de compresión con pérdida (*lossy*), en cara a una posterior clasificación, no alterando en absoluto los resultados finales de la clasificación.

Previo a la segmentación, se extrajo el *Índice de vegetación de diferencia normalizada* (NDVI, por su siglas en inglés), donde se aplican las reflectividades de cada pixel en las bandas del infrarrojo cercano y del rojo. Para el sensor MSS se habla de las bandas 7 y 5; y para TM y ETM+ las bandas 4 y 3 respectivamente. Teniendo como fórmula la siguiente (Chuvieco, 2008):

$$NDVI = \frac{\rho_{i, IRC} - \rho_{i, R}}{\rho_{i, IRC} + \rho_{i, R}}$$

2.5.1 La clasificación por objeto en MadCat.

Existen trabajos que se enfocan a la clasificación por objeto, donde se estipulan las bases de sus criterios y confirman la valides de sus resultados. Uno de ellos es el trabajo hecho por Perea *et al.*, 2009, donde referencia el análisis de imágenes por objeto para los años 70's y una década después con la aplicación de dicho concepto en un software especializado.

La consideración de clasificación por objeto se basa en la identificación y agrupación de pixeles contiguos que poseen un comportamiento similar, de forma que la variabilidad de esos pixeles es menor a la variabilidad entre los demás objetos aledaños.

Dicho concepto de "clasificación por objeto", ha sido ampliamente utilizado, de diferentes formas (Thunnissen & Wit, 2000; Dean, 2003; Turker & Arikan, 2005; citados por Perea *et al.*, 2009). Una experiencia personal fue ejecutada en el Software **ImageJ** de dominio público, desarrollado por *Java*, que proporciona una extensibilidad vía *plugins*, permitiendo el procesamiento de imágenes digitales en diferentes formatos (TIFF, GIF, BMP, FITS, JPEG, entre otros). Donde se produjo una clasificación de una imagen a partir del número de clases de salida y la interpretación de los valores en los pixeles vecinos. Algunos autores (Darwish *et al.*, 2003; Mitri & Gitas, 2002; Niemeyer & Canty, 2001; citados por Perea *et al.*, 2009) demuestran en sus trabajos la confiabilidad del método, comparándola con la clasificación tradicional.

Con la clasificación por objeto se pretende evitar los errores derivados por píxeles de borde o mixtos, teniendo como consecuencia una inexactitud cartográfica. Dean (2003) realiza un acercamiento del concepto por objeto para la detección de cultivos en parcelas, utilizando información estadística de los píxeles núcleos, es decir, los píxeles que están dentro de las parcelas, evitando los píxeles mixtos o de bordes.

Para la etapa de segmentación se utilizó la herramienta *Segment to Raster* con una previa ordenación de bandas en RGB, con la herramienta *Set RGB Combination*, los parámetros utilizados para la segmentación se basaron en pruebas pioneras realizadas a las imágenes, buscando una adecuada agrupación en la fragmentación presentada por las parcelas de la región.

En la herramienta *Segment to Raster* se procedió a establecer los criterios de segmentación que se basa en: la selección de las bandas a utilizar como archivos raster de entrada, en este caso se aplicaron las mismas bandas que se han venido usando, 3, 4, 2 para TM y ETM+, y para MSS 2, 3, 1; para la extensión de la zona se probaron dos escalas, una zona contextual regional y una local, para cada año trabajado; el factor de suavizado se determinó dejarlo en un criterio estándar; en las dimensiones de los polígonos resultantes se realizaron una variedad de pruebas pioneras dejando como resultando el valor 20, para la creación de polígonos pequeños de gran detalle; en el número mínimo de píxeles por zona se estableció el valor 20, donde solo áreas homogéneas de 20 píxeles o más se agruparan; en el suavizado de los bordes se estableció el valor 0, pues los bordes dentados se perderían a la escala final; y por último, en la superficie mínima del polígono se valoró con 20, teniendo en cuenta la resolución de las escenas.

Para la clasificación de los polígonos se utilizó la herramienta *Unsupervised Cluster of Polygons* de MadCat, la cual utiliza el algoritmo ISODATA, con el fin de obtener una subdivisión automática de los polígonos, procedentes de imágenes multibanda, en un determinado número de clases (Pérez *et al.*, 2003), basándose en el promedio de los valores espectrales de los mismos píxeles formadores de cada polígono.

El algoritmo ISODATA se basa principalmente en las siguientes fases¹⁶:

¹⁶Tomado de Chuvieco (2008).

- a. Se señala una serie de centros de clases, de acuerdo al número y forma indicados por el usuario.
- b. Se asignan todos los píxeles de la imagen al centro de clase más próximo, utilizando el criterio de distancia antes mencionado.
- c. Se calculan de nuevo los centros de clase, teniendo en cuenta los valores de todos los píxeles que se le hayan incorporado en la fase anterior.
- d. Se reordenan los centros de clase en función de los parámetros de control indicados por el usuario (distancia mínima entre grupos, tamaño mínimo de un grupo, varianza máxima de un grupo y número de grupos).
- e. Se vuelven a asignar todos los píxeles de la imagen al centro más cercano, el cual – debido al desplazamiento registrado en (c)– no tiene por qué coincidir con la asignación realizada en (b).
- f. Si el número de píxeles que han cambiado de categoría es inferior al señalado por el usuario se termina el proceso; en caso contrario, se retorna a la fase (c).

Como resultado de estos procesos se obtuvo un shape preliminar, que constaba de cuatro clases. Estas clases se fueron interpretando en términos de densidad de cobertura vegetal conforme a la intensidad espectral de la banda infrarrojo cercano, para la corroboración y etiquetado de cada clase también se basó en Google Earth; además de extraer una quinta clase correspondiente a cuerpos de agua de gran dimensión.

2.6 Pesos de evidencia (WOE), en susceptibilidad de laderas.

Para el mapa de Susceptibilidad de laderas por parcela se basó en un trabajo previo de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Alcántara *et al.*, 20013) hecho para la misma zona, el cual estuvo enmarcado bajo el proyecto “*Observatorio Territorial para la Evaluación de Amenazas y Riesgos*” bajo la tutela de la Dra. Alcántara Ayala Irasema, basado en el método de pesos de evidencia o *Weights of evidence* (WOE).

El método estadístico, es el enfoque bayesiano en forma log-lineal (Spiegelhalter, 1986; citado por Regmi *et al.*, 2010) utilizando dos tipos de pesos: la probabilidad previa (incondicional) y la probabilidad posterior (condicional), dada la ocurrencia de un deslizamiento. El método es aplicable cuando se dispone de suficientes datos para estimar la

importancia relativa de determinados eventos por métodos estadísticos (Bonham-Carter, 1994; citado por Regmi *et al.*, 2010).

La probabilidad previa de un evento, es determinada por los mismos tipos de eventos que ocurrieron en el pasado, por un período de tiempo determinado. Por ejemplo, la probabilidad de que ocurra un deslizamiento en el futuro en una unidad de área (o píxeles) puede ser estimado sobre la base de la frecuencia de la tierra que se movió en el pasado en una determinada unidad de área (o pixel). Esto se puede determinar tomando la relación entre el área o el número total de píxeles donde se presentan los deslizamientos y el número total de los píxeles en el área de estudio (Regmi *et al.*, 2010).

La probabilidad previa se puede modificar mediante otras fuentes de información o pruebas, de esta manera la probabilidad previa se puede actualizar sucesivamente con la incorporación de nuevas experiencias, generando la probabilidad posterior (condicional). Por ejemplo, si un deslizamiento que causa el factor "F" existe (Imagen 2.7), la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en base a este factor podría cambiar. Entonces, la favorabilidad para predecir los deslizamientos, dada la presencia del factor de pruebas, puede ser expresada por la probabilidad condicional (Bonham-Carter, 2002; citado por Regmi *et al.*, 2010):

El cálculo de probabilidades se consigue de relacionar la probabilidad de que ocurra o no, de un deslizamiento, basado en un logaritmo natural de probabilidades. Obteniendo un peso positivo (**W+**) que es un peso de evidente presencia, y un peso negativo (**W-**) indicando la ausencia de los factores. Con la resta de ambos pesos se logra obtener el peso final para cada factor, basados en la cantidad de deslizamientos presentes en la zona de estudio (Regmi *op. cit.*; Galindo, 2013) .

2.6.1 El uso de la parcelación como insumo adicional para la creación del mapa de Susceptibilidad de laderas por parcelas.

La cartografía ha dado un giro considerable, en un inicio su aplicación era con fines muy restringidos de origen militar, utilizados para la localización, límites territoriales y terrestres, entre otros; ahora con el avance de la tecnología su uso es más diversos, existen diversos tipos de cartografías, que reflejan temas sociales, económicos y físicos, además de temas mixtos.

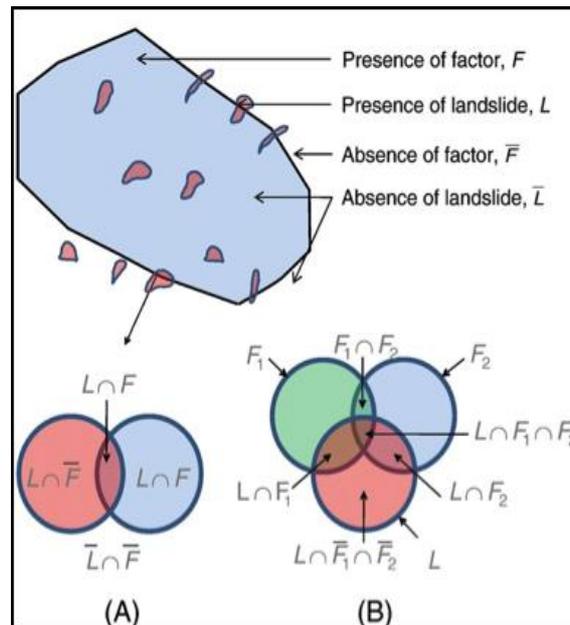


Imagen 2.7. Relación entre el deslizamiento y los factores, utilizando WOE. (A) Ilustra la presencia y ausencia de un factor en relación con un deslizamiento. (B) Diagrama que muestra la relación de un deslizamiento con dos factores, F1 y F2. Tomado de Regmi *et al.*, 2010.

La cartografía geoambiental o geocientífica es la integración y superposición de diversos mapas analíticos y temáticos con fines de lograr la creación de un mapa producto, resultado de objetivos y criterios específicos (García Abad, 2002). La cartografía geocientífica representa el mejor método para el estudio del medio ambiente, siendo aplicable en problemas del tipo de planificación y ordenamiento territorial (Uboldi, 2006).

García Abad, 2002; refiere que la cartografía se ha ido diversificando, por su propia evolución lógica, provenientes de progresos científico-tecnológicos de la civilización. Con el paso del tiempo, se llevó a la concepción de mapas más sofisticados y complejos de interpretar. Distinguiéndose dos ramas principales, los confeccionados por las Ciencias Naturales y los procedentes de las Ciencias Naturales.

En el capítulo anterior se propuso aportar la herramienta novedosa para la *cartografía social*, a continuación propongo explicar a detalle de donde surge la idea: nace a partir de entender que los cambios de uso del suelo, y con ello la cobertura vegetal, es a partir de la interacción que mantiene la sociedad con el medio ambiente, siendo estos primeros los creadores y conocedores de nuevas formas de expresión del ambiente. De esta hipótesis surge la idea de

replantear la forma tradicional de expresar cartográficamente los riesgos, siendo normalmente diseñados con enfoques muy técnicos, que en ocasiones dificulta la divulgación y entendimiento entre la sociedad.

Dependiendo de los criterios iniciales así como de los insumos, y muy claramente en virtud del método utilizado en el proceso, es que se tendrá la forma resultante del mapa final. Sin el afán de menospreciar cualquier método empleado en la producción de mapas temáticos y en especial, en cartografía resultante de la rama de la geomorfología aplicada, sino al contrario, siempre a favor de los métodos de esta ciencia que han demostrado una correcta aplicación del método científico. Pero que en ocasiones su diseño es muy poco digerible para la sociedad, carente de conocimientos de interpretación cartográfica.

La combinación de sobreponer diferentes mapas temáticos para la obtención de un mapa que represente un riesgo tal, resulta ser muy útil para abordar el análisis del riesgo (Uboldi *et al.*, 2006), y es precisamente lo que se intenta practicar en este trabajo. La sobreposición de mapas temáticos en la búsqueda de un mapa representativo del riesgo, con una representación lógica y práctica, en base a la parcelación del terreno, producto de sus diversos usos.

