



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

“EVALUACIÓN DE RIESGO POR
DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL
MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE
MÉXICO”

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA TIERRA
(GEOLOGIA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

Patricia Flores Olvera

JURADO EXAMINADOR

- 1) Dra. Irasema Alcántara Ayala (DIRECTOR DE TESIS)
- 2) Dr. José López García (PRESIDENTE)
- 3) Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo (VOCAL)
- 4) Dr. Jean-François Parrot (SUPLENTE)
- 5) Dra. Silvia Ramos Hernández (SUPLENTE)

COMITÉ TUTORAL

- 1) Dra. Irasema Alcántara Ayala
- 2) Dr. José Lugo Hupb
- 3) Dr. David A. Novelo Casanova



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.

DEDICATORIA

A mi esposo (José Luis), hijos (Brau, Santi) y hermanos (Vero, Lalo y Delia)

Por su apoyo incondicional y paciencia

GRACIAS

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Irasema Alcántara Ayala, asesora de esta tesis un agradecimiento especial, por su disponibilidad, paciencia y apoyo invaluable en desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo, por sus valiosas observaciones realizadas al trabajo de tesis, las cuales sirvieron para la mejoría del mismo.

Al Dr. José López García, por sus atinados comentarios, los cuales permitieron enriquecer esta investigación.

A la Dra. Silvia Ramos Hernández, por su apoyo en la revisión de la tesis

Al Dr. Jean-François Parrot por su tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo, así como sus sugerencias y aportes.

A los miembros del Comité Tutorial, Dra. Irasema Alcántara Ayala, Dr. José Lugo Hupb y Dr. David A. Novelo Casanova, por sus contribuciones a través de los exámenes y observaciones para mejorar éste trabajo y fortalecimiento de mis conocimientos.

Agradezco profundamente las facilidades otorgadas para realización de mi estancia de estudio a los Institutos de Geología y Geografía.

A las autoridades Protección de Civil del municipio de Temoaya, Estado de México, por el apoyo durante las salidas al campo, así como la información brindada.

Al apoyo brindado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través del Programa de Becas de Estudios de Posgrado.

A los Mtros. Ricardo Garnica y Francisco Zepeda por sus asesorías en la elaboración de los mapas.

Y para todas mis amigas que siempre me estuvieron dando ánimos y aliento.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS RESUMEN

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

I.1 RIESGO	5
I.1.1 Concepto.....	5
I.1.2 Metodologías propuestas metodológicas para el análisis del riesgo.....	8
I.2 PELIGRO	13
I.2.1 Concepto.....	13
I.2.2 Procesos de remoción en masa.....	14
I.2.3 Factores que intervienen en la generación de deslizamientos de tierra en el municipio de Temoaya, Estado de México.	17
I.2.4 Metodologías propuestas para el análisis del peligro por deslizamientos de tierra.....	23
I.2.5 Las técnicas del análisis multicriterio en la zonificación del peligro.....	31
I.3 VULNERABILIDAD	34
I.3.1 Concepto.....	34
I.3.2 Características.....	35
I.3.3 Complejidad.....	37
I.3.4 Propuestas metodológicas para el análisis de la vulnerabilidad.....	40
I.3.4.1 Indicadores para medir la vulnerabilidad.....	42

CAPÍTULO II ÁREA DE ESTUDIO

II.1 UBIACIÓN	54
II.2 GEOLOGÍA	55
II.3 GEOMORFOLOGÍA	62
II.4 CLIMA	63
II.5 SUELOS	64
II.6 VEGETACIÓN	66

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

III.1 ANÁLISIS MULTICRITERIO	67
III.2 HERRAMIENTAS Y MÉTODO	69
III.2.1 Peligro.....	69
III.2.2 Vulnerabilidad.....	72
III.3 VARIABLES UTILIZADAS	72
III.3.1 Peligro.....	72
III.3.2 Vulnerabilidad.....	79

III.3.3 Riesgo.....	80
---------------------	----

**CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

IV.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO.....	81
IV.2 ZONIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS DE SUELO SUPERFICIALES DE TIPO TRASLACIONAL (DSST).....	115
IV.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA VULNERABILIDAD.....	124
IV.4 ANÁLISIS DEL RIESGO EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO.....	150
CONCLUSIONES.....	161
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	164

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla 1. Clasificación de movimientos gravitacionales, según Sharpe (1938).....	15
Tabla 2. Clasificación de acuerdo a la EPOCH, 1993, a partir de la clasificación de Varnes(1978) y Hutchinson (1988). Tomado de Alcántara-Ayala, 2000.....	16
Tabla 3. Métodos de análisis del peligro por deslizamientos. Tomado de Van Westen (1994).....	24
Tabla 4. Estudios realizados sobre procesos de remoción en masa (deslizamientos) con el uso de métodos cuantitativos y cualitativos.....	26
Tabla 5. Estudios realizados sobre procesos de remoción en masa (deslizamientos) con la aplicación del método de Análisis Multicriterio.....	33
Tabla 6. Escala de apreciación para la comparación de importancia relativa entre los criterios utilizados.....	68
Tabla 7. Indicadores utilizados para el análisis de la vulnerabilidad en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	80
Tabla 8. Tipos de remoción en masa identificados en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	81
Tabla 9. Distribución de los Procesos de Remoción en Masa, en el municipio de Temoaya, México. La información de litología y de suelos predominantes se retomó de las cartas geológicas y edafológicas de INEGI, 1970 y 1975, además de observación en campo.....	109
Tabla 10. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados.....	115
Tabla 11. Obtención del <i>eigenvector</i> principal para determinar el peso de cada criterio.....	115
Tabla 12. Categorías de los parámetros empleados en el análisis multicriterio.....	116
Tabla 13. Matriz de comparación de pares para la dimensión de Exposición: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del <i>eigenvector</i> principal para determinar el peso de cada criterio.....	125
Tabla 14. Matriz de comparación de pares para la dimensión de Fragilidad: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del <i>eigenvector</i> principal para determinar el peso de cada criterio.....	125
Tabla 15. Matriz de comparación de pares para la dimensión de Resiliencia: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del <i>eigenvector</i> principal para determinar el peso de cada criterio.....	126
Tabla 16. Matriz de comparación de pares para la Vulnerabilidad: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del <i>eigenvector</i> principal para determinar el peso de cada criterio.....	126
Tabla 17. Localidades por AGEB.....	129
Tabla 18. Distribución de la población, total de viviendas y total de bienes por AGEB.....	129
Tabla 19. Distribución de longitud de caminos de terracería, pavimentados, carreteras	132

estatales, tránsito promedio anual y calidad de superficie de rodamiento por AGEB.....	
Tabla 20.Número de escuelas por AGEB.....	134
Tabla 21.Superficie en hectáreas por uso de suelo por AGEB.....	136
Tabla 22.Distribución de los grupos de edad por AGEB.....	139
Tabla 23.Distribución de la PEA y PEI por AGEB.....	141
Tabla 24.Distribución de la población analfabeta y que no habla español por AGEB...	143
Tabla 25.Relación peligro/vulnerabilidad/riesgo de las AGEB's en los distintos grados de riesgo (riesgo muy bajo, riesgo bajo, riesgo medio, riesgo alto y riesgo muy alto).....	152
Tabla 26.Relación de localidades en muy alto y alto riesgo en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	152
Tabla 27.Localidades en riesgo medio.....	157
Tabla 28.Localidades en riesgo bajo y muy bajo en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	159

Figuras

Figura 1.Ubicación de la zona en estudio.....	54
Figura 2.Principales unidades geológicas en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	56
Figura 3.Flujos piroclásticos en la caldera Jilotzingo, Mooser <i>et al.</i> (1996). Presencia de paleosuelo (indicado con una línea roja).....	58
Figura 4.Flujo piroclástico cubierto por cenizas de color ocre.....	59
Figura 5.Depósitos vulcanoclásticos.....	59
Figura 6.Depósito vulcanoclástico.....	60
Figura 7.Depósitos de flujo piroclástico.....	60
Figura 8.Lavas dacíticas cubiertas por un depósito de flujo piroclástico.....	61
Figura 9.Distribución de suelos en el municipio de Temoaya, Estado de México. Con base en las cartas edafológicas E14A38, A14A27 y E14A28, escala 1:50 000 del año 1970.....	65
Figura 10.Mapa de unidades geológicas del municipio de Temoaya, Estado de México basado en Mooser <i>et al.</i> , 1996.....	74
Figura 11.Mapa de fallas basado en Mooser <i>et al.</i> , 1996 y Palomo <i>et al.</i> , 2008.....	75
Figura 12.Figura 12. Distribución de perfiles elaborados en el municipio de Temoaya, Estado de México, señalados con números con letra. Localidades: 1. Centro Ceremonial Otomí; 2. Enthavi; 3. El Laurel; 4. San Pedro Arriba 2ª.Sección; 5. San Pedro Abajo 2ª. Sección; 6. Tlaltenango; 7.Temoaya; 8. Pothé; 9. Loma Alta; 10. Cerrito del Panal; 11. Jijipilco El Viejo. El recuadro muestra el detalle de la distribución de los deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), el cual se muestra en la figura 13.....	82
Figura 13.Distribución de los procesos de remoción en masa en el municipio de Temoaya, Estado de México. El número indica cada uno de los movimientos registrados.....	83
Figura 14.a) Bloque que se desprendió sobre la carretera Temoaya-Parque Las Palomas; b) En un corte de carretera de aproximadamente 5 m, se distingue	84

un desprendimiento de rocas. Nota: la línea roja en todos los esquemas indica los materiales que son susceptibles a este tipo de movimiento.....	
Figura 15.Evidencias topográficas de deslizamientos: a) Temoaya, se nota inclinación de los árboles; b) Se observan escalonamientos sobre la misma ladera.....	85
Figura 16.a) Material de acumulación aluvial y volcánico; b) En un corte de aproximadamente 4 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento.....	86
Figura 17.Se observan los árboles inclinados en una superficie que muestra escalonamientos.....	87
Figura 18.Se observa un deslizamiento en el cual ha crecido la vegetación.....	87
Figura 19.Se observan desarrollo de cárcavas, que han favorecido el movimiento de ladera.....	88
Figura 20.a) Se observa un depósito de flujo piroclástico; b) Corte de aproximadamente 15 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento....	89
Figura 21.Corte de camino, se nota inclinación de los árboles en una ladera constituida por flujos piroclásticos y toba.....	90
Figura 22.Ladera con rasgos de DSST, como son, ondulaciones en el terreno y árboles inclinados.....	91
Figura 23. Ladera con rasgos de deslizamiento, como son, ondulaciones en el terreno y árboles inclinados.....	92
Figura 24.Ladera usada para la construcción de una cancha de futbol y al mismo tiempo para la construcción de una escuela primaria. Esta ladera muestra rasgos de procesos de deslizamiento como la inclinación de los árboles.....	92
Figura 25.a) Se distinguen varios depósitos vulcanoclásticos; b) Corte de aproximadamente 3 m, se distinguen rasgos que indican un deslizamiento...	93
Figura 26.Ladera con rasgos de deslizamiento, como es la inclinación de los árboles...	94
Figura 27.Ladera recta afectada por una falla normal con dirección este-oeste, que sumado con la erosión, favorece el proceso de deslizamiento.....	95
Figura 28.Ladera de barranco, en que se originó un derrumbe de pequeña escala.....	96
Figura 29.Ladera de fuerte pendiente con presencia de deslizamiento.....	96
Figura 30.Corte para construir una casa, se nota un derrumbe de menor escala.....	97
Figura 31.Depósitos de flujo piroclástico consolidado, y ceniza poco consolidada.....	98
Figura 32.a) Ladera con rasgos topográficos que indican un deslizamiento, b) Depósitos de pómez, flujos piroclásticos consolidados y toba.....	98
Figura 33. Ladera con rasgos de un DSST.....	99
Figura 34.Ladera con rasgos de deslizamiento.....	99
Figura 35.Ladera afectada por erosión, lo que está favoreciendo el proceso de deslizamiento.....	100
Figura 36.a) Se observan un corte en una ladera cóncava con rasgos de DSST, como es la inclinación de los árboles; b) En un corte de aproximadamente 4 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento	101
Figura 37.Ladera de barranco se distinguen escalonamientos.....	102
Figura 38.Ladera cóncava con presencia de un DSST.....	103
Figura 39.a) Depósito de conglomerado; b) Corte de aproximadamente 1.5 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento.....	103
Figura 40.Ladera con presencia de deslizamiento.....	104
Figura 41.Se notan deslizamientos a pie del corte del camino.....	104