Las unidades territoriales o parcelamiento pueden ser consideradas como un espacio temporal ya sea abierto o complejo, viendo su origen en la dupla naturaleza-sociedad, y caracterizadas por el intercambio de energía y materia. La estructura, el funcionamiento y la evolución de éstas son el reflejo del dinamismo entre los elementos naturales, económicos y sociales (Bollo y Hernández, 2008).

Con la delimitación por medio de sistemas se puede analizar, comparar, calcular y evaluar la potencialidad de los recursos naturales de un determinado territorio (Salinas *et. al.*, 1999), con el beneficio a futuro de utilizarlo en las bases de un ordenamiento territorial.

El concepto de segmentar las imágenes satelitales en parcelas se debe al razonamiento de agrupar la imagen en "objetos grandes", en este caso, la identificación parcial de usos del suelo "parcelas", bajo los valores de reflectancia de cada pixel en la agrupación. La segmentación es producto de la interacción de los valores de cada pixel en MadCat.

2.7 La construcción del índice de vulnerabilidad socioeconómico a nivel local.

Citando a Liverman (1994b) los cambios en la vulnerabilidad de individuos y regiones son la clave para comprender cómo los riesgos afectan a la sociedad. En este trabajo se construyó un índice de vulnerabilidad socioeconómica, teniendo como principal función representar las diversas debilidades de la sociedad de forma puntual. Considerando que en un mapa donde se representa el factor riesgo, es de suma importancia la consideración de la vulnerabilidad. Es por ello que se dio a la tarea de recolectar información censal, a nivel localidad, de todos los grupos poblaciones.

La información censal fue extraída del **XII Censo General de Población y Vivienda 2000** y del **Censo de Población y Vivienda 2010**, ambas a nivel de principales resultados por localidad (ITER) de la página del INEGI.

Después de fundamentar la importancia de la vulnerabilidad en trabajos de riesgo (Capítulo 1), se propuso definir cuales serían las variables sociales y económicas que de manera indirecta o directa pudieran incidir en la conformación del índice de vulnerabilidad.

Para ello se establecieron cuatro rubros importantes: el económico, el social, la conectividad y la física. En cada uno de ellos se aclaró el tipo de indicador que sería referente de su tipo, en la tabla 2.4 se aprecia el tipo de variable y sus indicadores seleccionados.

Cada uno de los indicadores es justificable en la labor de la vulnerabilidad, a decir de Wilches-Chaux (1993), la vulnerabilidad es global, al representarse de diferentes formas, la falta de un capital económico en un grupo social (familia) debilita las acciones de pronta respuesta ante una amenaza; los infantes y las personas de la tercera edad, por su propia naturaleza son dependientes de las acciones de terceras personas. El analfabetismo es un factor que podría actuar en contra en acciones de planeación.

También, la comunicación juega un papel de gran importancia antes, durante y después de algún riesgo, dependiendo de la accesibilidad, la comunicación se puede lograr por medio de televisoras locales, vía radio o prensa. En un mundo cada vez más global, el internet y la comunicación telefónica también tienen roles importantes.

Tabla 2.4 Variables para construir el índice de vulnerabilidad socioeconómico en la región del Volcán Chichón.	
<i>Tipo</i>	<i>Indicador</i>
Económica.	Población económicamente activa.
Social.	Población total.
	Población infancia.
	Población vejez.
	Escolaridad (15 y más analfabeta).
	Población no derechohabiente.
Conectividad.	Comunicaciones (radio, tv, teléfono).
Física.	Material de vivienda.
	Servicios públicos (drenaje, energía eléctrica, agua).

En los aspectos físicos, el diseño y acabo de materiales, para una vivienda, es de gran consideración, pues una obra ingenieril resistirá más o será menos vulnerable a una choza ante una amenaza hidrometeorológica o sísmica, por poner un ejemplo. En este rubro, los servicios con los que cuenta la vivienda o el grupo de viviendas será reflejo de aspectos vulnerables de la sociedad. Por ejemplo, si una determinada localidad no cuenta con el servicio de energía eléctrica, la comunicación se restringirá para dicha localidad. Por otra parte, en la misma localidad, si se cuenta con un eficiente servicio de agua potable, este asegurara un subministro de agua en cualquier circunstancia de amenaza.

Justificado lo anterior, se reconoce que existen diversidad de variables ante la elaboración de un índice de vulnerabilidad, bien se podría introducir algunas variables de distancias focales al riesgos, variables relacionadas a cuestiones políticas y/o religiosas, otra más podría estar relacionada a la calidad en las vías de comunicación. Una variable más, y muy relacionada a la cartografía resultante de la segmentación, podría ser la tasa de deforestación o cambio de uso del suelo, para cuestiones de deslizamientos.

En fin, las variables son muy amplias, si de contemplar se trata, solo que en mucho de los casos, la información no está al alcance de las posibilidades o se dificulta la compilación de ella, o simplemente sale de contexto para el personal que lo está elaborando.

Aquí se pretende dar un índice, más que general, global y homogéneo, es decir, que en ambos índices tuvieran las mismas variables o que al menos reflejaran la misma información, para

toda la zona de estudio, al contemplar dos fechas a nivel de detalle localidad, y que fueran congruentes ambos índices en la selección de sus variables. Es por eso que denominamos “socioeconómico” al índice, por reflejar, derivar o depender de cuestiones tanto sociales como económicas.

El proceso de elaboración se basó en el método estadístico denominado *componentes principales*. El cual es ampliamente utilizado en una diversidad de trabajos desde temas médicos (Almenara *et al.*, 2002), como trabajos en facies granulométricas en estuarios (Pino y Mulsow, 2010) e incluso en estudios relacionados a vientos superficiales en bahías (Reyes y Pares, 1983), entre otros.

El análisis de componentes principales es la técnica utilizada para reducir o sintetizar las dimensionalidades de una serie de datos, perdiendo la menor cantidad de información posible (Terrádez, 2000; Chuvieco, 2008). Sirve para ordenar un conjunto de datos por importancia, hallando las causas de su variabilidad, teniendo como resultado una mejor representación de los datos en mínimos cuadrados.

El método consiste en la descomposición lineal, de un conjunto de datos, que en general se determinan en N series, arreglados en forma matricial, de tal forma los N componentes resultantes del estudio sean independientes entre sí, cumpliendo términos de varianza (Reyes y Pares, 1983). Los cálculos del índice resulto en 82 localidades para el año 2000 y 73 para el 2010, se produjeron en el software **SPSS**.

Los valores de vulnerabilidad que arrojó el cálculo, oscilaron entre -2.3 a 21.8 para el año 2000; y para 2010 entre -2.8 a 32.3. Posterior a esto, se preparó a dividir los valores en cuatro clases, previo a la extracción de los valores extremos, para achicar mejor la división de clases, por el método Natural Breaks. Arrojando los valores de la tabla 2.5.

Tablas de datos ponderados por componentes principales en SPSS Analyze-Data Reduction Factor.

ComponentMatrixa 2000.		
Mnemónico de INEGI.	Component	
	1	2
PECOACTIV	.977	-.197
POBTOT	.991	-.116
POB0_4	.990	.024
P15_ANALF	.942	.210
PSDERSS	.988	-.049
VP_CBIENE	.841	-.464
VP_PARDES	.620	.583
VP_TECDES	.689	.618
VP_AGDREL	.947	-.278

ComponentMatrixa 2010.	
Mnemónico de INEGI.	Component
	1
PEA	.989
POBTOT	.998
POB0_14	.979
POB65_MAS	.994
P15YM_AN	.916
PSINDER	.976
VPH_RADIO	.971
VPH_TV	.981
VPH_TELEF	.917
VPH_PISOTI	.627
VPH_C_SERV	.985

Rango de Vulnerabilidad.	Localidades, 2000.	%	Localidades, 2010.	%
Muy alta	51	62.20	47	64.38
Alta	20	24.39	16	21.92
Baja	8	9.76	8	10.96
Muy baja	3	3.66	2	2.74
Total	82	100	73	100

Bibliografía del Capítulo 2 Metodología.

Aguirre-Gómez, R., (coordinador) (2009). *Conceptos de Geomática y estudios de casos en México*. Geografía para el siglo XXI, serie libros de investigación, núm. 5. Instituto de Geografía, UNAM. 365 p.

Alcántara A. I., Garnica P. R. y Hernández M. G. (2013). *Susceptibilidad a procesos de remoción en masa, en La región del volcán Chichón, Chiapas: un espacio potencial para su protección, conservación y desarrollo sustentable*. Alcántara A. I., Garnica P. R., Coll-Hurtado A. y Ramos H. S. (Coordinadores) Universidad Nacional Autónoma de México.

Almenara B. J., García O. C., González C. J., Abellán H. M. (2002). *Creación de índices de gestión hospitalaria mediante análisis de componentes principales*. Salud Pública de México 44.6: 533-540.

Alperín M. I., Borges V. G., Sarandón R. (2002). *Caracterización espacial de los tipos de cobertura de suelo usando técnicas geoestadísticas a partir de información satelital*. Revista de la Facultad de Agronomía, UNLP, Argentina, 105 (1). Pp. 40-51.

Arcia-Rodríguez, M., (editor) (1994). *La Geografía del Medio Ambiente: Una Alternativa del Ordenamiento Ecológico*. Colección Ciencia y técnica # 24, UAEM. 289 p.

Berlanga, C.A. y Ruiz A. (2007). *Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle del Sistema Lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo. Vol. 23, núm. 001. Pp. 29-46.

Bollo Manent, M. y J. R. Hernández Santana (2008). *Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México*. Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 66, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-24.

Brizuela, A.B., Aguirre, C. A., Velasco, I. (2007). *Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal*. Teledetección: Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Ed. Martin. Buenos Aires, Argentina.

Chander, G., B. Markham. (2003). *Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post calibration Dynamic Ranges*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.41: 2674 - 2678.

Chander, G., Markham, B., Helder, D. (2009). *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors*. Remote Sensing of Environment 113.

Chuvieco, E., (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones Rialp, S.A. Madrid. Pp. 249-253.

Chuvieco, E. (1998). *El factor temporal en Teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios*. Revista de Teledetección. Núm. 10. Pp. 39-48.

Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia. Barcelona.

Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia. 3ª edición actualizada. Barcelona, pp. 595.

Chuvieco, E., Salas, J., Meza E. y Vargas, F. (2002). *Empleo de la Teledetección en el análisis de la deforestación tropical: El caso de la reserva forestal de Ticoporo (Venezuela)*. Serie Geográfica. Tecnologías geográficas para el desarrollo: Experiencias de aplicación en América Latina. Núm. 10, pp. 55-76.

Dean A. M. (2003). *An evaluation of per-parcel land cover mapping using maximum likelihood class probabilities*. Int. J. Rem. Sens. 24: 2905-2920.

Escamilla M. J. M. (2011). *Manual introductorio a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de código abierto. Con aplicación a dinámicas biológicas espaciales*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México. pp. 170.

Galindo, S. J. A. (2013). *Susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la red carretera de la Sierra Nororiental, Puebla*. Tesis para obtener el Título de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 138.

García Abad A. J. (2002). *Cartografía Ambiental. Desarrollo y propuestas de sistematización*. Observatorio medioambiental, Vol. 5, pp. 47-78.

García M. T., Mas J. F. (2008). *Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 67, pp. 7-19.

Gómez G., Rojas, O., (2009). *Estudio de cambio de uso de suelo como insumo al ordenamiento territorial de la Zona V Norte petrolera del estado de Chiapas*, en *Conceptos de Geomática y estudios de casos en México*. Aguirre R., Geografía para el siglo XXI, serie libros de investigación, núm. 5. Instituto de Geografía, UNAM. 365 p.

Liverman, Diana M. (1994b). *Vulnerability to global environmental change*. Capítulo 26. Pp. 326-342, en Cutter, S. (Ed). *Environmental risks and hazard*. Prentice Hall, Old Tappan, Nueva Jersey.

Mas, J. F., Flores J. J. (2008). *The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data*. International Journal of Remote Sensing. Vol. 29, No. 3, pp. 61-663.

Moizo, M. P. (2004). *La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje*. GeoFocus, Artículos. No. 4. Pp. 1-24.