Figura 42. Se notan un deslizamiento en una ladera de fuerte pendiente.....	105
Figura 43. Se observa la construcción de diques con costales de arena.....	105
Figura 44. Corte de camino, la ladera presenta rasgos de un DSST.....	106
Figura 45. a) Ladera de barranco que muestra rasgo de deslizamiento; b) Corte de aproximadamente 4m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento.....	107
Figura 46. Se observa depósito de flujo piroclástico con predominancia de bloques angulosos.....	108
Figura 47. Mapa de pendientes del municipio de Temoaya, Estado de México.....	117
Figura 48. Mapa de unidades geomorfológicas del municipio de Temoaya, Estado de México.....	117
Figura 49. Mapa de uso de suelo del municipio de Temoaya, Estado de México.....	118
Figura 50. Mapa de vías de comunicación del municipio de Temoaya, Estado de México.....	119
Figura 51. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), del municipio de Temoaya, Estado de México.....	120
Figura 52. Mapa de densidad de disección en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	121
Figura 53. Mapa de energía del relieve en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	122
Figura 54. Mapa de profundidad de disección en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	122
Figura 55. Distribución espacial de las Áreas Geostadísticas Básicas. INEGI (2010)...	127
Figura 56. Exposición de la población en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	131
Figura 57. Exposición de las vías de comunicación en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	134
Figura 58. Exposición de los centros educativo en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	135
Figura 59. Exposición de unidades hospitalarias en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	137
Figura 60. Exposición total del municipio de Temoaya, Estado de México.....	138
Figura 61. Fragilidad de la población, considerando los grupos de edad de entre 0 a 5 años, 5 a 14 años y más de 60 años, así como la población económicamente activa e inactiva.....	142
Figura 62. Fragilidad de la población considerando la población de más de 15 años que no sabe leer ni escribir, así como, la que no habla español.....	144
Figura 63. Fragilidad de la población considerando la derechohabiencia.....	145
Figura 64. Fragilidad total del municipio de Temoaya, Estado de México considerando los indicadores de población, educación y salud.....	146
Figura 65. Vulnerabilidad del municipio de Temoaya, Estado de México, considerando la exposición, fragilidad y resiliencia.....	149
Figura 66. Grado del riesgo por deslizamiento de tierras en el municipio de Temoaya, Estado de México.....	151
Figura 67. Localidades que se ubican en el AGEB 009A.....	153
Figura 68. Localidades que se ubican en el AGEB 0117.....	154
Figura 69. Localidades de las AGEB's 0297 y 0085 en muy alto y alto riesgo:(San	155

Pedro Abajo (0029) y San Pedro Arriba (0030).....

Figura 70. Localización de las localidades de Temoaya, Tlaltenanguito y
Vistahermosa (0001, 0035 y 0057 respectivamente)..... 156

Figura 71. Localidades en riesgo medio en el municipio de Temoaya, Estado de
México..... 158

Figura 72. Localidades en riesgo bajo y muy bajo en el municipio de Temoaya,
Estado de México..... 160

RESUMEN

El municipio de Temoaya, Estado de México, presenta un relieve montañoso formado por depósitos vulcanoclásticos poco consolidados, con presencia de fallas, lo que favorece la inestabilidad. La ocurrencia de deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), en el municipio, está controlada por el carácter de los depósitos vulcanoclásticos, así como por los cambios de uso de suelo, efectuados particularmente en las últimas décadas, así como de la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos de gran intensidad o frecuencia. Las poblaciones están asentadas en laderas con presencia de estos fenómenos. Por lo anterior, el objetivo del trabajo de investigación fue elaborar una evaluación del riesgo por deslizamientos. Se propone un método basado en el análisis multicriterio; se estudiaron los factores que están favoreciendo los deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), lo que permitió elaborar un mapa de susceptibilidad, así como los indicadores que están participando en la vulnerabilidad, generando un mapa para finalmente obtener el grado de riesgo. Los resultados indican que el 50% del municipio se ubica en un grado de muy alto a alto riesgo por deslizamientos superficiales, lo cual resalta la importancia que este tipo de procesos debería representar para las autoridades de Protección Civil del municipio, con el objetivo de delinear y realizar acciones para la prevención de desastres por deslizamientos. Estudios adicionales en sitios críticos permitirían también un mejor manejo del riesgo en el municipio.

ABSTRACT

The municipality of Temoaya, State of Mexico, has a mountainous terrain consisting of unconsolidated deposits of volcanic origin with the presence of faults, which influences the instability of the terrain. The occurrence of Soil Translational Landslides (SSTL), in the municipality, is controlled by deposits of volcanic origin, as well as changes in land use, particularly in recent decades, and the occurrence of hydro meteorological phenomena of great intensity or frequency. The towns are located on slopes in the presence of these phenomena. Therefore, the objective of the research was to develop a risk assessment for landslides. This study proposes a method based on multi-criteria analysis, taking into account the main factors that cause the SSTL, so as to create the map of susceptibility, as

well as the indicators that are participating in the vulnerability, generating a vulnerability map and finally obtaining the degree of risk. The results indicate that 50% of the territory of municipality has a very high degree of risk regarding soil translational landslides, which emphasizes the importance of these processes to be considered by Civil Protection authorities of the municipality in order to set up preventive tasks of landslide disasters. Additional studies in critical sites would also allow better risk management in the municipality.

Key words: *Soil Translational Landslides (SSTL), risk, multi-criteria analysis.*

INTRODUCCIÓN

Desde su formación la superficie de la Tierra ha estado en constantes transformaciones debido a que es un ente dinámico, lo cual se manifiesta a través de una serie de procesos, como el vulcanismo, la sismicidad, las glaciaciones, los procesos de remoción en masa, la erosión, la acumulación, entre otros. Sin embargo, cuando aparece la vida en ella, principalmente con la presencia de los seres humanos, se inicia una relación en la que los recursos del planeta son utilizados para satisfacer necesidades básicas, y los grupos sociales empiezan a estar expuestos al impacto de dichos fenómenos, mismos que se convierten en amenazas o peligros de origen natural.

La percepción de la ocurrencia de dichos fenómenos en un principio se centraba en la creencia de que eran resultado de actos de Dios, o bien, cuando afectaban directamente a la población, se concebían como castigos divinos. Esta visión permeó por cientos de años a tal grado que aún en la primera mitad del siglo XX, la ocurrencia de desastres relacionados con fenómenos o amenazas naturales como la sismicidad, el vulcanismo, entre otros, era visualizada como un hecho cien por ciento natural. No fue sino hasta la década de los sesenta del mismo siglo, cuando algunas investigaciones de tipo geográfico y ecológico dieron pauta al entendimiento real de los desastres.

En dicho tenor, además de tratar de entender la dinámica de las amenazas naturales, se le dio una relevancia muy significativa al papel de los seres humanos en la configuración del riesgo. Diversos estudios llevaron a puntualizar la necesidad de entender la vulnerabilidad como el principal factor en la creación de condiciones de riesgo. Por ello, se enfatizó la necesidad de comprender la interacción entre las amenazas y las condiciones de vulnerabilidad de las sociedades expuestas, al considerar no solo elementos naturales del ambiente, sino también las características sociales, económicas, políticas, culturales e históricas, que en su conjunto determinan la construcción social del riesgo. Un desastre, por ende, es el resultado de la cristalización de ese riesgo.

Los peligros por deslizamientos ocurren en extensas áreas del planeta, particularmente en zonas montañosas. Los deslizamientos han causado daños considerables tanto pérdidas

humanas, daños a propiedades y recursos naturales como la vegetación y el suelo. Son obstáculos para el desarrollo de carreteras, puentes y líneas de comunicación, por tanto, la zonificación y evaluación de estos es de suma importancia.

Importancia de los procesos de remoción en masa en México y el Estado de México.

En México, además de la sismicidad, la actividad volcánica y las inundaciones, los procesos de remoción en masa son una de las principales amenazas que ha causado considerable impacto en la sociedad en los últimos años. Estos ocurren principalmente en terrenos montañosos, como procesos naturales de degradación, que juegan un papel importante en el modelado del paisaje montañoso (Van Westen, 1994).

De acuerdo con Alcántara Ayala (2010), durante el periodo 1900-2000, en México y Centroamérica el impacto de los desastres por procesos de remoción en masa fue de 53,771 víctimas y 10 millones de personas afectadas. En México, las lluvias ocasionadas por la depresión tropical número 11, en 1999, originaron procesos gravitacionales en la Sierra Norte de Puebla, lo que provocó la muerte de 250 personas; este evento fue considerado como el mayor desastre de la década de los noventa (Bitrán, 2000, Lugo *et al*, 2005).

En el Estado de México, en 1912, un sismo de 6.9 en escala de Richter ocasionó el desprendimiento de rocas en el municipio de Acambay, y varias viviendas fueron afectadas, y hubo alrededor de 700 decesos (Gobierno del Estado de México, 1998). En febrero de 2010, las intensas lluvias provocaron procesos de remoción en masa en un tramo de la carretera Toluca-Temascaltepec, en la comunidad de Mesón Viejo, y se generaron daños a 20 automóviles y la muerte de 10 personas (Dávila, 2010).

La frecuencia y la magnitud de los procesos de las laderas se incrementan en función del impacto de las actividades humanas en el entorno, entre ellas cabe destacar la deforestación o el crecimiento urbano. Los factores desencadenantes o detonantes de estos fenómenos son principalmente la actividad volcánica, la sismicidad, y la precipitación; este último es el de mayor incidencia en México. En este sentido, también es importante puntualizar que derivado del cambio climático y al esperarse una mayor cantidad de lluvias tropicales

(IPCC, 2012), diversos estudios han señalado que el impacto por procesos de remoción en masa aumentará significativamente.

Lo anterior resalta la importancia llevar a cabo una evaluación del riesgo que sirva como herramienta para reducir los daños provocados por procesos de remoción en masa. La complejidad de establecer una metodología única resulta de diversos aspectos, entre los que destacan los enfoques con que se aborda el riesgo, la escala de análisis y la disponibilidad de los datos para el peligro y la vulnerabilidad. A partir de la fórmula propuesta por la UNDRO (*United Nations Disaster Relief Organization*, 1979) se han realizado metodologías que en algunos casos resultan complejas aplicarlas a nivel local debido a su naturaleza de un análisis de escala nacional o regional.

El piedemonte de las Sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo en su vertiente occidental, hacia la cuenca de Toluca, ha sido objeto de una fuerte presión antrópica, derivado de las actividades desarrolladas por las poblaciones asentadas. En el caso del municipio de Temoaya, Estado de México, entre las actividades que más han generado cambios se encuentran: la deforestación, la aparición de minas para extracción de materiales para la construcción, la agricultura, la ganadería (en menor proporción), los cortes en las laderas para construir casas de manera desordenada e inadecuada y la construcción de caminos. Producto de la carencia de planeación y administración en el municipio, se han originado serios problemas ambientales, por ejemplo, procesos erosivos muy intensos, como son la formación de cárcavas, que inclusive han transformado espacios, que contribuyen a la pérdida de suelo y productividad del mismo; o bien, los movimientos de remoción en masa, en particular, deslizamientos y caída de rocas a nivel de cortes de ladera.

Lo anterior puede traducirse en la posibilidad de que se genere un peligro para la misma población y/o sus actividades de producción, servicios y bienes, que en combinación con la vulnerabilidad de la comunidad puede originar riesgos si no existe una gestión adecuada, pudiéndose desencadenar un desastre. De ahí la importancia de elaborar una evaluación del riesgo que facilite el proceso de gestión, es decir, una adecuada planeación y toma de decisiones por parte de las instancias correspondientes y la indispensable participación de la

INTRODUCCIÓN

población, con la finalidad de evitar o reducir el riesgo de desastre. Los deslizamientos de tierra se han considerado como el principal fenómeno que puede afectar el territorio del municipio, esto debido a que casi el 80% del territorio municipal está conformado por el piedemonte de Sierra de Las Cruces y Monte Alto.