Perea A. J., Meroño J. E., Aguilera M. J. (2009). *Clasificación orientada a objetos en fotografías aéreas digitales para la discriminación de usos del suelo*. Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América. 34.9. pp. 612-616.

Pérez C., Aguilera D. G., Muñoz A. L. (2003). *Estudio de viabilidad del uso de imágenes comprimidas en procesos de clasificación*. Teledetección y Desarrollo Regional. X Congreso de Teledetección. Cáceres, España. Pp. 309-312.

Pino Q, M, y Mulsow F. S. (2010). *Distribución de facies granulométricas en el estuario del río queule, IX región: un análisis de componentes principales*. Revista Geológica de Chile. No. 18, pp. 77-85.

Regmi, Netra R., John R. Giardino, y John D. Vitek. (2010). *Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA*. *Geomorphology* 115. Pp. 172-187.

Reyes, S., y Pares A. (1983). *Análisis de componentes principales de los vientos superficiales sobre la bahía de todos santos*. *Geofísica Internacional* Vol. 22.2, pp. 179-203.

Rosete, F. A. y Bocco, G. (2003). *Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales*. *Gaceta Ecológica*. INE-SEMARNAT, No. 68, Pp. 43-54.

Sacristán, R. F. (2006). *La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental*. *Revistas científica de la Sociedad Española de Acuicultura, AquaTIC*. No. 24. Pp. 13-41.

Salinas, Chávez, E. *et al.* (1999). *Ordenamiento Ecológico Territorial del estado de Hidalgo, México*. Gobierno del Estado y Consejo Estatal de Ecología, México.

Terrádez G. M. (2000). *Análisis de componentes principales*. Proyecto e-Math Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD). Disponible en: http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf consultado en enero, 2014.

Uboldi, J.A., Casado, A. L., Palermo, L., (2006). *La cartografía geocientífica empleada en la evaluación de riesgos naturales*. Congreso “elagrimensor.net”, Córdoba. Rep. Argentina.

Vega, G. A., López, G. J., Manzo, D. L. (2008). *Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM+ con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México*. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. Núm. 67, pp. 59-75.

Wilches-Chaux, G., (1993). *La Vulnerabilidad Global*, en *Los Desastres no son Naturales*. Andrew Maskrey (Comp.). LA RED.

CAPÍTULO 3.

En este último capítulo se presentan los resultados del trabajo, mostrando la cartografía resultante de MadCat, la Densidad de Cobertura Vegetal para los tres años trabajados. También se muestran los resultados tabulados del método estadístico de WOE, así como un el mapa final de éste con el insumo de Densidad de Cobertura Vegetal y su parcelado. También se exhibe la cartografía contextual regional.

RESULTADOS.

En el presente trabajo se llegaron a los resultados que se explican en las secciones subsecuentes:

1) La elaboración de una serie multitemporal cartográfica de densidad de cobertura vegetal en la región del Volcán Chichonal, así como en una escala más chica, abarcando la parte media-baja de la cuenca del río Grijalva.

2) Un índice de vulnerabilidad socioeconómica para la zona de estudio a nivel localidad para los años 2000 y 2010.

3) Se exploró la potencialidad del software abierto *MadCat*, así como una exploración inicial del programa *ImageJ*, obteniendo de ellos, primordialmente del primero, la producción cartográfica de densidad de vegetación.

4) Complementario a esta tesis, la incorporación del mapa de usos de suelo a un algoritmo de susceptibilidad a deslizamientos. Teniendo como principal función la interpretación mejorada del riesgo por los habitantes de la región.

La experiencia recolectada en la elaboración del trabajo apporto diversas enseñanzas del manejo de archivos al ser migrados a otros programas.

5) Elaboración de manuales (tutoriales) encaminados a la parte didáctica de la geografía, que fueron reflejo de los procesos seguidos en este trabajo, intentando dejar un referente didáctico para la utilización de los software abiertos.

3.1 Las unidades territoriales o parcelamiento para la creación del mapa de Densidad de Cobertura Vegetal, región Volcán Chichonal.

En el actual apartado, así como en el 3.3, se presenta la creación de los mapas de *Densidad de Vegetación* para la zona de estudio y una zona de contexto regional para los años previamente trabajados, 1984-1993-2003; se trabajó a escala 1:60 000. El mapa de densidad de vegetación se realizó para varias fechas para un análisis temporal y valorativo del espacio cambiado, y sirvió para el producto de susceptibilidad de laderas por parcelas.

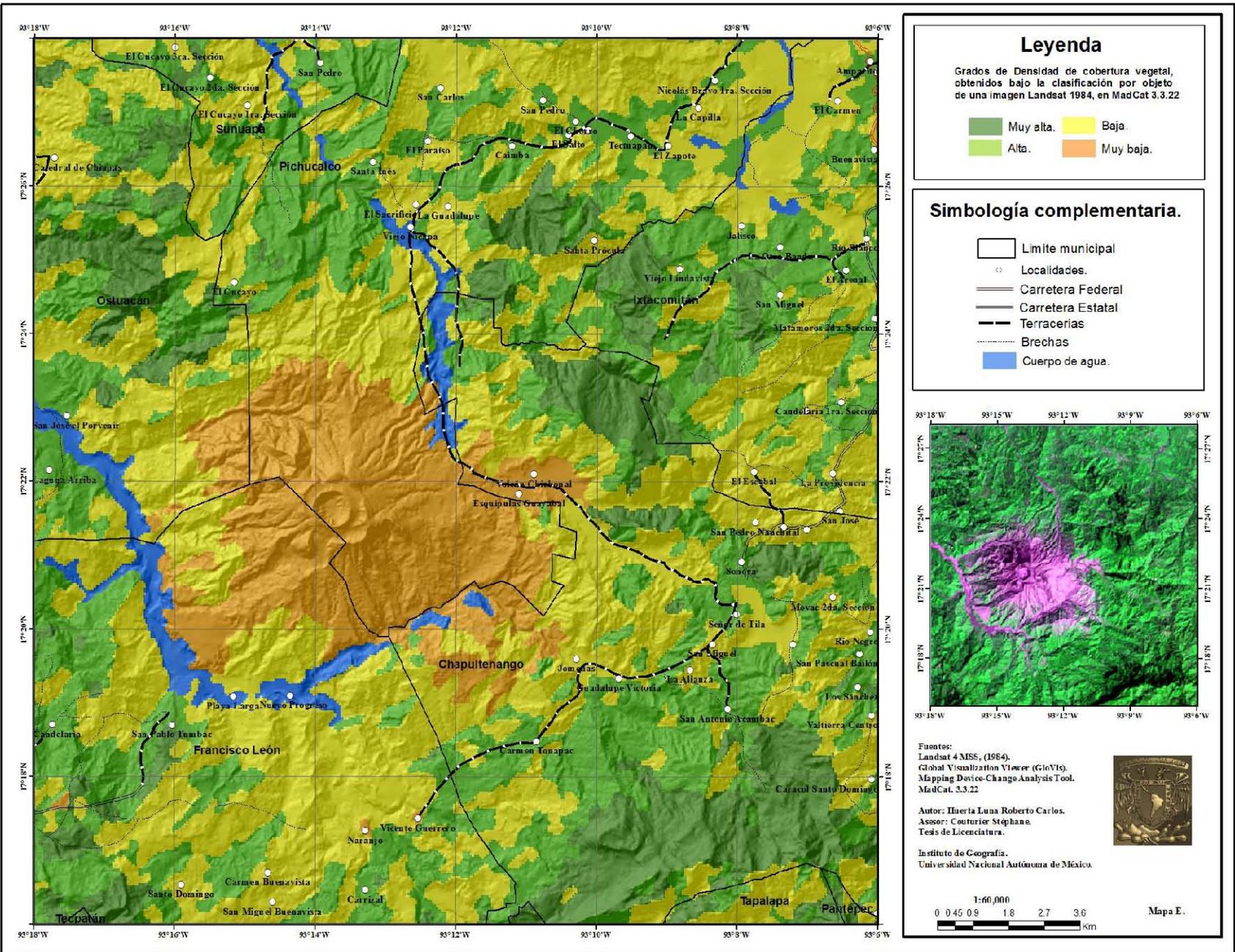
Ambas series de mapas (Mapas E, F, G, J, K y L) fueron creados en procesos independientes para cada mapa, es decir, la escala grande no es extracción de la escala chica. Y se representa de forma parcelaria, por ser la razón principal de este trabajo.

Por consideraciones de resolución espacial, para las imágenes del año 1984, los píxeles tienen un lado de 60m, es por eso la generalización en los mapas de estas fechas. Se realizó una interpretación de las clases de densidad de vegetación en términos de uso del suelo, sustentada en visitas a campo de sitios ubicados en las imágenes de satélite:

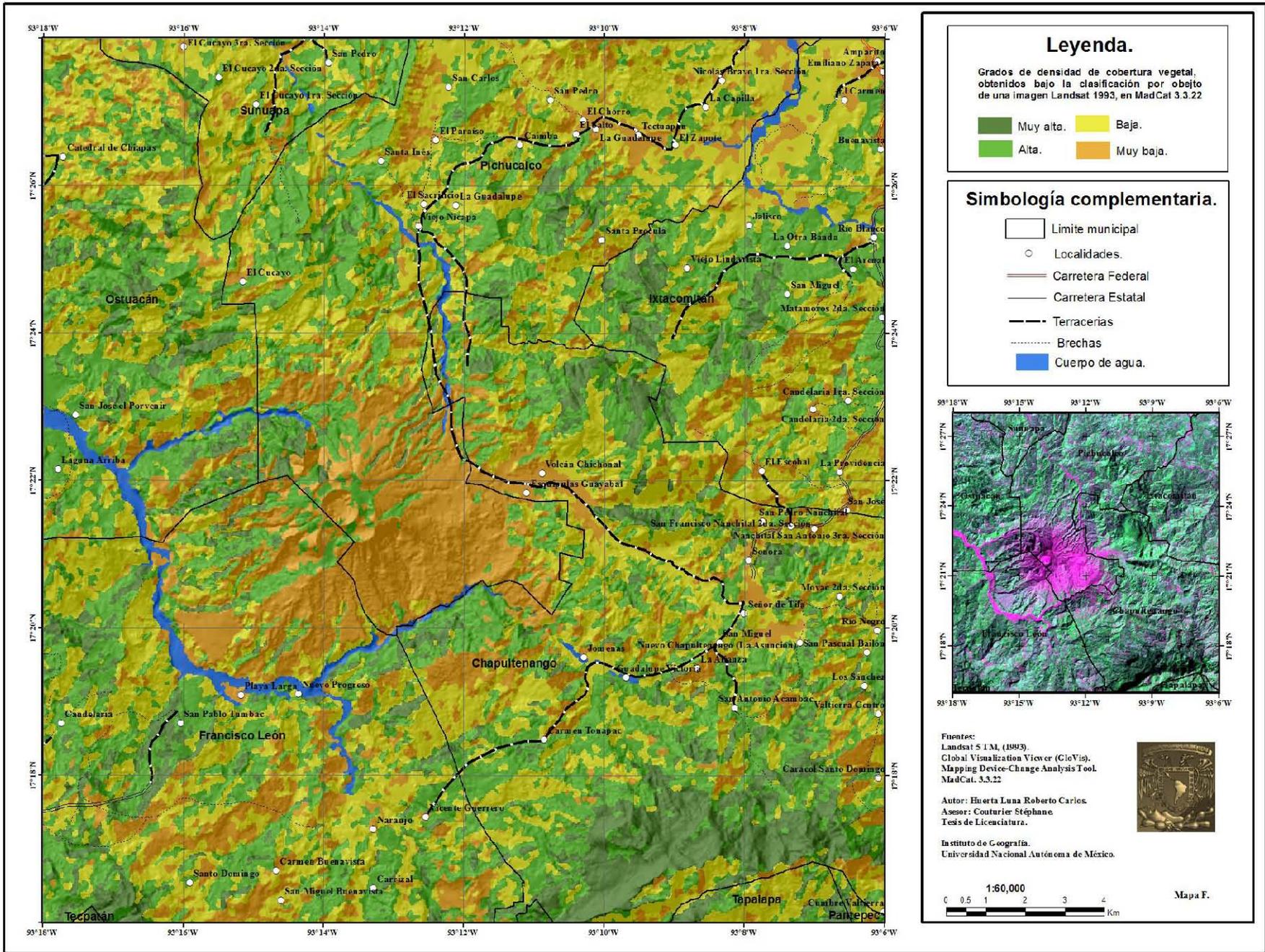
La densidad de vegetación “muy baja” corresponde a zonas de cárcavas, suelo desnudo y pastizal natural en las faldas y caldera del volcán Chichón, y a zonas de inicio de cultivos agrícolas. Las densidades de vegetación “baja” y “alta” tienden a corresponder a zonas de pastizal inducido para actividades ganaderas en una gama de condiciones de verdor, y remanentes de acahual (vegetación arbustiva y arbórea secundaria). Se puso en evidencia la dominancia de la actividad ganadera en el paisaje de la región Volcán Chichonal. La densidad “muy alta” corresponde a zonas boscosas y están generalmente confinadas a terrenos de elevada pendiente. Existen remanentes de las plantaciones de cacao que anteriormente ocupaban una gran extensión en la región. Mapas E, F, y G.

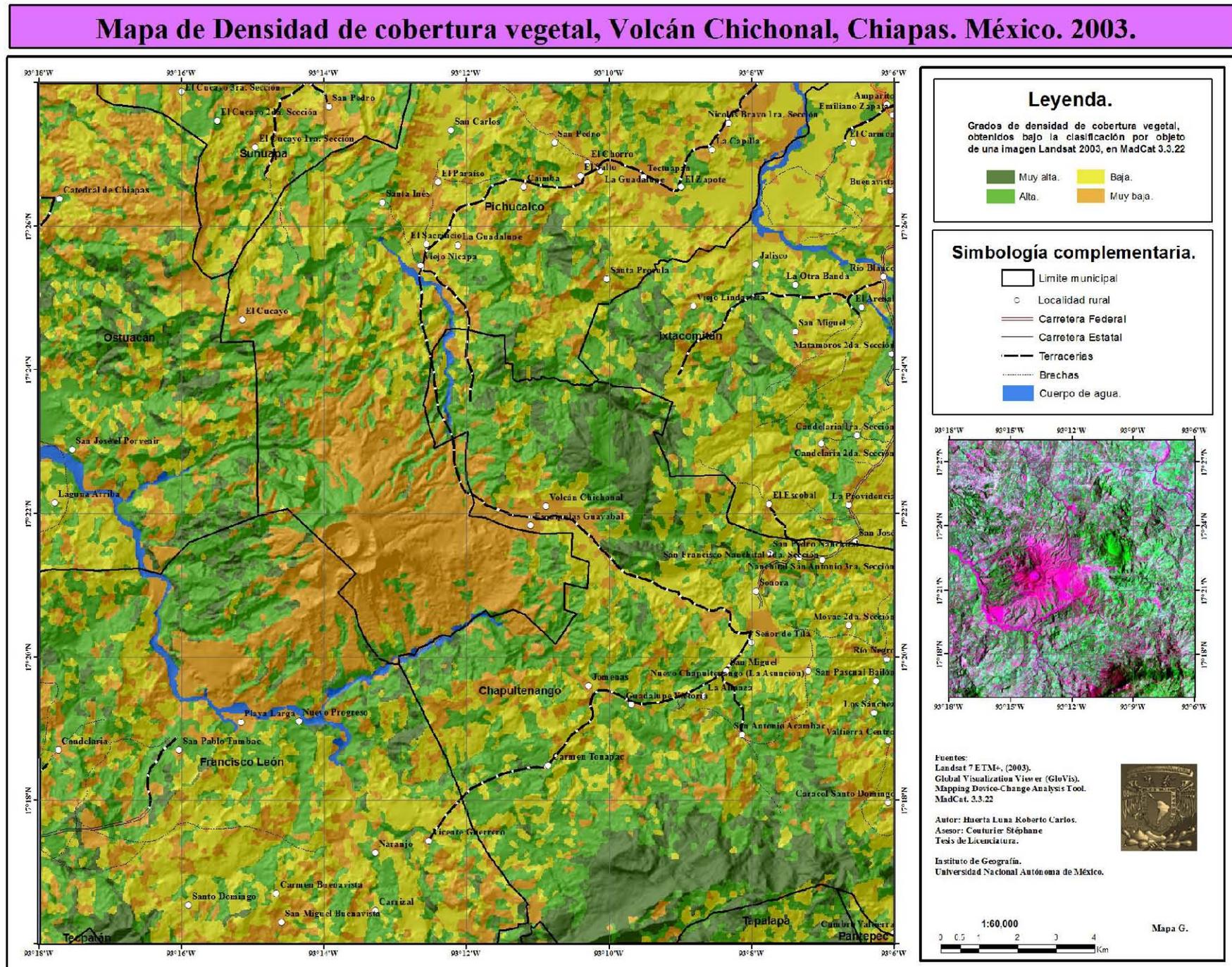
En las tablas siguientes se observa la evolución en cifras valorativas que reflejan los posibles cambios territoriales. Que no manifiesta cambios bruscos, si se considera las dimensiones totales del lugar, entre los años.

Mapa de Densidad de cobertura de vegetación, Volcán Chichónal. Chiapas. México. 1984.



Mapa de Densidad de cobertura vegetal, Volcán Chichonal, Chiapas. México. 1993.



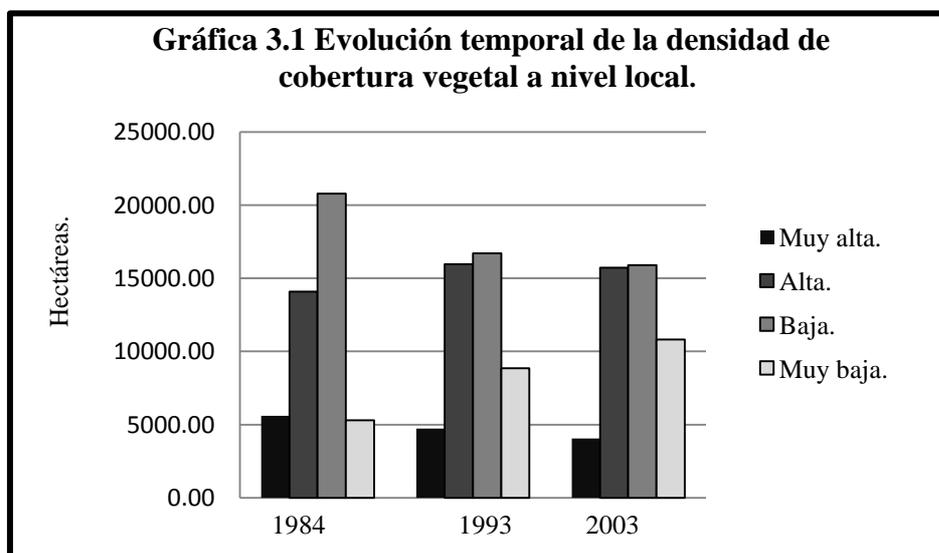


Se observa (tabla 3.1) un considerable aumento de superficie de densidad de cobertura vegetal "muy baja" en la serie de tiempo. Así como una disminución en "baja", por lo que se puede interpretar como un cambio de uso del suelo en la región. Esto refleja probablemente un aumento en la susceptibilidad de laderas.

También se observa una sencilla forma de valorar la secuencia multitemporal de imágenes satelitales de la misma región, se observa la evolución del número de polígonos, su cobertura espacial y se puede hacer un análisis visual de la fragmentación, entendiéndose como una diversidad espacial al parcelarse el espacio original (Chuvienco *et al.*, 2002).

En términos visuales, los mapas locales de los años 1993 y 2003 se ven más fragmentados que el año 1984 debido en parte a una resolución más alta de las imágenes en 1993 y 2003, un cambio de uso del suelo en las inmediaciones del volcán, como forma de obtener mejores ingresos, al cambiar parcelas de alta densidad a baja, de vegetación arbustiva y secundaria a pastizales.

Tabla 3.1 Grados de densidad de cobertura vegetal local .	Año 1984.		Año 1993.		Año 2003.	
	Número de parcelas identificadas/Superficie en hectáreas.					
Muy alta.	234	5611.00	1796	4721.42	1488	4049.69
Alta.	641	14093.82	5487	15965.11	5390	15735.72
Baja.	901	20782.96	5680	16720.29	5490	15908.69
Muy baja.	208	5296.98	3265	8859.45	3890	10821.68



En la zona contextual regional, se observa ligeros cambios de uso del suelo. Sin embargo, se aprecia que la interacción temporal de los usos del suelo son fuertemente dinámicos en la región, es decir, existen cambios en la densidad de cobertura vegetal pero se observa una cierta constante en la dinámica temporal. En los mapas se puede apreciar zonas muy fragmentadas que provienen o tenderán a formar parcelas más homogéneas.

3.2 Susceptibilidad de laderas por parcelas y la vulnerabilidad de la población.

Se incorporó la capa de Densidad de Cobertura Vegetal al algoritmo utilizado en Alcántara *et. al.*, 2013 (bajo el consentimiento de los autores), excepto su capa de uso del suelo efectuado bajo otro método de clasificación, e introduciendo en su lugar la capa de *Densidad de Cobertura Vegetal* de la región del volcán Chichón. Arrojanado un archivo raster aceptable en la identificación de susceptibilidad a deslizamientos.

Subsecuentemente se procedió a sobreponer la capa de segmentación o parcelamiento, previamente procesado en MadCat, y se promediaron los valores de *susceptibilidad* por polígono, para poder proporcionar la característica de susceptibilidad por segmento. De esta manera se obtuvo el mapa de Susceptibilidad de laderas por segmento en las inmediaciones del Volcán Chichonal. Ver el Mapa H. La tabla 3.2 muestran los cálculos resumidos para los pesos finales de cada factor utilizado para la susceptibilidad de laderas por parcela.

Ahora bien, bajo la premisa de que *amenaza + vulnerabilidad = riesgo*. Entendemos que la susceptibilidad es representante de la probabilidad de que algún fenómeno signifique un cambio en el medio físico, es decir, es la amenaza de algún PRM en el medio. Por lo tanto, para una representación del riesgo de PRM en la zona de estudio hace falta el factor vulnerabilidad.

Sustentado en el marco teórico se sabe que la vulnerabilidad se remite por completo al ámbito social; pero debido a cuestiones metodológicas y prácticas, se tiene la restricción de representarse de forma puntual, es decir, a nivel localidad. Por lo tanto se hace uso del índice de vulnerabilidad socioeconómico a nivel localidad construido en el apartado 2.7, para la sobreposición de dicha información en el archivo vectorial (parcelas) resultante.

Tabla 3.2 Proceso para la determinación del peso final en cada variable utilizado.						
Variable.	Clases.	Pix_clase ³³¹⁷	Pix_PRM ³⁴¹⁸	%_Clase ³⁵¹⁹	%_PRM ³⁶²⁰	W+ - W- ³⁷²¹
Densidad de disección.	1 - Muy baja	47657	0.000001	4.050	0.000	-18.766
	2 - Baja	333432	349	28.335	10.465	-1.222
	3 - Media	460122	1283	39.101	38.471	-0.028
	4 - Alta	253628	1215	21.553	36.432	0.736
	5 - Muy alta	81902	488	6.960	14.633	0.832
			1176741	3335	100	100
Distancia ríos.	0 - 100	715520	2595	60.805	77.811	0.812
	100 - 200	323647	684	27.504	20.510	-0.387
	200 - 300	106469	56	9.048	1.679	-1.765
	300 - 400	24794	0.000001	2.107	0.000	-18.092
	>400	6311	0.000001	0.536	0.000	-16.708
			1176741	3335	100	100
Orientación de laderas.	N	181142	462	15.394	13.853	-0.124
	NE	167570	268	14.240	8.036	-0.644
	E	128683	258	10.936	7.736	-0.383
	SE	122479	378	10.408	11.334	0.096
	SE	121779	435	10.349	13.043	0.262
	SW	132820	349	11.287	10.465	-0.085
	W	140222	452	11.916	13.553	0.147
	NW	182046	733	15.470	21.979	0.432
			1176741	3335	100	100
Pendiente.	0 - 3	63669	31	5.411	0.930	-1.810
	3--6	81008	80	6.884	2.399	-1.103
	6--12	207027	365	17.593	10.945	-0.554
	12--24	542403	1616	46.094	48.456	0.092
	24--45	277327	1215	23.567	36.432	0.621
	>45	5307	28	0.451	0.840	0.628
			1176741	3335		
Altitud.	0-200	98602	54	8.379	1.619	-1.718
	200-350	132575	452	11.266	13.553	0.211
	350-500	261022	1012	22.182	30.345	0.424
	500-650	320277	1227	27.217	36.792	0.442
	650-800	204192	577	17.352	17.301	-0.004
	800-950	75949	13	6.454	0.390	-2.873
	950-1100	35022	0.000001	2.976	0.000	-18.446

¹⁷ Es el número de pixeles totales de cada clase.