Objetivos de la investigación

Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo se centró en la realización de una evaluación del riesgo por deslizamiento de tierras, en el municipio de Temoaya, Estado de México (zona afectada recientemente por este tipo de procesos), con base en técnicas de análisis multicriterio, en específico del análisis jerárquico.

Los objetivos particulares fueron los siguientes:

- 1) Caracterización de los procesos de remoción en masa que se presentan en el municipio.
- 2) Definición y análisis de los factores que influyen en la generación de los deslizamientos de tierra en el municipio.
- 3) Elaboración de un mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra (en caso del municipio son deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional, DSST).
- 4) Elaboración de un mapa de vulnerabilidad, en sus tres componentes: exposición, fragilidad y resiliencia, con base en indicadores de la población, educación, salud, vías de comunicación y Protección Civil municipal.

Estructura del trabajo de investigación

El documento está conformado por cuatro capítulos. En el primer capítulo se abordan los elementos teóricos de los elementos que conforman el riesgo: peligro y vulnerabilidad. En el segundo capítulo tiene como finalidad dar un panorama de las características físicas de la zona en estudio. En el tercer apartado, se aborda sobre la metodología que se utilizó para llevar a cabo la evaluación del riesgo por deslizamientos superficiales de suelo de tipo traslacional (DSST) en el municipio de Temoaya. En el cuarto capítulo, se muestran los resultados que obtenidos del método de análisis multicriterio.

MARCO TEÓRICO

I.1 RIESGO

I.1.1 Concepto

El estudio de riesgo (incluye la estimación o evaluación) ha sido abordado desde diferentes enfoques, como la ingeniería, vulcanología, geología, hidrología, geomorfología, hidrología, debido a la variedad de amenazas de origen natural que involucran, así como de las ciencias sociales tales como economía, antropología, sociología, inclusive, ciencias de la conducta como la psicología. Cabe mencionar que son enfoques independientes y con fines particulares. Esta situación fragmentada del estudio del riesgo puede evitar una adecuada gestión debido a una estimación poco efectiva.

Diferentes conceptos se han establecido para el riesgo. La UNDRO (*United Nations Disaster Relief Organization*, 1979) lo define como el grado de pérdidas esperadas, debido a la ocurrencia de un fenómeno particular, mientras que el riesgo total es el número total de pérdidas humanas, heridos, daños a propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre (riesgo específico y elementos en riesgo).

Para Calvo García-Tornel, (1984), el riesgo natural es considerado como ciertos acontecimientos extremos del medio que exceden la capacidad de los procedimientos humanos para absorberlos o amortiguarlos; abarca el esfuerzo continuo para hacer el sistema humano menos vulnerable a la eventualidad, y la necesidad de afrontarlos; en síntesis son aquellos acontecimientos naturales, que exceden la capacidad de absorción del sistema.

Maskrey (1998 en Sanahuja-Rodríguez, 1999) sintetiza en tres visiones la conceptualización del riesgo. La primera centra al riesgo como amenaza, definición sustentada por las ciencias naturales, con los diversos estudios de los procesos geológicos, meteorológicos e hidrológicos que las generan; por tanto, el riesgo se convierte en la probabilidad de ocurrencia de un evento físico extremo, en un lugar y período determinado, y además se puede cartografiar (mapas de riesgo). La segunda, define al riesgo como

probabilidad de pérdida; está representada por las ciencias aplicadas, como la ingeniería, se puede medir el impacto del fenómeno sobre la sociedad, estableciendo la siguiente fórmula de Riesgo=amenaza \times vulnerabilidad. Finalmente, para las Ciencias Sociales el riesgo tiene que ver con la capacidad de absorber y recuperarse de las pérdidas, donde la vulnerabilidad asume un carácter dinámico, a diferencia del enfoque de las ciencias aplicadas que la considera como elemento pasivo y solo se considera para determinar las pérdidas.

Cardona (2001) considera que el riesgo representa algo que parece irreal ubicado en el tiempo futuro, en el que convergen la eventualidad, las consecuencias y el contexto (capacidad de la gestión y los actores relacionados); y su evaluación debe servir para la toma de decisiones. Además, el riesgo está relacionado con la posibilidad o el azar de que algo pueda o no ocurrir, por lo tanto, tiene altos niveles de incertidumbre.

Lavell (2003) propone que el riesgo es la probabilidad de daños y pérdidas en el futuro, y antecede al desastre y lo anuncia, mientras que el desastre es la concreción de un riesgo, una realización de determinados niveles de riesgo en la sociedad, en que el evento físico sirve de detonador, pero no es la causa única que le da origen.

Para Smith (2004) el riesgo es una combinación de factores que determinan el potencial de los individuos al ser expuestos a un peligro natural, y dependerá de la relación entre el sistema natural y su impacto en los grupos sociales (clase, género, etnia, entre otros), así como la consideración del contexto político, económico tanto nacional como internacional, que se ve reflejado en los diferentes sectores como son, la salud, la seguridad, y el trabajo. En resumen, la relación entre la amenaza o peligro y la vulnerabilidad da lugar al riesgo y a la ocurrencia del desastre de distinta magnitud.

Los enfoques holísticos sobre la conceptualización del riesgo, donde se plantean los escenarios de riesgo, permiten distinguir las relaciones dinámicas entre el peligro y la vulnerabilidad, en el que se incluye la exposición a daños, perspectivas de daños adversos y condiciones que contribuyen a potenciar el daño (Sanahuja-Rodríguez, 1999).

Desastre

Es importante destacar que actualmente han surgido una serie de términos conceptuales, que abordan el tema de riesgo, inclusive en algunos casos se utilizan como sinónimos, tal es el caso de riesgo y desastre. Algunos autores, consideran que existe una relación, entre el riesgo y el desastre pero no son sinónimos; debe de aclararse que son diferentes.

El concepto de desastre desafortunadamente es más común que el concepto de riesgo. Los desastres son considerados como toda perturbación de la actividad social y económica que ocasionan pérdidas extensas o graves, y son eventos concentrados en el tiempo y el espacio, en los cuales la población sufre un severo daño de tal manera que la estructura social presente un desajuste e impide el incumplimiento total de las actividades esenciales. Este concepto es muy parecido al concepto de riesgo, no obstante el desastre involucra el inminente daño provocado por el fenómeno combinado con la vulnerabilidad.

Los desastres son perturbación de la actividad social y económica que ocasionan pérdidas extensas o graves; y son eventos concentrados en el tiempo y el espacio, en el cual la población sufre un severo daño, de tal manera que la estructura social sufre un desajuste e impide el incumplimiento total de las actividades esenciales. Macías (1992) define a los desastres provocados por fenómenos naturales, como un fenómeno social complejo, donde las situaciones económicas, sociales, políticas, culturales, ecológicas, regionales, interactúan sobre las sociedades vulnerables a impactos destructivos. El impacto del desastre es deliberado por un rango de número de variables o indicadores, tales como la morbilidad, mortalidad, daños a las propiedades y a otros bienes, reducción en el resguardo de los mismos (Wisner *et al.*, 2004).

Los desastres han sido considerados como eventos consumados que no están aislados de su causalidad, sino que representan el resultado de un proceso dinámico que se construye paulatinamente bajo potencialidades de riesgo. La importancia de las investigaciones debe recaer en la prevención de estos desastres, es decir, el riesgo, el cual debe dar el panorama para entender a los desastres en su ocurrencia en sus distintas formas de manifestación,

impacto diferenciado, causas y afectados, pero también en sus posibilidades de recuperación y de reducción hacia el futuro (Mansilla, 2000).

Hewitt (1995) considera que el desastre es una expresión del significado abrumador de las condiciones sociales, la incidencia y distribución del daño de los mismos. Esto indica que un desastre depende más cercanamente de las condiciones sociales establecidas y los controles sobre la variante de calidad de vida material, en donde la distribución de las causalidades humanas están especialmente relacionadas al estatus económico. Por tanto, una situación de desastre es la manifestación de las condiciones de vulnerabilidad de sectores de la sociedad, producto del proceso social que los ha ido conformando. El fenómeno natural, tecnológico e industrial, expone a toda la sociedad las condiciones de vulnerabilidad que van a tener ciertos sectores de la población.

I.1.2 Metodologías propuestas para el análisis del riesgo

El riesgo está sujeto a valoraciones y mediciones en términos de daños y pérdidas probables bajo condiciones de amenaza y vulnerabilidad, qué pueden ser en términos monetarios o número de elementos dañados o perdidos o bien en términos cualitativos, como puede ser el impacto a la calidad de vida.

La cuantificación objetiva del riesgo va a depender de la calidad y disponibilidad de información para evaluar el peligro y la vulnerabilidad con un cierto grado de variabilidad aceptable dentro de los límites actuariales establecidos, un ejemplo es el seguro médico. El riesgo considerado desde la perspectiva objetiva, ha sido típico de las ciencias ingenieriles, geo-científicas, médicas, económicas y actuariales (Lavell, 2003).

Desde el punto de vista subjetivo, representado por antropólogos, psicólogos, sociólogos, historiadores y geógrafos sociales, se resalta que la objetividad de la valoración del riesgo está basado solo en una visión tecnicista propia de expertos y conocedores, muchas veces impuesta, en la que no se considera los conjuntos sociales, donde la historia, la cultura, los estilos de vida, las construcciones mentales, la experiencia, el género y el estatus social, entre otros, juegan un papel fundamental.

La información sobre probables pérdidas en hospitales, escuelas, producción agrícola, infraestructura, es valiosa y necesaria, así como, las percepciones, las valoraciones que se tienen en la decisión de acción y la toma de decisiones de los distintos actores sociales. Se reconoce que la valoración objetiva suele contraponerse con las valoraciones subjetivas, donde quizás un elemento que destaca la objetividad del riesgo es que el riesgo puede ser anticipado y, dentro de los límites de la incertidumbre que siempre existe, dimensionado en diversos grados, lo que permite que la sociedad intervenga anticipadamente con medidas de reducción y control y de preparación para emergencias o desastres. Además, se pueden elaborar previsiones y planes para la rehabilitación y la recuperación.

De acuerdo con Sanahuja-Rodríguez (1999), es posible agrupar en tres tipos los métodos para la evaluación del riesgo: inductivos, deductivos e híbridos. Los inductivos consisten en que a cada variable utilizada se le asigna un peso o valor particular, con la aplicación de un método estadístico, para posteriormente definir un algoritmo que combine estos valores espacialmente. Dichos métodos son útiles para determinar áreas con niveles de riesgo en escalas pequeñas y si se quiere a aplicar a escalas más grandes se requiere de información más específica, convirtiéndose en un proceso más complejo; un ejemplo de este tipo de métodos son las combinaciones de capas temáticas sobre los elementos de riesgo con la combinación con los mapas de peligro (desarrolladas por el Programa Piloto de la OEA). Los métodos inductivos requieren de una gran cantidad de información de las variables físicas y sociales, a diferentes escalas, que no siempre está disponible ni actualizada.

El segundo tipo se denominan como métodos deductivos, se basan en patrones históricos de ocurrencia de desastres para definir un nivel probable de riesgo en un tiempo y espacio determinado, con el apoyo de bases de datos como por ejemplo *DesInventar*. Por último, los métodos híbridos, son la combinación de técnicas deductivas e inductivas. Ejemplo de este tipo es la metodología utilizada por Montero y Rodríguez (1998) para el cálculo de índices de riesgo sísmico en Costa Rica, en la cual se utilizan patrones históricos para el caso de la sismicidad, así como la medición de otros parámetros como son el uso del suelo y resistencia de la infraestructura física. De acuerdo a Sanahuja-Rodríguez (1999), este método sigue teniendo mayores ventajas para la evaluación del riesgo, debido a que evitan

la complejidad de los datos y técnicas necesarias para inducir el riesgo en modelos espacial, además se apoya de una sólida base conceptual, que es el daño como evidencia empírica del riesgo. Además, permiten identificar escenarios prioritarios y profundizar el análisis al interior de los mismos, aunque la gran desventaja es la existencia de inventarios de desastres y/o daños que faciliten establecer patrones de riesgo, que actualmente no existen de manera sistemática ni mucho menos con una buena georreferenciación que permita hacer un análisis espacial adecuado (Sanahuja-Rodríguez, 1999).