¹⁸ Es el número de pixeles de procesos de remoción en masa en cada clase.

¹⁹ Es el porcentaje que representa cada clase en el espacio total.

²⁰ Es el porcentaje de determinada clase de procesos de remoción en masa.

²¹ Es el peso final de cada clase para cada factor a partir de la resta de ambos pesos (W+; W-).

	1100-1250	13754	0.000001	1.169	0.000	-17.493
	1250-1400	14165	0.000001	1.204	0.000	-17.523
	>1400	21183	0.000001	1.800	0.000	-17.931
		1176741	3335			
Curvatura de laderas.	Cóncavo	634155	2017	53.891	60.480	0.267
	Convexo	542564	1318	46.107	39.520	-0.272
	Plano	22	0.000001	0.002	0.000	-11.043
		1176741	3335			
Uso de suelo.	Agua	14866	164	1.263	4.918	1.405
	Población	12792	0.000001	1.087	0.000	-17.420
	Vegetación galería	70507	601	5.992	18.021	1.244
	Selva	221017	451	18.782	13.523	-0.393
	Pastizal	80985	734	6.882	22.009	1.346
	Cultivo temporal	773540	1380	65.736	41.379	-1.006
	No data	3034	5	0.258	0.150	-0.544
	1176741	3335				
Geología.	Arenisca lutita	309995	502	26.344	15.052	-0.705
	Brecha andesítica-andesita	195150	1652	16.584	49.535	1.602
	Brecha andesítica-dacítica	42471	15	3.609	0.450	-2.117
	Caliza	59174	160	5.029	4.798	-0.050
	Caliza - arenisca	52894	0.000001	4.495	0.000	-18.874
	Caliza - dolomía	24564	0.000001	2.087	0.000	-18.083
	Caliza - lutita	50302	42	4.275	1.259	-1.255
	Limolita - arenisca	235130	599	19.981	17.961	-0.133
	Lutita - arenisca	205302	365	17.447	10.945	-0.544
	No data	1759	0.000001	0.149	0.000	-15.426
	1176741	3335				
Edafología.	Acrisol	553922	977	47.073	29.295	-0.767
	Andosol	26609	263	2.261	7.886	1.315
	Cambisol	394399	2078	33.516	62.309	1.189
	Gleysol	13832	0.000001	1.175	0.000	-17.499
	Litosol	186872	17	15.880	0.510	-3.610
	No data	1107	0.000001	0.094	0.000	-14.963
		1176741	3335			
Densidad de cobertura vegetal.^{38 22}	1 - Alta	106480	156	9.057	4.678	-0.709
	2 - Media	389953	1053	33.170	31.574	-0.074
	3 - Baja	398100	525	33.863	15.742	-1.011
	4 - Muy baja	281101	1601	23.911	48.006	1.080
		1175634	3335	100	100	
Distancia caminos.	0 - 100	81516	92	6.927	2.759	-0.966

²²Esta variable se introdujo al algoritmo de **WOE** a lugar de la variable del uso de suelo.

	100 - 500	250079	309	21.252	9.265	-0.974
	500 - 1000	225753	289	19.185	8.666	-0.919
	1000 - 2000	296315	569	25.181	17.061	-0.494
	>2000	323078	2076	27.455	62.249	1.474
		1176741	3335	100	100	

Como se reviso en el apartado 2.7 se consultaron nueve indicadores correspondientes a cuatro tipos de información, que fueron considerados para la construcción de dicho índice. Los valores de vulnerabilidad para el año 2010 de cada localidad fueron georeferenciados y sobrepuestos para el mapa H.

Resultando en la representación de la susceptibilidad por medio de parcelas, espacialmente, y jerarquizados en cinco niveles por medio de tonalidades frías para una susceptibilidad muy baja, y ascendiendo a tonos cálidos para rangos de muy alta susceptibilidad.

Para la vulnerabilidad se tiene ubicada cada localidad basado en cuatro rangos, la cual nos ayuda en una primera aproximación en la interpretación del mapa. Y aludiendo a la comunicación del riesgo, hace un poco más práctico el análisis de la información, en aquellas personas de poca formación geográfica.

Por un lado, se tiene la representación de la susceptibilidad o amenaza de forma parcelaria, la cual nos proporciona información del tipo amenaza por PRM en la región, y por el otro lado se tiene un indicador de vulnerabilidad, que ambas nos ayudaran a entender el nivel de riesgo a la que está expuesta la población.

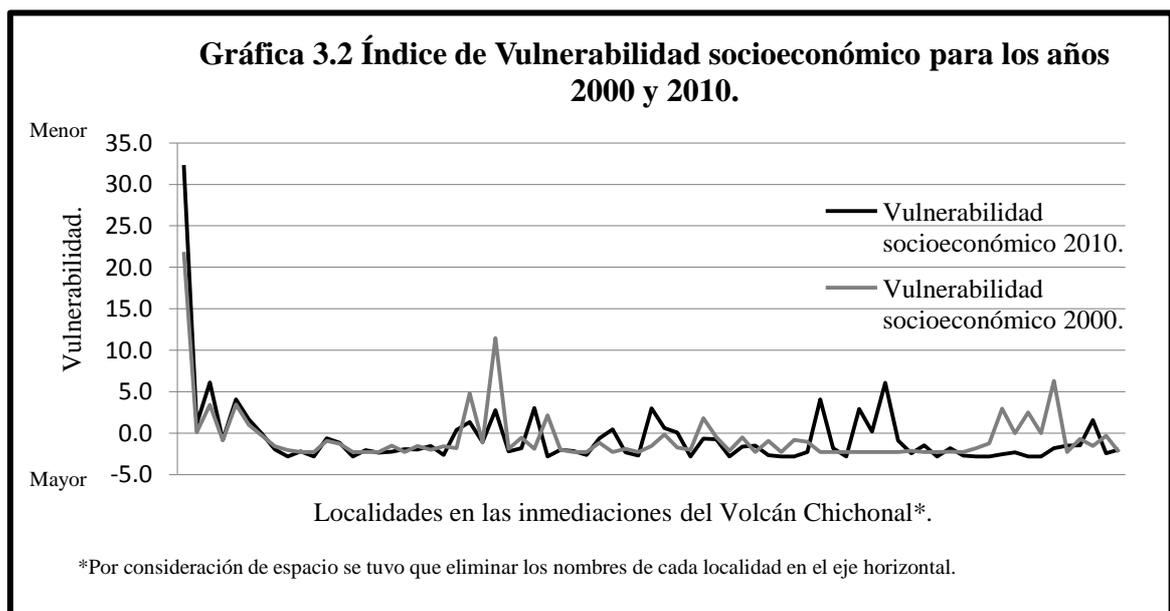
En la gráfica se puede ver el comportamiento general de la vulnerabilidad en la zona de estudio para los años 2000 y 2010. Donde los valores positivos representan una muy baja vulnerabilidad, es decir, son menos propensas a sufrir, de algún modo, las acciones de cualquier amenaza; y los valores negativos reflejan una muy alta vulnerabilidad, por lo que hace a las localidades muy factibles de sufrir los cambios producidos por las amenazas que se presenten en la región.

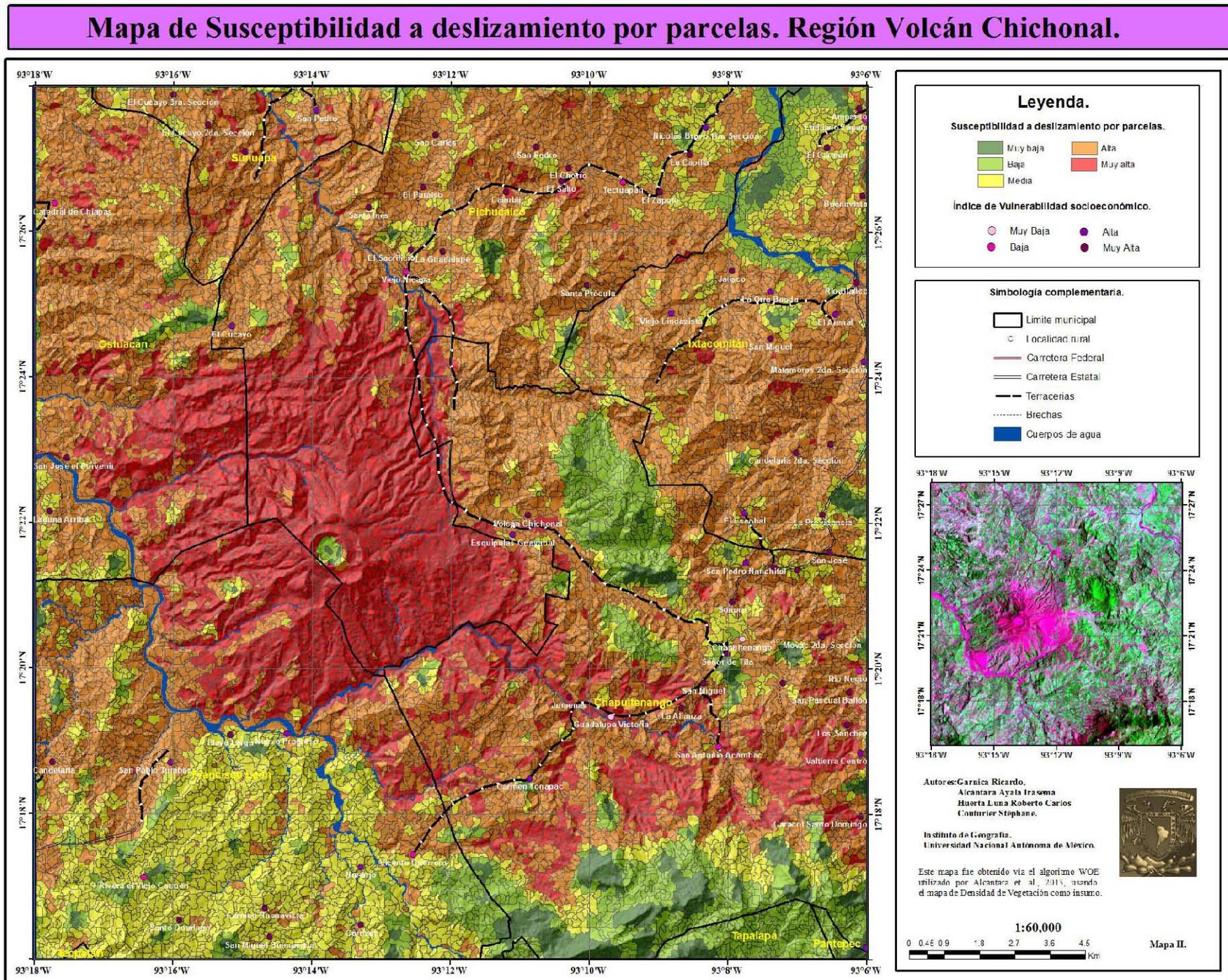
De algún modo práctico el indicador representa las fortalezas y debilidades de cada localidad frente a alguna amenaza. Es decir, refleja las cualidades y oportunidades que tiene cada grupo

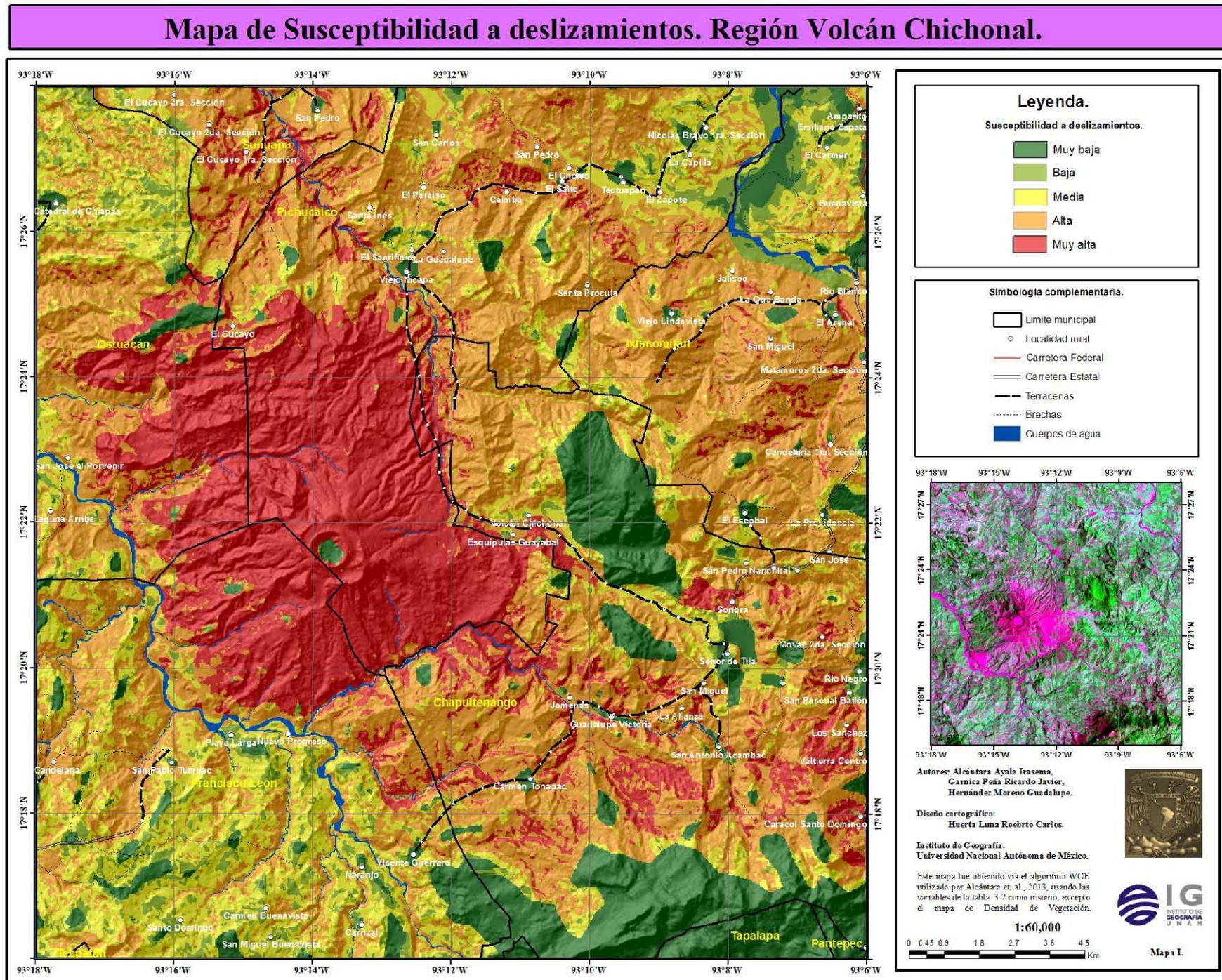
social para afrontar las amenazas. Una vulnerabilidad alta refleja las carencias y debilidades de los grupos sociales ante las amenazas. Por consideración de espacio se tuvo que eliminar los nombres de cada localidad en el eje horizontal.

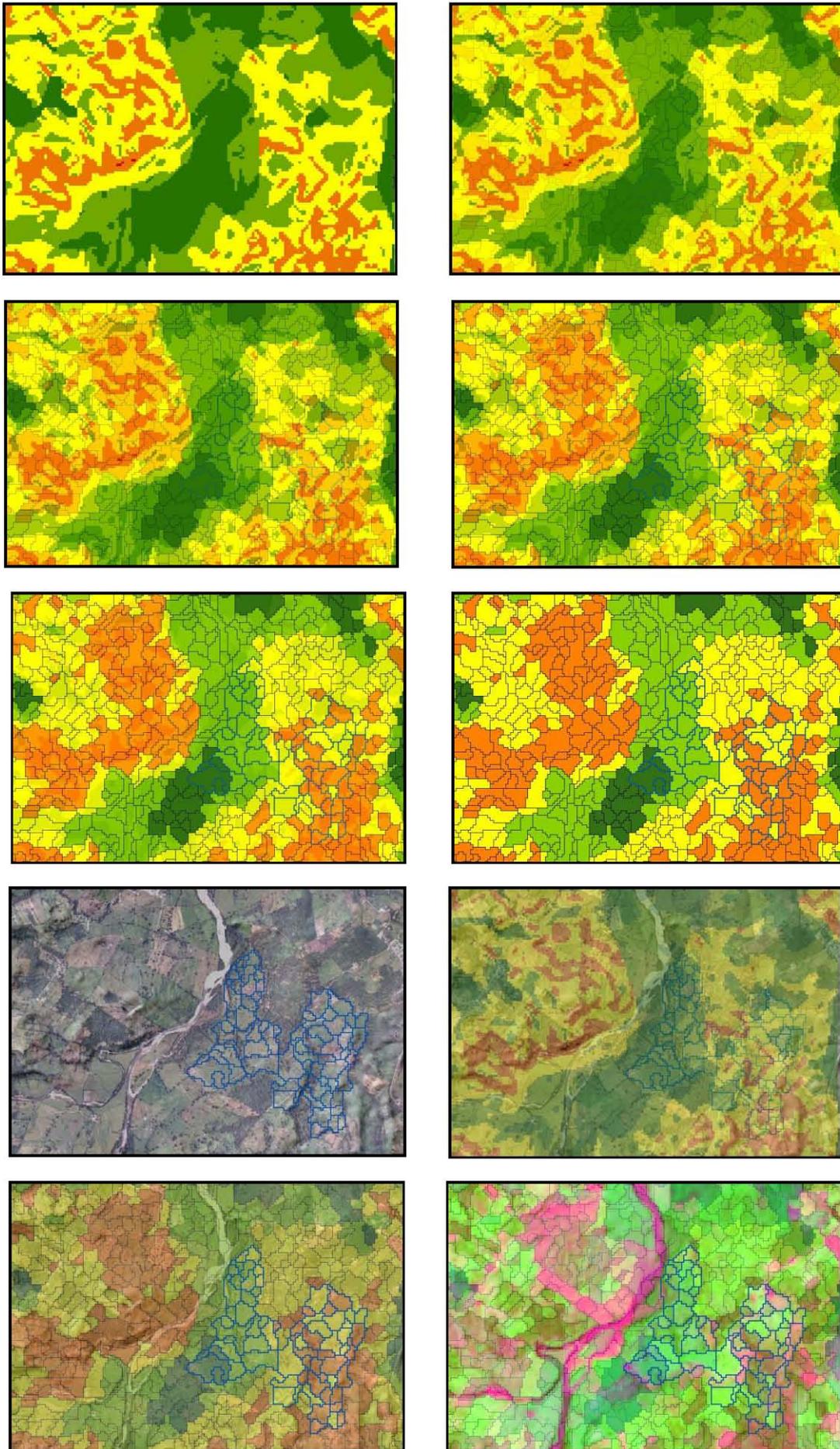
FID	NOM_MUN	NOM_LOC	X	Y	PEA	POBTOT	POBO_14	POB65_MA	P15YM_A	PSINDER	VPH_RADIO	VPH_TV	VPH_TELEF	VPH_PISO	VPH_C_SERV	INDICE_2010	Vulnerabilidad
2	0	Chapultenango	-93.129722	17.340000	936	3129	1026	191	307	390	353	541	77	96	639	32.319442	Muy Baja
3	1	Chapultenango	-93.180833	17.308056	94	313	112	19	37	87	39	36	0	18	64	1.125971	Alta
4	2	Chapultenango	-93.161389	17.322222	163	554	205	43	61	103	62	48	1	79	103	6.129321	Muy Baja
5	3	Chapultenango	-93.128889	17.357500	41	159	71	5	29	28	13	12	0	13	18	-0.813278	Alta
6	4	Chapultenango	-93.101667	17.332778	176	684	274	27	77	150	48	57	0	28	80	4.070908	Baja
7	5	Chapultenango	-93.135556	17.315278	102	410	143	26	48	12	44	51	0	22	73	1.656537	Baja
8	6	Chapultenango	-93.101389	17.313889	62	198	71	11	27	52	12	20	0	22	18	-0.037006	Alta
9	7	Chapultenango	-93.181389	17.368333	13	39	10	3	11	39	0	0	0	8	0	-1.955994	Muy Alta
10	8	Chapultenango	-93.139167	17.330000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.821059	Muy Alta
11	9	Chapultenango	-93.120000	17.330000	12	32	7	5	8	0	0	0	0	7	0	-2.198565	Muy Alta
12	10	Chapultenango	-93.132222	17.348611	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.806890	Muy Alta
13	11	Chapultenango	-93.100000	17.269167	32	134	68	3	15	79	14	5	0	20	0	-0.639645	Alta
14	12	Chapultenango	-93.101389	17.299444	32	110	40	3	16	39	9	13	0	14	14	-1.154487	Muy Alta
15	13	Chapultenango	-93.144444	17.324167	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.806890	Muy Alta
16	14	Chapultenango	-93.104722	17.320278	19	73	28	2	5	14	5	4	0	6	6	-2.037575	Muy Alta
17	15	Chapultenango	-93.110556	17.340556	3	19	7	1	10	6	3	2	0	4	2	-2.369343	Muy Alta
18	16	Chapultenango	-93.122222	17.356389	13	45	23	2	11	2	5	4	0	3	4	-2.244508	Muy Alta
19	17	Chapultenango	-93.116667	17.355833	23	84	34	5	14	0	9	11	0	3	12	-1.931827	Muy Alta
20	18	Chapultenango	-93.104167	17.327778	22	67	19	7	10	6	9	7	0	4	9	-1.978566	Muy Alta
21	19	Chapultenango	-93.171389	17.326667	19	72	27	2	4	26	11	7	0	14	8	-1.552675	Muy Alta
22	20	Chapultenango	-93.133333	17.336667	1	8	4	1	1	0	1	0	0	3	0	-2.613470	Muy Alta
23	21	Chapultenango	-93.185000	17.363889	41	107	37	4	43	107	0	0	0	37	0	0.369018	Alta
24	22	Francisco Leñ	-93.221389	17.287778	138	510	209	11	68	10	46	77	0	2	90	1.351537	Alta
25	23	Francisco Leñ	-93.267222	17.311667	56	183	88	5	31	28	13	22	0	2	21	-1.097656	Alta
26	24	Francisco Leñ	-93.208889	17.290556	157	678	282	33	58	75	38	79	1	6	108	2.773516	Baja
27	25	Francisco Leñ	-93.265000	17.275556	19	56	15	1	11	18	8	8	1	1	3	-2.215569	Muy Alta
28	26	Francisco Leñ	-93.221389	17.274444	31	94	28	5	8	21	11	20	0	2	23	-1.819588	Muy Alta
29	27	Francisco Leñ	-93.273611	17.285278	169	663	289	26	80	50	68	100	1	4	103	3.038446	Baja
30	28	Francisco Leñ	-93.244444	17.278333	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.818697	Muy Alta
31	29	Francisco Leñ	-93.295556	17.311667	28	94	37	5	13	8	6	12	1	0	13	-1.992393	Muy Alta
32	30	Francisco Leñ	-93.243333	17.271667	19	75	26	2	14	11	6	11	0	0	12	-2.159233	Muy Alta
33	31	Francisco Leñ	-93.252778	17.318056	8	18	9	0	1	0	2	2	0	1	3	-2.642007	Muy Alta
34	32	Francisco Leñ	-93.239167	17.318333	47	105	34	3	9	0	0	0	0	35	0	-0.623310	Alta
35	33	Ixtacomitlñ	-93.107500	17.414444	110	378	120	18	31	68	36	53	1	2	65	0.458239	Alta

Tabla 3.3 de Excel para la producción del indicador socioeconómico.









Secuencia de sobreposición del mapa de Susceptibilidad a deslizamientos por parcela con el mapa de Susceptibilidad a deslizamientos convencional sin clasificación por objeto.

Posterior al mapa se presenta un enfoque visual de análisis de la porción noreste con ayuda de una ortofoto del año 2010 y la imagen Landsat trabajada, existe una diferencia de fechas de ambas capas, pero es el material disponible para el lugar.

En el ámbito de la comunicación del riesgo, la forma de representar la amenaza por medio de la segmentación se podría adecuar al intercambio de información entre los especialistas y los pobladores como ocupantes del espacio.