Sanahuja-Rodríguez (1999) propone una metodología para evaluar el riesgo multiamenazas en Centro América con el uso de técnicas de análisis multicriterio y la definición de un índice de riesgo manifiesto:

$$IR_m = \sum W_j X_{ij}$$

Donde:

IR_m = índice de riesgo manifiesto

W_j = ponderación del criterio j

X_{ij} = valor del evento i para el criterio j

i = evento (inundación, deslizamiento)

j = criterio (muertos, viviendas destruidas)

Utilizó la base de datos Desinventar, que es un instrumento de sistemas de información geográfica que permite almacenar de manera homogénea la información de todo tipo de desastres, acompañado por un módulo de consultas con representación geográfica, análisis estadísticos y graficación de las variables disponibles (información básica del área, la fecha y tipología del evento, efectos sobre las vidas humanas, la vivienda, los sectores económicos y la infraestructura). Dedujo patrones de riesgo a partir de evidencia empírica expresada en el daño, e infiriendo distintos niveles del riesgo, a partir de una combinación de las distintas formas en que se presenta ese daño.

Dai *et al.*, (2002) mencionan que el riesgo por procesos de remoción en masa se puede definir como la probabilidad anual de pérdidas humanas y proponen que se puede medir con la siguiente fórmula:

$$R(DI) = P(H) \times P(S/H) \times P(T/S) \times V(L/T) \times E$$

donde:

R(DI)= la probabilidad anual de pérdidas humanas

P(H)= probabilidad del evento por procesos de remoción en masa

P(S/H)= es la probabilidad del impacto en términos espaciales que va a tener el evento

P(T/S)= es la probabilidad temporal del impacto que va a tener el evento

V(L/T)= proporción del valor de la propiedad perdida

E= elemento de riesgo (valor de la propiedad)

Para la aplicación de la fórmula anterior los autores mencionan que es importante contar con un inventario de todas las laderas potencialmente inestables. En el caso de la vulnerabilidad considera la exposición de los elementos, tomando en cuenta datos históricos de los daños directos e indirectos, aplicando métodos estadísticos a partir de los datos registrados.

En México, se han realizado propuestas para evaluar el riesgo, utilizando la fórmula de la UNDRO. Destaca la propuesta del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), para evaluar el riesgo por deslizamientos de tierras, que incluye un tratamiento matemático, basado en el peligro, los elementos en riesgo y la vulnerabilidad de éstos, utilizando el álgebra probabilista o bien a métodos de confiabilidad o simulación, es decir, el riesgo (R) involucra la noción de amenaza, peligro, vulnerabilidad y costo; y lo establece con la siguiente fórmula (CENAPRED, 2004):

$$R = \sum_i A_i \times \left(\sum_j V_{ji} \times C_j \right)$$

donde:

A_i = es el peligro i;

V_{ji} = es la vulnerabilidad del elemento j expuesto a el peligro i; y

C_j = es el “costo” o valor del elemento j

Por otro lado, Cardona (2001) propone una fórmula matemática para evaluar el riesgo por sismicidad en una zona urbana, con un enfoque holístico (variables sísmicas, estructurales, económicas, sociales, capacidad de respuesta:

$$IRT_k = IRH_K \times \delta IRH_K + IRS_K \times \delta IRH_K$$

donde:

IRT_k = es el riesgo sísmico total

IRH_K = índice de riesgo sísmico físico, el cual se define a partir de variables que definen las pérdidas potenciales urbanas que puede causar futuros sismos.

IRS_K = índice del riesgo sísmico del contexto, a partir de variables que definen a la amenaza y a la vulnerabilidad del contexto.

δIRH_K y δIRH_K = son los factores que participan de cada índice utilizado para el análisis.

Cabe también destacar que el modelo de “escenarios de riesgo” forma parte de un enfoque holístico que representa las relaciones dinámicas entre vulnerabilidad y amenaza (Sanahuja-Rodríguez, 1999). Se sustenta en información de distintos tipos, sobre amenazas y vulnerabilidades, incluye los grados de exposición de la población y la economía a eventos físicos potencialmente dañinos, información científica sobre la magnitud, intensidad, recurrencia e incidencia territorial de probables amenazas físicas y las características de las vulnerabilidades existentes. Incluye bases de datos y registros históricos de eventos dañinos y el conocimiento popular y la experiencia local con las amenazas y las vulnerabilidades. En resumen, es un análisis presentado en forma escrita, cartográfica o diagramada, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, de las dimensiones del riesgo que afecta a territorios y grupos sociales determinados. Significa una consideración detallada de las amenazas y vulnerabilidades, y ofrece una base para la toma de decisiones sobre la intervención en reducción, previsión y control de riesgo. Implica también un similar entendimiento de los procesos sociales causales del riesgo y de los actores sociales que

contribuyen a las condiciones de riesgo existentes. Sobresale la simple estimación de diferentes escenarios de consecuencias o efectos potenciales en un área geográfica que tipifica la noción más tradicional de escenarios en que los efectos o impactos económicos se registran sin noción de causalidades (Lavell, 2003).

I.2 PELIGRO

I.2.1 Concepto

Para Smith (2004) un peligro natural se refiere a un evento extremoso de origen geológico y biológico. De manera adicional considera que la mezcla entre los peligros naturales y la acción humana, es un freno paralelo al desarrollo de un nivel económico y social, que provoca un desastre. Rara vez, los asentamientos coinciden con sitios adecuados que no son peligrosos, por ejemplo, en las planicies, que son relativamente aptas para la construcción de casas-habitación, industria, o bien las laderas de los volcanes que son usadas para la agricultura, debido al desarrollo de suelos fértiles. Para determinar el peligro hay que considerar la exposición de la población, la distribución geográfica, la frecuencia de ocurrencia y el tamaño del área afectada.

La peligrosidad natural se entiende como el grado relativo de probabilidad de que ocurra un evento amenazador o peligroso (Cooper, 1985 citado en Maskrey, 1993). El nivel de peligro depende del tipo, magnitud, ocurrencia y correlación entre los fenómenos naturales sobre los elementos humanos.

Owens y Slaymaker (2004) señalan que la ciencia nos ha ayudado a entender mejor los peligros naturales, a identificarlos y a evaluarlos con la finalidad de tomar mejores decisiones ante el riesgo y su mitigación. El peligro lo definen, como una fuente de daño cuya evaluación comprende tres elementos: el riesgo de daño humano, el riesgo al daño a la propiedad, y la aceptación del nivel o grado de riesgo. La evaluación de un peligro potencial del peligro natural incluye una secuencia de consideraciones, tales como la percepción y la identificación del peligro.

Maskrey (1993) define a la amenaza o el peligro como fenómeno o evento que tiene peligro potencial para una población. La UNDRO 1979 considera que el peligro es la

probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente desastroso, durante cierto periodo de tiempo, en un sitio determinado.

Matemáticamente, el peligro se expresa como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un fenómeno con cierta intensidad, en un sitio específico y en un tiempo determinado. En otras palabras, la amenaza es la presencia de un fenómeno natural o antrópico potencialmente destructivo en un poblado vulnerable.

Para el CENAPRED (2004), el peligro es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado, e involucra medir el fenómeno (magnitud, intensidad, periodo de retorno, tasa de excedencia).

I.2.2 Procesos de remoción en masa

Los procesos de remoción en masa agrupan a todos aquellos movimientos que involucran la presencia de material que por acción de la gravedad se desplazan cuesta abajo, también se les conoce con otros términos como procesos de ladera o procesos gravitacionales. Penck (1894) denota el término *mass movement*, como el movimiento bajo la influencia de la gravedad y *mass transport*, que implica el movimiento del material por acción de algún fluido (agua, aire o hielo). Por otra parte, Sharpe (1938) considera que los procesos de remoción en masa son la perceptible caída de una masa relativamente seca de roca, suelo o mezcla de las dos. Varnes (1958) emplea el término *slope movement*, y lo define como el movimiento de suelo o sustrato rocoso que moviliza materiales naturales o artificiales; Brunsden (1979), los considera como aquellos que involucran el movimiento de los materiales que conforman una ladera, bajo la influencia de la gravedad sin la presencia primordial de un agente de transporte. El Grupo Internacional de Trabajo para el Inventario Mundial de Movimientos de Terreno (WP/WLI, 1990) los refiere como un movimiento de masa de roca, tierra o detritos ladera abajo. Alcántara Ayala (2000) los describe como movimientos de masas de suelo, detritos y rocas que ocurren en una ladera como resultado de la influencia directa de la gravedad y que pueden ser desencadenados por factores internos y externos.

Clasificaciones

En cuanto a las clasificaciones de los movimientos en masa, existen antecedentes por parte de la escuela rusa, (Bogdanovich, 1911, Nifantov, 1935, Rodionov, 1939, Popov, 1939 y Savarienskii, 1940, tomado de Ochoa-Tejeda, 2009), mientras que en la escuela norteamericana, Sharpe (1938), propone la primera clasificación de movimientos de remoción en masa, con base en la velocidad del movimiento y el tipo de material (Tabla 1).

	MOVIMIENTO		HIELO	TIERRA O ROCA	AGUA		
	Tipo	Velocidad					
			Principalmente hielo	Tierra o rocas más hielo	Tierra o roca, seca o con cantidades menores de hielo o agua	Tierra o rocas más agua	Principalmente agua
Con lado libre	Flujo	Generalmente imperceptible	Reptación de rocas de glaciar		Reptación Reptación de escombros de talud	Solifluxión	Acarreo Fluvial
				Solifluxión ↓	Reptación		
	De lento a rápido rápido	Acarreo glaciarico	Derrumbe de detritos ↓	Corriente terrosa Corriente de barro Derrumbe de detritos ↓			
Deslizamiento (de tierra)	De lento a rápido Muy rápido	Acarreo glaciarico	Derrumbe de detritos ↓	Descoronamiento			
				Deslizamiento detritos			
				Caída de detritos			
				Deslizamiento de rocas			
				Alud de rocas			
	Confinado	Deslizamiento o Flujo			Hundimiento		

Tabla 1. Clasificación de movimientos gravitacionales, según Sharpe (1938).

A partir de esta clasificación han surgido una diversidad de clasificaciones, tomando diversos criterios, como por ejemplo, atributos morfológicos del movimiento, tanto de la superficie de ruptura como el área de depósito (Skempton, 1953, Brunsten 1973; Crozier,

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1973; Hutchinson, 1968; Zaruba y Mencl, 1969; Coates, 1977; Varnes, 1978), tamaño y tipo de materiales (Zaruba y Mencl, 1969; Coates, 1977; Varnes, 1978), la antigüedad del movimiento (Zaruba y Mencl, 1969) y tipo climático (Sharpe, 1938; Hutchinson, 1968) (tomado de Alcántara-Ayala, 2000).

Una de las clasificaciones más aceptadas, a nivel internacional es la desarrollada por el Programa Europeo sobre climatología y peligros naturales (EPOCH -por sus siglas en inglés- 1993), la cual toma como base el mecanismo del movimiento: desprendimientos, vuelcos o desplomes, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y movimientos complejos (véase Tabla 2, tomado de Alcántara-Ayala, 2000).