Una primera conclusión de cara a esta comparación visual sugiere que el uso adecuado de la densidad de vegetación para incluirlo en los factores relacionados con la susceptibilidad a deslizamientos es de gran ayuda para la toma de decisiones, complementándose con las tradicionales categorías de uso de la tierra.

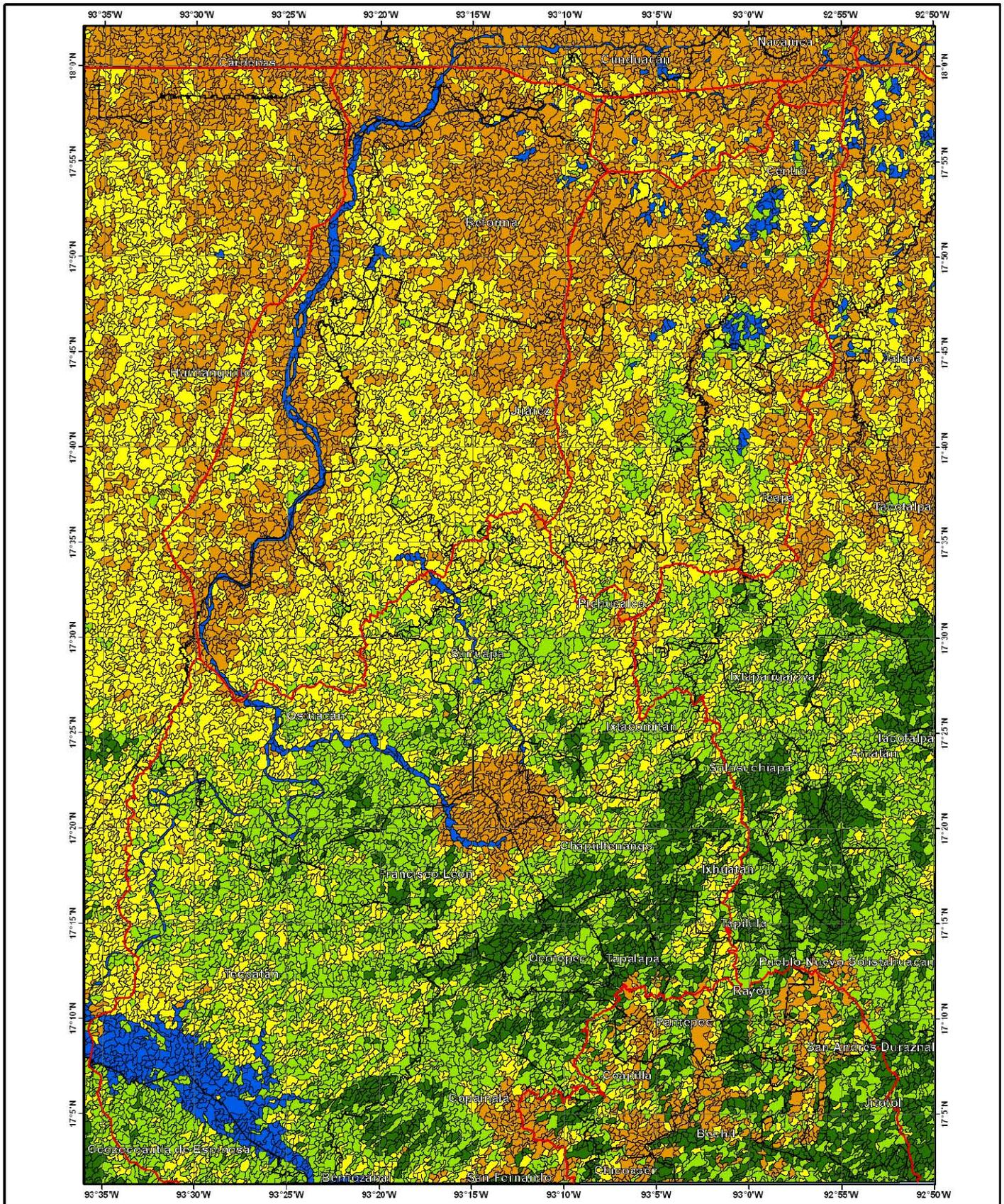
Este resultado no pretende ser la solución práctica comparado con la cartografía tradicional del riesgo, se anota que la resolución espacial limita la caracterización de los deslizamientos a escala fina además del continuo cambio parcelario en la región, lo que podría ser mejorado con la segmentación de imágenes de más alta resolución. No obstante, en este caso, las técnicas de segmentación por clasificación visual siguen siendo las más adecuadas.

3.3 Representación del contexto regional a través de la Densidad de Cobertura Vegetal.

Para esto se hace uso de la representación de la densidad de cobertura vegetal en la región, y su parcelación a nivel regional. Esto con motivo de lograr obtener una idea clara de la situación del uso del suelo a nivel regional, y teniendo como forma de representación cartográficamente la parcelación del territorio en la región.

Se presentan los mapas de Densidad de Cobertura Vegetal en una zona contextual regional (mediana) para los tres años previamente trabajados, se pueden utilizar para presentar una perspectiva más amplia de la dinámica espacio-temporal de la vegetación y su rol de importancia para la región, contemplando la parte media-baja de la cuenca del río Grijalva; con base en la gráfica 3.3 se observa un paisaje estacionario con dominante de agricultura de humedad y pastizal enfocado principalmente para la ganadería, los cambios de territorios ocupados por cada clase se pueden consultar en la tabla 3.5.

Mapa de Densidad de cobertura vegetal derivado de Landsat MSS, 1984, en la Zona Contextual.



Grados de Densidad de Vegetación obtenidos por el algoritmo Isodata. MadCat 3.3.22.

 Muy alta	 Baja	 Cuerpo de agua
 Alta	 Muy baja	 Limite municipal.
 Carreteras principales.		

5 2.5 0 5 10 15 km **1:250,000**



Fuentes:
Landsat 4 TM, (1984), Global Visualization Viewer (GloVis),
Mapping Device-Change Analysis Tool.
MadCat. 3.3.22

Autor: Huerta Luna Roberto Carlos.
Asesor: Couturier Stéphane.
Tesis de Licenciatura.

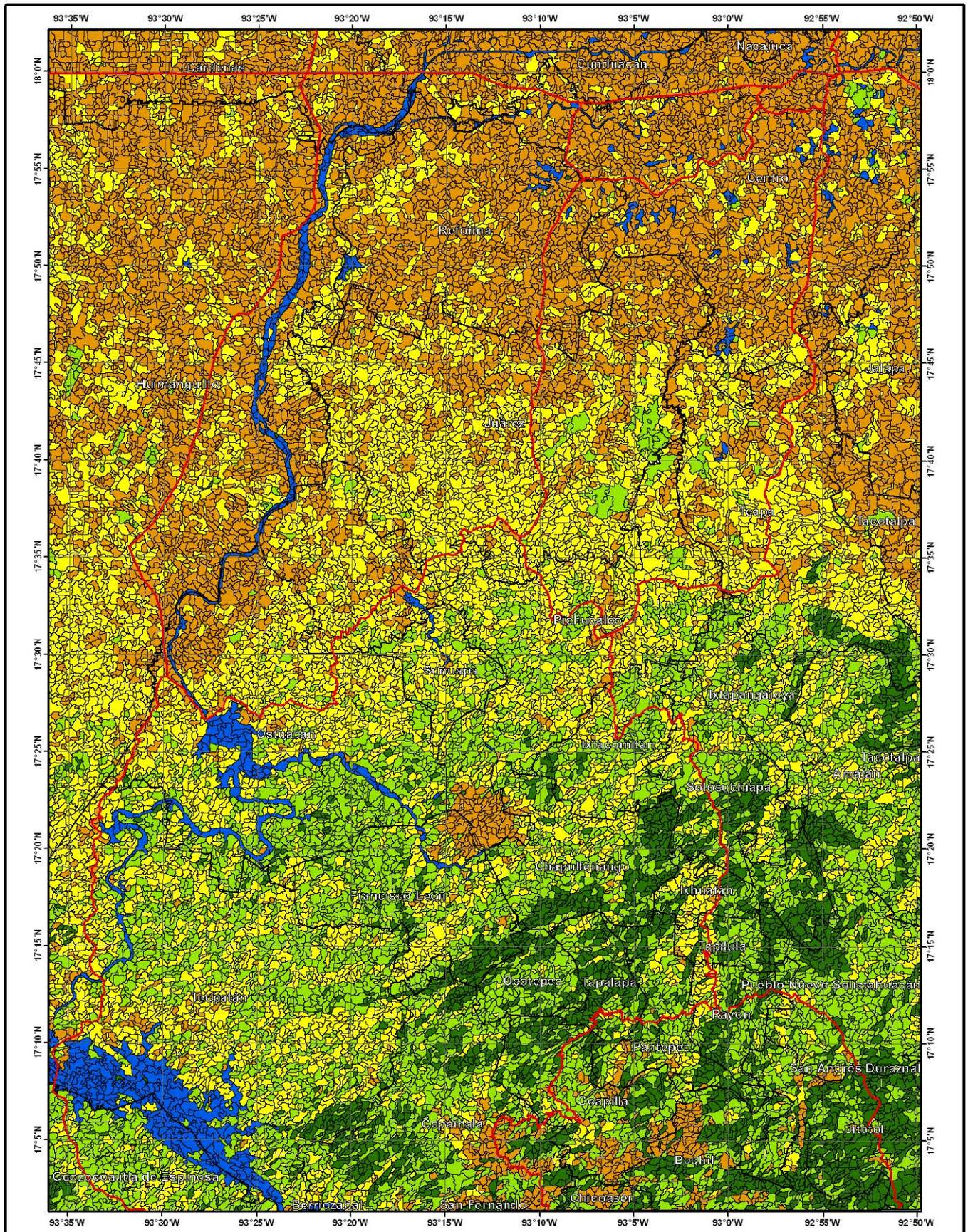
Instituto de Geografía,
Universidad Nacional Autónoma de México.



Mapa J.



Mapa de Densidad de cobertura vegetal derivado de Landsat TM, 1993, en la Zona Contextual.



Grados de Densidad de Vegetación obtenidos por el algoritmo Isodata. MadCat 3.3.22

- Muy alta
- Baja
- Cuerpo de agua
- Alta
- Muy baja
- Limite municipal.
- Carreteras principales.

5 2.5 0 5 10 15 Km 1:250,000



Fuentes:
Landsat 5 TM (1993). Global Visualization Viewer (GloVis).
Mapping Device-Change Analysis Tool. MadCat. 3.3.22

Autor: Huerta Luna Roberto Carlos.
Asesor: Couturier Stéphane.
Tesis de Licenciatura.

Instituto de Geografía.
Universidad Nacional Autónoma de México.



Mapa K.



Según una interpretación visual en base a capas relacionadas a la vegetación derivadas de CONABIO e INEGI-CONABIO²³, se puede inferir que la densidad de vegetación plasmados en los mapas anteriores reflejan satisfactoriamente las áreas de los distintos tipos de vegetación de acuerdo a la tabla 3.4.

Gradientes de vegetación.	INEGI-CONABIO²⁴	Gradientes de vegetación.	CONABIO²⁵
Muy alta.	Selva alta perennifolia.	Muy alta.	Selva alta perennifolia y subperennifolia.
	Bosque mesofilo de montaña.		Bosque de encino.
	Bosque de pino.		Bosque de pino.
	Bosque de encino.		Bosque mesofilo de montaña.
Alta.	Pastizal cultivado.	Alta.	Manejo agrícola, pecuario y forestal.
	Selva baja perennifolia.		Selva baja perennifolia, subperennifolia y espinosa.
	Selva alta perennifolia.		Selva alta perennifolia y subperennifolia.
Baja.	Pastizal cultivado.	Baja.	Manejo agrícola, pecuario y forestal.
	Agricultura de temporal.		Popal y tular.
	Selva mediana subperennifolia.		Selva mediana perennifolia y subperennifolia.
	Area sin vegetación aparente.		Manejo agrícola, pecuario y forestal.
Muy baja.	Pastizal cultivado.	Muy baja.	Sabana.
	Agricultura de temporal.		Selva baja caducifolia y subcaducifolia.
	Sabana.		
	Selva baja caducifolia.		
	Area sin vegetación aparente.		