MECANISMO DE MOVIMIENTO	TIPO DE MATERIAL INVOLUCRADO		
	ROCA (rock)	DERRUBIOS (debris)	SUELO (soil)
Desprendimientos (<i>falls</i>)	Caídas o desprendimientos de rocas (<i>falls</i>)	Caídas o desprendimiento de derrubios (<i>debris fall</i>)	Caídas o desprendimiento de suelos (<i>soil fall</i>)
Vuelco o desplome (<i>topple</i>)	Vuelco o desplome de rocas (<i>rock topple</i>)	Vuelco o desplome de derrubios (<i>debris topple</i>)	Vuelco o desplome de suelos (<i>soil topple</i>)
Deslizamiento rotacional simple (<i>rotational slide</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>múltiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>múltiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>múltiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)
Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional (<i>translational slide, no-rotational</i>)	Deslizamiento de roca en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento de derrubios en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento traslacional en suelos (<i>slab slide</i>)
Deslizamiento planar	Deslizamiento de rocas (<i>rock slide</i>)	Deslizamiento de derrubios (<i>debris slide</i>)	Coladas de barro (<i>mudslide</i>)
Flujos (<i>flow</i>)	Flujos de rocas (<i>rock flow</i>)	Corrientes de derrubios (<i>debris flow</i>)	Flujos de tierra, arena o suelo (<i>soil flow</i>)
Expansión lateral (<i>lateral spreading</i>)	Expansiones laterales en rocas (<i>rock spreading</i>)	Expansiones laterales en derrubios (<i>debris spread</i>)	Expansiones laterales en suelos (<i>soil spreading</i>)
Complejo (<i>complex</i>)	Ejemplo: Alud de rocas (<i>rock avalanche</i>)	Ejemplo: Flujo deslizante (<i>flow slide</i>)	Ejemplo: Rotación con flujo de tierras. (<i>slump- earth flow</i>)

Tabla 2. Clasificación de acuerdo a la EPOCH, 1993, a partir de la clasificación de Varnes (1978) y Hutchinson (1988). Tomado de Alcántara-Ayala, 2000.

I.2.3 Factores que intervienen en la generación de deslizamientos de tierra en el municipio de Temoaya, Estado de México

Autores clásicos como Varnes (1978), Cruden y Varnes (1996) consideran que las causas de los movimientos de ladera se deben a factores que contribuyen al incremento del corte de tensión y a la disminución de la resistencia al corte. En general los factores pueden ser internos o externos; estos últimos pueden acelerar los procesos de remoción en masa. Entre los factores internos se consideran a la geología, la pendiente, la forma de la ladera, la altura, las propiedades geotécnicas del material que conforma la ladera, la cubierta vegetal y el patrón drenaje; y en el caso de los factores externos se contemplan a las actividades antrópicas, tales como: la excavación de laderas o al pie de las laderas, incremento de peso de las laderas, la desecación de los cuerpos de agua (presas), deforestación, irrigación, actividad minera, vibraciones artificiales.

La generación de los deslizamientos depende de variables intrínsecas (la geología, la pendiente, el aspecto de las laderas, la elevación, las propiedades geotécnicas y del material de formación de la ladera, la cubierta vegetal y el patrón de drenaje, entre otros), así como de variables extrínsecas (intensidad de la lluvia, sismos, volcanismo). Su distribución espacial está relacionada en gran medida con las variables intrínsecas. Sin embargo, aunque su probabilidad de ocurrencia obedece a los dos tipos; si las externas varían en un periodo de tiempo muy corto, es más difícil estimar su ocurrencia. Por tanto, la determinación de la probabilidad actual de los deslizamientos requiere del análisis de factores disparadores tales como los sismos, las tormentas o la explicación de modelos complejos, es decir, del entendimiento de esos factores extrínsecos.

A. Litología

Es reconocido el papel tan importante que juega la geología en la generación de los deslizamientos y en general de todos los procesos de remoción en masa; prácticamente en todos los trabajos que tratan sobre procesos de remoción en masa ha sido utilizado éste factor. Se admite que las diferencias litológicas y estructurales a menudo conducen a una diferencia en la fuerza, resistencia a la intemperie y permeabilidad de las rocas y suelos (Das *et al.*, 2010); también se incluye la interacción de la resistencia al corte y esfuerzo al

corte. En este sentido, los diferentes tipos de procesos de remoción en masa, ocurren en diversos materiales, aunque algunos suelen ser más susceptibles a un determinado tipo de proceso. Por ejemplo, de acuerdo con Varnes (1978) las caídas ocurren en rocas, en talud de derrubios no consolidados o rocas detríticas consolidadas, y en suelo compuestos de material fino, en paredes escarpadas, en minas o bancos de ríos (depósitos morreicos, rocas volcánicas antiguas).

De acuerdo a Dikau *et al.* (1996), los procesos de remoción en masa suelen ser más recurrentes en determinados tipos de materiales. En el caso de desplome de suelos o derrubios (*topple*), los materiales más susceptibles son los esquistos y las calizas, las rocas sedimentarias interbandeadas, basaltos, así como en suelos arcillosos con juntas.

Los deslizamientos rotacionales se presentan en condiciones de rocas muy fracturadas (roca dura): rocas y sedimentos, depósitos morrénicos, regolita y principalmente en áreas desprovistas de vegetación. Los deslizamientos translacionales pueden ocurrir en tres tipos de materiales: rocas, derrubios y suelo. Los deslizamientos de bloque son inusuales en material de derrubios, pero algunas veces se han presentado en áreas de coluvión sobre piedemontes. Pueden presentarse en arcillas sobre calizas consolidadas. Es común también que ocurran en material rocoso.

Los flujos de lodo o *mudslides*, pueden ocurrir en materiales de grano fino, particularmente en limos y arcillas.

La expansión lateral de rocas (*lateral spreading*) ocurre en algunos casos sobre material de rocas masivas homogéneas, arcillas, calizas. En áreas de cárcavas, graben, o seudocarso se asocia a otros movimientos como caída de rocas, flujos de lodo.

Los flujos son movimientos que comúnmente se llevan a cabo sobre rocas débiles, metamórficas, gneis, y materiales finos.

Los flujos de detritos (*debris flow*), tiene lugar sobre materiales poco consolidados, como el coluvión, rocas intemperizadas, material morreico ligeramente consolidado.

Los flujos de lodo (*mud flow*) se llevan a cabo sobre material de grano fino, aunque pueden ocurrir sobre clastos gruesos, pero es muy raro (Dikau *et al.*, 1996).

B. Tectónica

Fallas

Un importante control, en el movimiento de ladera, es la superficie de debilidad que hay dentro de la estructura del material que la conforma. Esas discontinuidades pueden ser planos inclinados o subhorizontales de capas, fallas, fracturas y depósitos; los cuales ocasionan variaciones en la resistencia de los materiales (Dikau *et al.*, 1996). Las fallas en zonas con movimientos neotectónicos, como los sismos, provocan zonas de ruptura a lo largo de éstas en depósitos recientes y desencadenan deslizamientos (Liu *et al.*, 2004). Donati y Turrini (2002) usaron el criterio de la distancia a fallas para clasificar el peligro y de acuerdo con sus resultados concluyen que la distancia menor a la falla la susceptibilidad es mayor.

C. Geomorfología

El análisis y la cartografía geomorfológica son de gran importancia porque pueden servir como base para el estudio de los deslizamientos de tierra. Las investigaciones realizadas para identificar zonas susceptibles a través de estudios geomorfológicos se basan en evidencias visuales y en la identificación de características geomorfológicas de las laderas y procesos geomorfológicos (Gares *et al.*, 1994). El método geomorfológico involucra una gran variedad de análisis y técnicas como pueden ser: observación en campo, interpretación de fotografías aéreas y el uso de sistemas de información geográfica, entre otros.

Pendiente

Tanto la pendiente como la litología son los dos factores más importantes en la ocurrencia de los deslizamientos. La fuerza que gobierna el movimiento ladera debajo de los materiales y rocas es la gravedad; no el componente vertical, pero si el componente que es tangencial al potencial o bien la superficie de deslizamiento activo (pendiente) excede la

resistencia al corte de la roca o suelo se produce un movimiento ladera abajo (Kovach, 1995).

La estabilidad de una ladera es gobernada por un complejo de parámetros y la mayoría de los deslizamientos ocurren en pendientes fuertes. La topografía controla las laderas a nivel regional y local, provee el componente de gravedad ladera hacia abajo; mientras más inclinada sea una ladera, la propensión a los procesos gravitacionales será mayor (Alcántara-Ayala, 2000b).

D. Antrópicos

Uso de suelo

Diversos factores antrópicos influyen en la generación de los procesos de remoción en masa (Cruden y Varnes, 1996): excavación de laderas, incremento de peso en ellas, disecación de cuerpos de agua, deforestación, irrigación, actividad minera, vibraciones artificiales. El uso de suelo representa un factor esencial para el análisis de la inestabilidad de laderas (Dikau *et al.*, 1996); este se refiere al tipo de cobertura vegetal en la ladera, lo que puede afectar a la capacidad de infiltración de las precipitaciones de la pendiente. Algunos autores consideran que la baja densidad de vegetación favorece una rápida erosión y una mayor inestabilidad que en los bosques densos (Anbalagan, 1992; Baeza, 1994 en Baeza y Corominas, 2001). Por otra parte, el uso del suelo (densidad de la vegetación) tiene una doble influencia sobre la estabilidad superficial de los depósitos, por ejemplo la hidrológica (capacidad de infiltración en el suelo, la humedad del suelo, nivel de las aguas subterráneas, entre otras), y otra la mecánica (resistencia a la raíz) (Greenway, 1987 en Santacana *et al.*, 2003).

Vías de comunicación

Por otro lado, la influencia de las carreteras como un factor en la generación de procesos de remoción en masa, en los estudios revisados, es complemento de elementos principales como la hidrología, la geomorfología y los datos geotécnicos. Carson y Fisher (1991), en un estudio sobre manejo de deslizamientos en la ciudad de Shropshire, Inglaterra,

identifican que los problemas de inestabilidad han estado relacionados con la red de carreteras en el área. Zézere *et al.* (1999) consideran que un factor condicionante en la inestabilidad de laderas, en la región norte de Lisboa, Portugal, con condiciones naturales favorables (litología, geología, geomorfología, pendientes, vegetación), son las actividades humanas, y que los deslizamientos aumentan, principalmente con el incremento de carreteras por la expansión de áreas urbanas. La realización de cortes en las laderas para la construcción de la red de carreteras en ésta región ocasionó 117 deslizamientos, que corresponde al 20% del total de los eventos de inestabilidad que se registraron.

Ranjan *et al.* (2008) realizan un modelo predictivo de la influencia de la lluvia en el peligro por deslizamiento en la zona de Lesser Himalaya of Nepal. Incluyen, como factor de control de la estabilidad de las laderas, a las carreteras porque en el área ocurren muchos deslizamientos a lo largo de ellas y vías férreas. Esto se debe a que los cortes se realizaron de manera inapropiada.

Murillo (2007), elaboró un inventario de procesos de remoción en masa en la porción Sureste de la Sierra Norte de Puebla. Consideró siete factores, entre ellos, el uso de suelo; en éste ubicó al equipamiento carretero. Sus resultados mostraron pocos e incluso nulos procesos de remoción en masa relacionados con la infraestructura carretera.

La importancia de considerar a los caminos como un factor relevante en los estudios sobre susceptibilidad queda expuesta en el trabajo de Chang y Slaymaker (2002), donde analizan los deslizamientos provocados por eventos naturales y humanos en un período de 34 años (1963-1996). Sus resultados demuestran que para 1985, con la construcción de la carretera este-oeste, la densidad de deslizamientos se duplicó con respecto al período anterior; para 1993, se redujo, y en 1996, con el tifón Herb, se duplicó nuevamente. Champati (2004) considera que un criterio que provoca la inestabilidad de laderas es la realización de cortes para construir carreteras, originándose numerosos deslizamientos. Refiere que en cualquier investigación sobre ellos, las vías de comunicación son un criterio importante.

Jones *et al.* (2000) analizan la influencia de las carreteras sobre la hidrología y la geomorfología; su construcción sobre áreas montañosas incrementa la frecuencia de

deslizamientos. Tanto las corrientes fluviales como las carreteras ocupan un espacio relativamente pequeño, con longitudes diversas, su función es el transporte de material y energía; la diferencia es que los ríos siguen un canal mientras las segundas cortan las laderas, por lo que sirven como corredores para los flujos de agua o sedimentos, lo que ocasiona la generación de flujos de detritos. La evidencia está en los registros obtenidos en 50 años, en el área de Andrew Forest, en el que los flujos de detritos son iniciados con deslizamientos de detritos, asociados con las carreteras. Cuando se construyeron las carreteras se utilizó el material para soporte de las mismas, y cuando hay intensas lluvias se originan pequeños deslizamientos que obstruyen los ríos y se convierten en flujos de detritos.