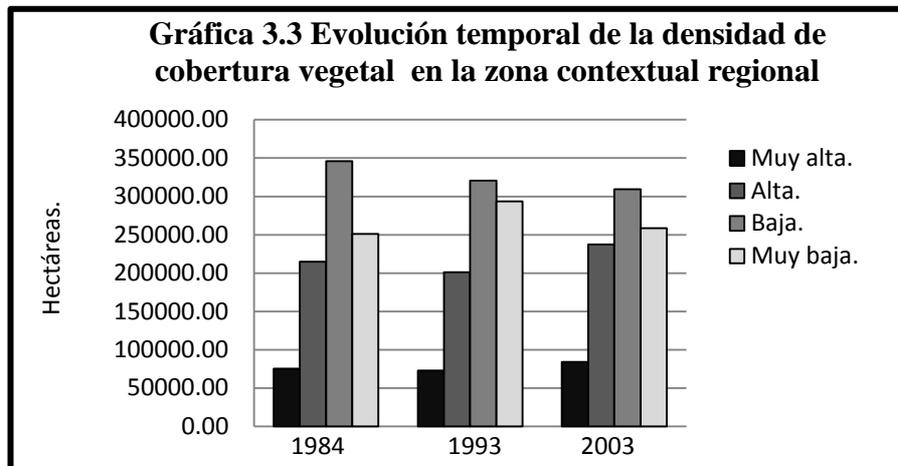
En la tabla 3.5 y gráfica 3.3 se muestra el comportamiento de la densidad de cobertura vegetal en la zona contextual regional.

²³Dichas capas corresponden a *shapefile* descargados del Portal de Geoinformación, Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> consultado en Septiembre de 2013.

²⁴CONABIO. 1998. Uso de suelo y vegetación de INEGI agrupado por CONABIO, escala 1:1 000 000.

²⁵CONABIO. 1999. Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO, escala 1:1 000 000.

Tabla 3.5 Grados de densidad de cobertura vegetal en la zona contextual regional.	Año 1984.		Año 1993.		Año 2003.	
	Número de parcelas identificadas/Superficie en hectáreas.					
Muy alta.	2132	75434.75	2090	72953.22	2397	84432.96
Alta.	5785	214760.01	5272	201109.35	6417	237553.06
Baja.	8947	346162.57	8391	320560.38	8564	309444.87
Muy baja.	6416	251075.58	7723	293513.75	7254	258530.59



Por medio de la caracterización de la cobertura vegetal, la función del suelo, así como de los cambios espacio-temporales que están relacionados con las actividades humanas, son el apoyo para entender y deducir la dinámica de los componentes del paisaje. Muchos estudios sobre desastres utilizando percepción remota se abocan a la evaluación de daños cuantitativos a partir de una situación post-desastre, con el afán de utilizar la información para cuantificar y espacializar riesgos en caso de repetición de la misma amenaza.

En este caso la visión sobre las unidades territoriales, parcelas, estudiadas con sus respectivos usos del suelo busca cuantificar riesgos que generaría una futura amenaza, y señalar una distribución en el espacio de factores locales de vulnerabilidad (por ej. en una ciudad), dejando como imprescindible la vulnerabilidad generada por la misma población fuera del espacio considerado (por ejemplo la actividad agrícola en zonas rurales de la cual depende la población de la ciudad considerada).

CAPÍTULO 4.

CONCLUSIONES.

Como relevancia del estudio se tiene que una de las medidas preventivas enfocadas a la gestión del riesgo, es la manera de compartir información sobre amenazas con la población local. Sobre todo en las zonas donde las grandes catástrofes ya han ocurrido como es el caso de la cuenca del río Grijalva en 2007.

En los párrafos anteriores se expone la posibilidad de utilizar el factor de uso del suelo, en su representación por parcelas para la representación de amenazas, que en este caso se enfocó en los PRM para la región del Volcán Chichonal; paralelamente se da la oportunidad de representar puntualmente la vulnerabilidad a nivel localidad, con este esfuerzo se da la conformación de tener una representación más amplia del riesgo para el mismo lugar. El producto puede ser utilizado para dar concientización de la importancia de la gestión en temas relacionados al riesgo. Se observó que esta metodología, alternativa en la creación de capas temáticas de vegetación, fue de gran ayuda para la valoración de nuevas opciones encaminadas a la fase de comunicación cartográfica del riesgo.

El método WOE es desarrollado frecuentemente para realizar trabajos en materia de PRM en donde las capas temáticas usadas como insumos podrían variar de un autor a otro, sin embargo siempre suele haber mapas principales o indispensables para la producción de un mapa de riesgo de susceptibilidad a deslizamientos, como lo son: el mapa geológico, el de pendiente y el propio de uso de suelo (Alcántara *et al.*, 2013), y ahora el de densidad de cobertura vegetal, entre otros.

Los mapas de riesgos además de presentar un rigor científico en su elaboración deben de ser fáciles de interpretar por la población local y por las tomadoras de decisiones. Como profesionales del medio ambiente se debe tener en cuenta que la cartografía resultante de los trabajos debe tener un impacto directo en la sociedad.

El actor local debe visualizar en el mapa de riesgos un elemento propio que le ayude a interpretar y entender los niveles de riesgos a los que se enfrenta, la parcelación de la tierra puede ser un elemento gráfico-visual que facilite esta interpretación y así colaborar en la

comunicación del riesgo entre la sociedad. La parcelación de la tierra en esta región de México corresponde a varios factores socioeconómicos, factores que brevemente se explican en los inicios del presente trabajo, y que representa una condicionante prioritaria en la producción del riesgo.

La cobertura vegetal establecida desde más de 40 años en la región es reflejo de la interacción entre la sociedad y el medio ambiente con el afán de obtener beneficios económicos de corto plazo pero que se contraponen a los riesgos que se presentan a largo plazo. Para este estudio se enfocó en los PRM pero también las inundaciones son fenómenos que afectan frecuentemente a la sociedad en esta región del país.

La comunicación forma parte de la estrategia en la gestión del riesgo evidenciando su efectividad en los procesos naturales que generan un impacto negativo en la sociedad, como podría ser el caso de los deslizamientos. La comunicación se convierte en un elemento fundamental generando conciencia en la población más vulnerable.

El manejo de imágenes de satélite en este trabajo fue un proceso más para la conclusión del mismo, donde es necesario la aplicación del manejo básico de las imágenes, es decir, desde la obtención de éstas en los portales disponibles de la USGS hasta la manipulación semi-automatizada en software, ya sea de dominio público y restringido. Aplicando en todo momento el razonamiento lógico de los procesos. Sin duda alguna estos procesos fueron lecciones que ampliaron los conocimientos en dicha rama de la geografía, se ha de reconocer que muchas de estas lecciones fueron aprendidas en base a errores no mal intencionados del autor.

En esta parte de las imágenes de satélite se puede hablar de aspectos temporales, ya que es una de las virtudes del uso de ésta herramienta. Para este trabajo se hizo una revisión de múltiples imágenes (siete imágenes) de diversos años, que sirvieron para la selección de tres de ellas, las cuales siguieron una serie de procesos que concluyo con la selección de una de ellas, la más reciente, para la determinación del parcelado en el mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la región de estudio.

Los aspectos temporales son de vital importancia en trabajos relacionados al ambiente, entre otros, dado que aportan una serie de datos, ya sea cuantitativos o cualitativos, de la evolución

del paisaje. Además de ser un referente espacial para cualquier tipo de trabajo ambiental o social. Los mapas temporales de densidad de vegetación pueden servir como apoyo temático para el estudio de la región del Volcán Chichonal.

Incluso el mapa *I.11 Densidad de cobertura vegetal* (Huerta y Couturier, 2013) del Atlas La región del volcán Chichón, Chiapas: un espacio potencial para su protección, conservación y desarrollo sustentable. Corresponde a un mapa a escala local de este trabajo extraído para su publicación.

La Geografía es una ciencia integral basada en el intercambio de enfoques académicos que tiene la vocación de brindar enfoques multidisciplinarios a las problemáticas socio-ambientales. En temas relacionados a riesgo, es muy común encontrar trabajos meramente técnicos que solo atacan el problema desde un enfoque mono disciplinario, es decir, que aísla a la sociedad de sus productos de investigación.

Los grupos humanos son integrantes del sistema Tierra, y a la vez, son los principales actores modificadores y perturbadores del medio ambiente, siendo ellos mismos los propios afectados de las consecuencias de sus actos.

En este tenor, se puede concluir que un aspecto de este trabajo es la representación espacial del ser humano como agente modificador del ambiente, reflejado en este caso por la densidad de vegetación en la construcción de una novedosa herramienta cartográfica, del complejo proceso de gestión del riesgo.

Ya para finalizar se analiza el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados al inicio del trabajo. Para el objetivo general se considera que se cumplió con los establecido ya que el mapa H cumple con un cierto rigor cartográfico y al mismo tiempo representa la susceptibilidad a deslizamiento de una forma novedosa (parcelado del terreno) con el propósito de facilitar la interpretación por la sociedad local.

Para los objetivos particulares se considera que fueron generalmente alcanzados: la exploración de técnicas de procesamiento en imágenes satelitales, la producción de un índice de vulnerabilidad a nivel local, la evolución de uso del suelo en la región en diferentes escalas, la exploración y uso de software libre para la producción del parcelado en las

imágenes y una perspectiva de vulnerabilidad basándose en la representación del uso del suelo en la región. Sin embargo, se reconoce que los objetivos b y c pudieron ser mejor desarrollados, nutriendo de variables el índice y realizando un análisis más profundo de la evolución y evaluación del uso del suelo. Para el mapa de Susceptibilidad a deslizamiento por parcelas se tiene en específico las siguientes conclusiones:

- Es un intento académico enfocado al refuerzo de la representación de las amenazas. Siendo la segmentación un aporte novedoso reflejo de la tenencia agraria.
- Se sugiere se considere la densidad de vegetación como uno de los factores de susceptibilidad a deslizamientos, junto con las categorías tradicionales de uso del suelo.
- También se sugiere que la representación segmentada de la amenaza podría servir al propósito de mejorar la comunicación y el intercambio de información sobre dichas amenazas.
- Sin embargo, se destaca que esta representación debe ser complementaria con la cartografía tradicional, debido a las características de deslizamiento de escala fina.

Se plantea la posibilidad de una línea de investigación donde se replique el proceso incluyendo el uso de imágenes de satélite de mayor resolución para representar el uso del suelo. Ampliar las variables del índice socioeconómico con base a encuestas realizadas a la población local incluyendo métodos de muestreo estadísticos, donde se pueda, entre otros, incluir la percepción del riesgo por la sociedad. Además de un análisis de vulnerabilidad compartida en espacios co-dependientes por medio de la dinámica del uso del suelo. Probar la efectividad del método de clasificación por objeto del uso del suelo con un método de clasificación ordinario, supervisado o no supervisado de algún software conocido. Ampliar el análisis correspondiente a la evaluación y evolución del uso del suelo en base a la clasificación por objeto en imágenes. Y por último, incluir la variable uso del suelo en temas relacionados a la gestión del riesgo, en el campo de la comunicación del riesgo, todo ello en beneficio de la sociedad.

Bibliografía del Capítulo 3 y 4, Resultados y Conclusiones, respectivamente.

Alcántara, A. I., Garnica P. R. y Hernández M. G. (2013). *Susceptibilidad a procesos de remoción en masa*, en *La región del volcán Chichón, Chiapas: un espacio potencial para su protección, conservación y desarrollo sustentable*. Alcántara A. I., Garnica P. R., Coll-Hurtado A. y Ramos H. S. (Coordinadores) Universidad Nacional Autónoma de México.

Chuvieco, E., Salas, J., Meza E. y Vargas, F. (2002). *Empleo de la Teledetección en el análisis de la deforestación tropical: El caso de la reserva forestal de Ticoporo (Venezuela)*. Serie Geográfica. Tecnologías geográficas para el desarrollo: Experiencias de aplicación en América Latina. Núm. 10, pp. 55-76.

Huerta, L. R. C. y Couturier S. (2013). *Densidad de cobertura vegetal, 1:70000*. En *La región del volcán Chichón, Chiapas: un espacio potencial para su protección, conservación y desarrollo sustentable*. Alcántara A. I., Garnica P. R., Coll-Hurtado A. y Ramos H. S. (Coordinadores) Universidad Nacional Autónoma de México.