Borja *et al.* (2005) realizan una evaluación de la influencia de las carreteras montañosas en deslizamientos someros, consideran que un terreno escarpado es más propenso a estos movimientos y la construcción de aquéllas incrementa la frecuencia de los mismos; mientras la magnitud dependerá del clima, la geología, la topografía, la edad de la carretera, entre otros. Señalan que cuando se realiza un corte de ladera para la construcción de una carretera, ésta actúa como un obstáculo para los flujos subsuperficiales, donde la profundidad del suelo y la roca, juegan un papel importante, ya que la fracción de suelo o roca permeable que es ocupada por el corte de carretera actúa como una barrera importante para el flujo de agua. A través de un modelo, aplicado al norte de Italia, detectaron la relación entre los flujos subsuperficiales y las carreteras. Éste incluía un modelo hidrológico, basado en el del estado fijo de las corrientes superficiales, y un modelo geomecánico que incorpora el modelo infinito de ladera de Coloumb para el análisis de estabilidad de laderas. Los autores resumen que es muy útil éste modelo para predecir el impacto potencial de los deslizamientos, pero no ofrece información sobre el comportamiento y enfatizan en que sólo sirve para deslizamientos someros en laderas escarpadas.

Por otra parte, autores como Moreiras (2006) considera que el corte de laderas para la construcción de carreteras, ya sea con uso explosivos o no, puede ocasionar fracturas en las formaciones rocosas. Por ejemplo, en un estudio realizado a lo largo del valle Mendoza,

Argentina, identificó que la mayoría de flujos de detritos y caída de rocas ocurren en zonas que han sido severamente afectadas por eventos relacionados a cortes de ladera realizados durante la construcción de la carretera Internacional de Chile (carretera no. 7). El uso de explosivos durante su construcción generó muchas fracturas, haciendo más propensa la inestabilidad de la ladera, lo que ocasionó flujos de detritos que años más tarde dañarían la infraestructura. Si bien menciona esta relación, no hace un análisis más detallado, pero enfatiza la necesidad de llevarlos a cabo.

La precipitación es uno de los factores más importantes en la mayoría de los estudios sobre procesos de remoción en masa, aunque su relación con las carreteras ha sido escasa. La mayoría de los vías de comunicación fueron trazados de manera transversal a la red fluvial o siguiendo la dirección de escurrimiento. La relación entre red fluvial y carreteras generalmente, origina flujos de detritos, aunque ha sido poco estudiada dicha relación. Wu y Chen (2009), en un estudio de susceptibilidad de deslizamientos en Taiwan, consideraron a la precipitación como elemento sustancial, aunque incluyeron otros seis factores, entre los cuales estaban las carreteras. Afirman que el desarrollo de carreteras sobre laderas ocasiona pendientes inestables. Determinaron un valor para cada factor, en una escala de 0 a 10; a las carreteras le asignaron éste último cuando la distancia es menor o igual a 100 m y 0 cuando la distancia es mayor a 100 m. La determinación de la distancia la realizaron con base en las observaciones que realizaron en campo debido a que los deslizamientos ocurrieron a una distancia de 100 m de la carretera.

I.2.4 Metodologías propuestas para el análisis del peligro por deslizamientos de tierra

Los peligros por deslizamientos ocurren en extensas áreas del planeta, particularmente en zonas montañosas. Los deslizamientos han causado daños considerables tanto pérdidas humanas, daños a propiedades y recursos naturales como la vegetación y el suelo. Son obstáculos para el desarrollo de carreteras, puentes y líneas de comunicación; por tanto, la zonificación y evaluación de estos es de suma importancia.

Con la intención de mitigar los efectos negativos de los procesos de remoción en masa, se han propuesto diversas metodologías a nivel mundial para identificar áreas propensas a

éstos. La susceptibilidad se refiere a la propensión del terreno a la ocurrencia de deslizamientos sin considerar los factores disparadores como pueden ser los sismos y las precipitaciones intensas. Un mapa de susceptibilidad a deslizamientos es aquel que muestra las áreas propensas a tener deslizamientos de tierra en un futuro mediante la correlación de factores principales que contribuyen a su generación (Brabb, 1984 citado en Santacana *et al.*, 2003).

Los deslizamientos de tierra son abordados desde diferentes enfoques, sin duda, el ingenieril es el más conocido; sin embargo, Santacana *et al.* (2003), mencionan que los primeros intentos para establecer grados de susceptibilidad fueron las desarrolladas por Nilsen *et al.*, (1979), usando el método de sobreposición de capas de información geológica y geomorfológica; posteriormente se desarrollaron evaluaciones más sofisticadas con base a análisis multivariado. En tabla 3, se hace un resumen de los métodos más importantes para analizar el peligro por deslizamientos de tierras (Van Westen, 1994).

TIPO ANÁLISIS DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
A. Análisis de distribución	Consiste en un mapeo directo de rasgos de movimientos de masa. Muestra únicamente datos o información de aquellos sitios donde se han presentado deslizamientos. Se basa en rasgos morfológicos o información de registros de los eventos ocurridos. Resultado de este análisis es el mapa denominado <i>mapa de inventario de deslizamientos</i> .
B. Análisis cuantitativo	Métodos directos o semidirectos. El mapa geomorfológico es importante pues en combinación con otros es la base para elaborar el mapa de peligros. Éste se apoya en la decisión subjetiva basada en la experiencia de los estudios en las ciencias de la tierra.
C. Análisis estático	Análisis indirecto. Usado para predecir peligros por movimientos de masa; producto de un gran número de variables que se traducen en la producción de mapas específicos que son base para elaborar el mapa final de peligros.
D. Análisis determinista	Método indirecto. Se utilizan varios parámetros para crear los mapas que servirán para analizar las condiciones requeridas para la generación de deslizamientos de tierras; mismos que serán combinados con cálculos de estabilidad de laderas.
E. Análisis de frecuencia de deslizamiento	Método indirecto que consiste en la correlación de datos conocidos para la generación de deslizamientos de tierra en combinación con registros de variables que actúan como disparadores: los sismos y/o tormentas o modelos hidrológicos; con la finalidad de obtener valores principales que muestren cierta frecuencia de los procesos.

Tabla 3. Métodos de análisis del peligro por deslizamientos. Tomado de Van Westen (1994).

Entre dichos métodos se pueden distinguir dos grandes grupos: cualitativos (directos) y cuantitativos (indirectos) (Soeters y Van Westen; 1996, Aleotti y Chowdhury, 1999). Los primeros involucran la evaluación directa de los movimientos en masa con las condiciones del terreno y los factores desencadenantes, con base en los conocimientos del experto. En ellos destacan *el inventario de procesos de ladera y análisis heurístico (análisis geomorfológico y análisis de combinación cualitativa de mapas)*. Los segundos consisten

en el mapeo de un gran número de parámetros para analizarlos estadísticamente. En éstos se incluye el *análisis estadístico bivariado y multivariado*, basados en la relación de factores principales naturales y la distribución de deslizamientos ya existentes (Clerici, *et al.*, 2002), y superpone mapas calculando la densidad de deslizamientos.

Los *métodos determinísticos* mezclan los parámetros de los mapas con cálculos de estabilidad de laderas (datos geotécnicos) y el cálculo del factor de seguridad; es ampliamente utilizado en ingeniería civil e ingeniería geológica; para el cálculo del factor de seguridad se requiere datos geométricos, de resistencia al corte (cohesión y el ángulo de la resistencia fricción (Terlien *et al.*, 1995, Soeters y VanWesten, 1996). *El método probabilístico* determina la probabilidad o recurrencia de un movimiento en un periodo de tiempo.

La mayoría de las investigaciones, consultadas para este trabajo, relacionadas con la ocurrencia de sobre procesos de remoción en masa (principalmente deslizamientos) se realizaron a partir de métodos cuantitativos o, bien, con adecuaciones de metodologías cuantitativas con el apoyo de elementos cualitativos para comparar resultados y dar una aproximación objetiva de la susceptibilidad de éstos fenómenos (Tabla 4).

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

Lugar	Condiciones bioclimáticas			Pendiente	Geología	Suelos	Método estadístico multivariado	Método estadístico bivariado	Método geotécnico	Método estadístico con función de favorabilidad	Modelos hidrológicos	Método geomorfológico	Observaciones	Autores
	Clima	Vegetación	Uso de suelo											
A NIVEL INTERNACIONAL	Alpujarras, España.	Semiárido Precipitación media anual de 539 mm. Lluvias torrenciales.			Sedimentarias y metamórficas Fallas y fracturas.	Altamente arcillosos						X	Se puede aplicar a escalas mayores. Para su mejora se requiere integrar la resistencia de los materiales	Alcántara Ayala I. (2000)
	Pirineos orientales, España	Precipitación es intensas en otoño, hasta 700 mm por día (1940)	Bosque denso y pastizales		Rocas sedimentarias		X						Un 88% de acierto. Es más objetivo.	Baeza, C., Corominas, J. (2001)
	Cuenca del río Parma, Italia.						X						Con buenos resultados en poco tiempo, pocos errores en áreas extensas.	Clerici A., et al (2002)
	Hendek, Turquía					Rocas sedimentarias							Cerca del 60% de acierto.	Cevik y Topal (2003)
	Valle Deba (Guipúzcoa, España)	Precipitación media anual de 1,500 mm		Vegetación de praderas y bosque de pino con áreas de cultivo.	22° en promedio	Rocas sedimentarias plagadas de mesozoico					X		Tiene limitaciones, producto de imprecisiones en la información de alguna variable o, bien, son insuficientes variables usadas.	Remondo, J. et al. (2003a)
Norte de, España	Clima templado.	Bosque de pino con áreas		22° en promedio	Rocas sedimentarias plagadas de mesozoico					X	X	Útil cuando se tiene la información suficiente y confiable. Los resultados no se relacionan con el aumento de más variables.	Remondo, J. et al (2003b)	

Tabla 4. Estudios realizados sobre procesos de remoción en masa (deslizamientos) con el uso de métodos cuantitativos y cualitativos.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

A NIVEL INTERNACIONAL	Región de Alpage, Italia							X					X	Con un 76%, de acierto. El investigador o experto determina los factores o la combinación de éstos que usarán en la evaluación.	Van Westen C. <i>et al</i> (2003)
	Kakuda-Yahiko, Japón.			Asentamientos humanos, agroindustria. La vegetación es densa en la montaña, pero escasa en las partes bajas.		Andesitas, riolitas, depósitos de cenizas y depósitos aluviales			X					Da buenos resultados, considerando que en esta zona la relación deslizamientos-proximidad con las carreteras es muy estrecha. Da resultados objetivos y cuantitativos.	Ayalew, L., Yamagishi, H (2005)
	Región de Manawatu – Wanganui, región norte de Nueva Zelanda.	Existe un clima templado, lluvias medias anuales de los 800 mm a 5,000mm, tormentas en los últimos 5 años.		Bosque con avance de las áreas de pastoreo y agricultura.		Rocas sedimentarias del Jurásico/Triásico y depósitos de marinos y aluviales recientes.							X	Con una exactitud de 80%, útil para trabajos de conservación de suelos. Es un enfoque por cuencas a escala grande que obliga a reducir la pérdida de suelo.	Dymond J.R. <i>et al.</i> (2006)
	Zona de Collazzone, Italia	En promedio de 884 mm				Travertinos, areniscas, capas de margas y calizas		X						Da buenos resultados al establecer claramente los criterios.	Guzzetti F. <i>et al.</i> (2006)

Tabla 4. Estudios realizados sobre procesos de remoción en masa (deslizamientos) con el uso de métodos cuantitativos y cualitativos.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

A NIVEL INTERNACIONAL	Parte central de Slovenia, al oeste de Ljubljana						X							Con un acierto del 80 %. No es posible determinar la frecuencia debido a datos insuficientes.	Komac, M., (2006)
	Vorarlberg, Austria					Rocas calizas			X					Se puede aplicar a otras regiones con características geológicas similares.	Ruff M, Czurda K (2008)
	Municipio de Mrembilla, Italia.					Rocas carbonatadas		X						Puede usarse en otros sitios con condiciones diferentes.	Melchiorre C. et al (2008).

Tabla 4. Estudios realizados sobre procesos de remoción en masa (deslizamientos) con el uso de métodos cuantitativos y cualitativos.

A. La tecnología en la zonificación de los deslizamientos de tierra

El análisis de los deslizamientos requiere de un amplio número de parámetros de entrada, así como el apoyo de técnicas de análisis que pueden ser costosas y consumir tiempo. Para ello, el desarrollo de las geotecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Percepción Remota y los sistemas de geoposicionamiento global (GPS) - cuyo uso se ha incrementado en las últimas décadas- han creado oportunidades para detallar y analizar rápidamente el peligro por deslizamiento (Carrara *et al.*, 1999).

El uso de las imágenes de satélite en estudios de deslizamientos de tierra, se inicio a mediados de los años setenta, pero sólo a nivel científico, de forma restringida, debido entre otras causas a disponibilidad de fondos e imágenes, a la falta de conocimiento sobre la aplicabilidad de la diferentes tipos de sensores remotos y a la cooperación limitada entre los diversos grupos de investigación (Mantovani *et al.*, 1996). En la actualidad las imágenes de satélite disponibles (SPOT, LANSAT TM, JERS-1, entre otros) son en su mayoría útiles como método indirecto; esta tecnología puede usarse en la elaboración de inventarios de movimiento de remoción en masa y de mapeo de factores que los controlan (Temesgen *et al.*, 2001), o bien para su monitoreo. Hervás y Barredo (2001) utilizan esta herramienta para elaborar el mapa de cambio de uso de suelo como un factor condicionante en la generación de deslizamientos. De La Ville *et al.*, (2002) llevaron a cabo un estudio en zonas montañosas en Venezuela, con el uso de imágenes IKONOS, que permitieron recabar datos con un nivel de detalle alto en zonas poco accesibles. Autores como Alcántara *et al.*, (2006) destacan su importancia como una herramienta útil en los estudios de deslizamientos a escala local y regional, principalmente para analizar la relación entre la fragmentación de la vegetación con la incidencia espacial de los deslizamientos en la región de la Sierra Norte de Puebla, México. También Borja-Baeza *et al.* (2006) llevaron a cabo un estudio similar al anterior en Zacapoaxtla, Puebla, utilizando imágenes IKONOS; al igual que Ochoa y Parrot en el año 2007.

Por otra parte, las primeras aplicaciones de un prototipo de sistema de información geográfica, en el análisis de la zonificación del peligro por deslizamiento, data de finales de

los años setenta con los trabajos elaborados por Carrara *et al.*, (1978), Huma y Radulescu, (1978), Radbruch-Hall *et al.* (1979). Durante los ochenta, el mapeo de la inestabilidad de laderas, se incrementó debido al desarrollo comercial de éstos; apareciendo plataformas como ARC/INFO, Intergraph, SPANS, ILWIS e IDRISI y el incremento de computadoras personales. Algunos ejemplos son los trabajos elaborados por Kienholz *et al.* (1988) que usaron los sistemas de información geográfica para realizar un análisis de peligros montañosos, cuya base fue la interpretación detallada de fotografías aéreas y los datos geomorfológicos (Van Westen, 1994).

Actualmente, el uso de estas técnicas es fundamental, en el análisis de peligro por deslizamientos, debido a las ventajas que brindan: la capacidad de almacenar numerosa información para examinar cada factor o la combinación de aquéllos; reducción de tiempos y costos; además, si la información es confiable, los resultados ayudarán a elaborar modelos o escenarios, los cuales son útiles en la reducción del riesgo y, con ello, el desastre (Aceves-Quesada *et al.*, 2006; Castellanos y Van Westen., 2008; Cevik y Topal, 2003; Champati, 2004; Komac, 2006; Liu *et al.*, 2004; Ranjan *et al.*, 2008).

B. Zonificación de peligros por deslizamientos en México

En el caso de México, una de las instituciones que realiza trabajos sobre zonificación y riesgos por deslizamientos de tierras es el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), quien propone una metodología para estimar el peligro, basado en la UNESCO.

Diversos estudios sobre zonificación de procesos de remoción en masa se han llevado a cabo en la región de la Sierra Norte de Puebla, tales como, Cuanalo-Campos y Melgarejo-Palafox (2002) quienes elaboran un mapa preliminar de riesgo por deslizamientos en el estado de Puebla; Borja-Baeza y Alcántara-Ayala (2004) realizaron un estudio de análisis de inestabilidad de laderas en Zacapoaxtla, Puebla, a partir de la modelación de la interacción del relieve, la concentración de la humedad y las propiedades de los materiales; utilizaron el índice de estabilidad SINMAP (*Stability Index Mapping*) a través de un Modelo Digital del Terreno (MDT), con el uso de un SIG (Arc View); Zaragoza-Zúñiga

(2006) elaboró un mapa de susceptibilidad a procesos de ladera en la región de Cuetzalan, que incluye los estados de Puebla y Veracruz, con un enfoque geomorfológico consideró la información geológica, genética, morfológica, dinámica y edad relativa del relieve, así como características morfométricas; Hernández-Mena (2008) realizó un mapa de susceptibilidad a procesos de remoción de masas bajo un análisis discriminante entre dos grupos: estable-inestable y factores generadores en la región de Zapotitlán de Méndez, Puebla; Borja-Baeza *et al.* (2006) elaboraron un mapa de riesgo por procesos de remoción en masa con base en índices de vulnerabilidad socioeconómico y mapas geológico y geomorfológico, así como, la distribución espacial de los movimientos. En ésta misma región, Ochoa-Tejeda (2004 y 2009) realizó un mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla y en la zona de La Soledad, a partir de modelos digitales del terreno e imágenes de satélite.

En la Sierra de Guadalupe, Distrito Federal, se realizó un trabajo de investigación sobre procesos de remoción masa con un enfoque geomorfológico, asociados con la sismicidad de la zona (Fraustro, 1999); además García-Palomo, *et al.* (2006) elaboraron un mapa de inventario de procesos de remoción en masa.

I.2.5 Las técnicas del análisis multicriterio en la zonificación del peligro

El método de Evaluación Multicriterio es considerado semicuantitativo y definido como un conjunto de técnicas orientadas a asistir los procesos de toma de decisiones. Consiste en el manejo y procesamiento de datos, que comprende desde la sobreposición simple de mapas temáticos, para la identificación de áreas con condiciones específicas, hasta la utilización de operadores matemáticos o modelos numéricos integrados para la predicción de la dinámica de los fenómenos naturales (López-Blanco, 2005).

En el ámbito de la geografía, se aplica en la evaluación de cambios de uso de suelo y cobertura del mismo, conservación de recursos naturales, evaluación de peligros naturales y la prevención de desastres (Chen *et al.*, 2001; Aceves-Quesada *et al.*, 2006, Komac 2006; Castellanos y Van Westen, 2008, Muñiz-Jáuregui, 2009) (Tabla 5). En el caso de la inestabilidad de laderas, sirve para cuantificar los juicios u opiniones de los especialistas

involucrados en la importancia de cada uno de los criterios usados para determinar las zonas de susceptibilidad a deslizamientos.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEOYAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

Lugar	Condiciones Bioclimáticas			Pendiente	Geología	Suelos	Observaciones	Autores
	Clima	Vegetación	Uso de suelo					
Guantánamo, Cuba	Clima húmedo cálido, con lluvias de hasta 1,100 mm		Vegetación densa y cultivos de té.	24° en promedio	Sedimentarias con presencia de fallas y fracturas	Altamente arcillosos	La falta de información histórica y geotécnica impide el desarrollo de modelos cuantitativos determinista o probabilística	Castellanos Abella E A, Van Westen C J (2008).
Findikli, Turquía	Húmedo		Densa vegetación en la zona de montaña y dispersa en las partes bajas	35° en promedio	Andesitas, dacitas, sedimentarias y aluviales		Los parámetros considerados son analizados por medio de procesos por matemáticos fiables como el enfoque Análisis Jerárquico	Akgun., <i>et al.</i> ,(2008).
Ayvalik, Turquía	Árido y con altas temperaturas			Entre 3° y 47°	Sedimentarias, metamórficas y volcánicas		La utilidad y la eficacia del método se reforzó con los datos numéricos establecidos, aplicando un valor de peso a partir de una matriz de comparación de pares	Akgun y Türk (2010).
Ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco	Tropical húmedo		Poca vegetación en la zona de montaña	35° en promedio	Aluvión, sedimento fluvial, secuencia terrígena superior e inferior, secuencia vulcanosedimentaria andesítico, granito y secuencia vulcanosedimentaria		El método empleado fue apoyado con un valor de peso a partir de una matriz de comparación de pares	Muñiz-Jáuregui, 2009

Tabla 5. Estudios realizados sobre procesos de remoción en masa (deslizamientos) con la aplicación del método de Análisis Multicriterio.

I.3 VULNERABILIDAD

I.3.1 Concepto

La palabra vulnerabilidad proviene del latín “*vulnerare*” que significa “herida” y se refiere a la exposición a un daño físico o moral (Alexander, 2004); siempre se ha relacionado con el tema de desastres y riesgos, por tanto, ha sido definida en diferentes contextos. Por ejemplo, desde el punto de vista de la ingeniería, la vulnerabilidad se refiere a la capacidad de resistencia de los materiales que constituyen las construcciones (edificios, puentes, casas, fábricas, entre otros), pero en un contexto social y económico es usualmente definida como una serie de condiciones que afectan a la capacidad de una población para responder ante un peligro, o bien, la propensión de la sociedad para experimentar un daños sustanciales que resultan de un peligro (Twigg 1998).

Una de las primeras definiciones fue la de de Westgate y O’Keefe en 1976 (Alcántara-Ayala, 2002), quienes la consideran como el grado en que una comunidad está en riesgo ante la ocurrencia de un fenómeno natural extremo, donde los factores socioeconómicos y políticos pueden afectar la capacidad para absorber y recuperarse.

La UNDR0 (1979)(United Nations Disaster Relief Organization) la define como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala de 0, o sin daño, a 1 o pérdida total.

Para Maskrey (1993) la vulnerabilidad es la incapacidad de una comunidad para “*absorber*”, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su “*inflexibilidad*” o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que constituye un riesgo.

Wisner *et al.* (2004) señalan que vulnerabilidad se refiere a las características de una persona o un grupo y su situación, que influyen en la capacidad para anticiparse, enfrentarse, resistirse y recuperarse del impacto de un peligro natural. Esto implica una combinación de factores que determinan el grado de riesgo de la vida de alguien, sus

propiedades y otros elementos. Estos autores definen a la vulnerabilidad en el sentido de la seguridad, no de la capacidad (entendida como la habilidad de un grupo o casas para resistir los efectos de un peligro y rápida recuperación), además de entenderla como posibles daños a futuro, en el momento del fenómeno.

Para la International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2004 citado en Walter, 2004), significa el déficit de capacidades para hacer frente al peligro. Calderón-Aragón (2001) define a la vulnerabilidad como un conjunto de variables asociadas a los sistemas de vida, esto es niveles de ahorro, e ingresos y la autoprotección; con la conciencia que tiene la comunidad ante un fenómeno al cual puede estar expuesto, así como las experiencias que han tenido ante dicho fenómeno, y por último, la protección social, que está determinada por los programas o acciones que los niveles del estado (federal, estatal y municipal) realizan como protección. Estos pueden ser las normas de restricción para la construcción es un sitio poco seguro o para las construcciones, el ordenamiento territorial, o bien los esquemas de seguros de vida o para los bienes.

En términos generales, la vulnerabilidad significa la posibilidad de pérdida, la cual varía en tiempo y espacio; su estudio va a depender de la perspectiva y orientación con que se aborde, pero es posible identificar tres principios. El primero se refiere a la identificación de condiciones que hacen vulnerable a la población o lugares a eventos naturales, es decir, un modelo de exposición; el segundo a la consideración de que la vulnerabilidad es una condición social, una medida de la resiliencia a un peligro y finalmente, la integración de la exposición y la resiliencia (Cutter *et al.*, 2003).

I.3.2 Características

Autores como Aneas de Castro (2000), Calderón-Aragón (2001), Cardona (2001), Becerra-Pineda y Cortés-Ortiz (2006), entre otros, resaltan la importancia de estimar el riesgo desde una perspectiva holística, integradora, multidisciplinaria, que englobe tanto al sistema perturbador como a los sistemas afectables; no sólo a las víctimas o pérdidas económicas esperadas, sino también a los factores sociales, organizacionales, institucionales que permiten el desarrollo de las comunidades, entendiendo estos últimos como la

vulnerabilidad, considerada como un factor interno de riesgo. Por tanto, la vulnerabilidad es producto de la susceptibilidad de los elementos expuestos, fragilidades sociales y la falta de resiliencia (Cardona, 2001); esta puede ser global, producto de los diferentes aspectos de la misma: física, política, social, educativa, económica, política, institucional, ambiental (Wilches Chaux, 1988).

Aysan (1993) reconoce diferentes formas de vulnerabilidad: carencia a los recursos materiales y económicos; desintegración de patrones sociales (vulnerabilidad social); carencia de una fuerte estructura institucional tanto nacional como local (vulnerabilidad organizacional); carencia al acceso de la información y conocimientos (vulnerabilidad educativa); acceso limitado al poder y representación político (vulnerabilidad política); vulnerabilidad cultural; y finalmente construcciones débiles (vulnerabilidad física). Sin embargo, es posible agruparlas en cuatro principales grupos: social, económico, política y cultural (Alcántara-Ayala, 2002).

El análisis de la vulnerabilidad debe ayudar a entender las circunstancias que ponen a las personas en riesgo, así como las condiciones que reducen su capacidad para responder ante las amenazas del medio ambiente y proporciona una base para el riesgo, el peligro, y la reducción de desastres. Se debe integrar las construcciones de exposición, riesgo, resiliencia, sensibilidad diferencial y la recuperación/mitigación, lo que puede asemejar a una ciencia de la sostenibilidad (National Research Council, 1999; Kates *et al.*, 2001, en Cutter 2003) que emplea conceptos como la susceptibilidad, resistencia, flexibilidad y adaptación, pero las aplica más a nivel local para tratar de entender los riesgos ambientales y sus impactos adversos (*Ibid.*).

La exposición es definida como el grado, duración y/o extensión, en el que el sistema o elemento está en contacto o sujeto a una perturbación con otro (Adger, 2006; Kaspersen *et al.*, 2005 en Gallopín, 2006), y es un elemento que constituye a la vulnerabilidad. Sin embargo, Bohle (2001 en Gallopín, 2006), reconoce una diferencia cualitativa entre la exposición (elemento externo de la vulnerabilidad) y la adaptación (elemento interno). La exposición es el resultado de la relación entre el sistema y perturbación, más que dentro del

mismo sistema; pero autores como Gallopín (2006), no consideran a la exposición como un elemento de la vulnerabilidad, sino como una función de la sensibilidad del sistema y la capacidad de respuesta, la transformación sufrida por el sistema, las propiedades de la perturbación, y la exposición del sistema a la perturbación.

El término de resiliencia es originado en la ecología, y fue definido por Holling en 1973 (Gallopín, 2006) como una medida de persistencia de los sistemas y su capacidad para absorber los cambios y disturbios para continuar manteniendo las mismas relaciones entre ellos, y ha sido usado en los sistemas sociales. Adger (2006) la define como la habilidad de un grupo o comunidad para hacer frente a las tensiones y disturbios externos resultado de un cambio social, político y ambiental (Gallopín, 2006). Walker *et al.* (2004) consideran a la resiliencia como la capacidad de un sistema para absorber una perturbación y reorganizarse, mientras que en el proceso de cambio a fin de conservarse, sigue teniendo la misma función, estructura, identidad, y la retroalimentación (Gallopín, 2006).

I.3.3 Complejidad

Los primeros aportes sobre la vulnerabilidad fueron de Westgate y O'Keefe (1976), al definir al desastre como la interacción entre un fenómeno físico o natural extremo y la vulnerabilidad de un grupo de personas, originando una transformación, destrucción, pérdidas humanas y daños (Alcántara-Ayala, 2002).

Sin embargo, abordar la vulnerabilidad resulta complejo desde el concepto mismo hasta su evaluación, lo que ha sido objeto de un gran debate entre las diversas perspectivas que lo abordan (científicas físicas y sociales) (Mustafa *et al.*, 2008). Desde el punto de vista de las ciencias naturales o físicas, los aportes de las tecnologías en las últimas décadas no han podido predecir algún evento, pero sí establecer sistemas de alerta, lo que no ha sido suficiente para entender las pérdidas o daños provocados por el fenómeno. Por otro lado, desde el punto de vista de las ciencias aplicadas, en los años setenta con los trabajos de Robert Withman (1973) en Boston y Michael Fournier D'Albe (1985) en Europa, se hicieron grandes aportes a la estimación de los daños para el caso de los sismos, haciendo énfasis en que además de la severidad del fenómeno también se debe considerar a la

fragilidad o vulnerabilidad de los elementos expuestos. Para el caso de las ciencias sociales, en los años noventa, se consideró que la vulnerabilidad tiene un carácter social o determinantes demográficas, como la distinguieron las ciencias naturales y aplicadas (Cardona 2001).

Desde los años 90's la perspectiva social ha realizado importantes aportes al estudio de la vulnerabilidad. Autores como Maskrey (1993), Lavell (1996), Cardona (1996), Wiches-Chaux (1989), Mansilla (1996), consideran que la vulnerabilidad se configura socialmente, y es el resultado de procesos económicos, sociales y políticos, por lo que hay que considerar aspectos físicos y factores sociales como la fragilidad de las economías familiares y colectivas, la ausencia de servicios sociales básicos entre otros.

No obstante, un nuevo enfoque se ha propuesto en los últimos años, que es considerar a la vulnerabilidad desde punto de vista de un sistema socio-ecológico (Adger 2006; Janssen *et al.*, 2006, Gallopín, 2006), en el que se argumenta que la unidad natural de análisis para la investigación del desarrollo sostenible es el sistema socio-ecológico que incluye a los subsistemas sociedad (humana) y ecológico en interacción mutua. Para esta perspectiva, un sistema, ya sea una comunidad, una ciudad o un ecosistema, puede ser vulnerable a una cierta perturbación, pero persisten sin problemas en la medida que no esté expuesta a ella, y pone como ejemplo una persona con bajas defensas inmunológicas que puede ser vulnerable a enfermedades infecciosas sin estar expuesto a ambientes infecciosos. Este enfoque surgió a raíz de que durante la década de 1990, las investigaciones en el tema de peligros naturales comenzó a centrarse en la vulnerabilidad de las personas a los impactos del cambio ambiental, especialmente el cambio climático (Janssen *et al.*, 2006).

Lo anterior se acentúa con la visión de Cutter (2003), quien sugiere que la vulnerabilidad debe ser abordada bajo un enfoque integrador para explicar las interacciones naturales y sociales, puesto que la vulnerabilidad puede referirse a los individuos (personas, estructura de la vivienda), grupos, sistemas, o los lugares y las diferencias de escala de análisis y debe basarse en la integración y la multidisciplinariedad de investigación de peligros (Mileti 1999; Cutter, Mitchell y Scott, 2000; Cutter 2001a; Montz, Cross, Cutter, 2003, en Cutter,

2003). De este modo, las investigaciones deben considerar la exposición (condiciones que hacen que las personas o lugares vulnerables a los riesgos), la vulnerabilidad, como la condición social (medida de la resistencia a los riesgos), y la integración de las exposiciones potenciales y la resistencia de la sociedad (Cutter, 1996 y Cutter *et al.*, 2003, en Adger, 2006).

Otro aspecto que hace complejo el estudio de la vulnerabilidad es la variedad de las escalas de análisis. Fekete *et al.*, (2010) consideran que para el estudio de la vulnerabilidad es importante el factor de la escala, es decir, el nivel de análisis; lo anterior debido a tres razones importantes, la primera que tiene que ver con la definición de una localidad o sitio de análisis, la segunda se refiere a que los procesos y sistemas que operan en una amplia variedad de escalas de tiempo y espacio, y requieren un enfoque integral con múltiples escalas; y finalmente, la interacción entre escalas la cual va ejercer una influencia decisiva en la escala de salida del análisis. El uso de diferentes escalas implica también las posibilidades de interacción de escalas y la comparación. Disciplinas como la geografía, la ecología, estudios de cambio climático global, percepción remota, sistemas de información geográfica han enriquecido este punto.

Finalmente, en el ámbito de la vulnerabilidad social la temporalidad ha sido ampliamente reconocida, entendida como de una manera historicista, en la que los cambios en la vulnerabilidad se asigna de forma dinámica durante un tiempo (multiescalar) lineal, incrementando la complejidad de los estudios. Vries (2007) realiza una investigación sobre la influencia en la vulnerabilidad de los modelos históricos y las condiciones ecológicas históricas y menciona que incluso se puede diferenciar una vulnerabilidad histórica de las vulnerabilidades físicas y económicas, que para una gestión activa, pueden ser vista como herramienta para el fortalecimiento de la capacidad de resistencia y supervivencia dentro de los sistemas culturales, entendiendo al fortalecimiento como la capacidad de las poblaciones para adaptarse y responder al entorno dinámico, multiescalar que los expone a riesgos potencialmente catastróficos.

I.3.4 Propuestas metodológicas para el análisis de la vulnerabilidad

Las investigaciones sobre vulnerabilidad han sido enfocados a su definición y a la identificación de los factores causales (Twigg, 1998) y se han propuesto modelos diseñados para comprenderla y conceptualizarla; un ejemplo es el modelo de “presión”, “ajuste” y “acceso” por Blaike *et al.* (1996), que permite trazar el progreso de la vulnerabilidad; además provee un marco de investigación sobre las personas vulnerables al acceso a los bienes, ingresos y otros recursos de la sociedad; pero limita el análisis en términos de relaciones cuantificables o predictivos (Adger, 2006).

El Instituto para la Mitigación de los Desastres (DMI, por sus siglas en inglés) de la India, usa un modelo de matrices para visualizar los diferentes elementos de la vulnerabilidad y la capacidad, donde la vulnerabilidad es vista como una falta de seguridad en áreas clave: alimento, agua, trabajo y hábitat. Estos modelos conceptuales permiten enmarcar preguntas y ordenar ideas, pero no proporcionan todas las respuestas, proporcionan un conocimiento básico y se deben manejar con cuidado (Twigg, 1998).

En los últimos años se ha dado un mayor interés en tratar de cuantificar la vulnerabilidad como una herramienta para la planeación y la formulación de políticas, lo que ha ocasionado debates sobre el uso equilibrado de datos cuantitativos y cualitativos y principalmente si es posible cuantificarla; estos esfuerzos han sido promovidos por agencias internacionales como Organización de las Naciones de América (NOAA y OAS, 2002), el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas (UNDP 2003) entre otras (Wisner *et al.*, 2004).

Birkmann (2006), señala que la habilidad para medir la vulnerabilidad es un requisito esencial para la reducción del riesgo de desastres, pero se requiere de habilidad para definirla y entenderla exactamente y, que el término “cuantificación de la vulnerabilidad” no abarca solamente aplicaciones cuantitativas, sino el desarrollo de métodos capaces de trasladar el concepto abstracto de la vulnerabilidad en herramientas prácticas para aplicarlo en el campo, por tanto, incluye indicadores cuantitativos y cualitativos, así como amplias evaluaciones aplicadas. La complejidad de su cuantificación radica en la reducción de la

amplia acumulación de datos para establecer los indicadores importantes y los criterios que faciliten la estimación de la vulnerabilidad, los cuales son herramientas clave para identificar y medir la vulnerabilidad y relacionarla con capacidades de confrontamiento. Como es un concepto multidimensional y rara vez bien definido, resulta difícil definir una metodología universal de medición, o para reducir el concepto en una sola ecuación.

Para poder evaluar la vulnerabilidad se han propuesto varias metodologías que han tratado de manejar los conceptos, así como la distribución de daños asociados a los niveles de pobreza, construcción de índices ponderados, o utilización de modelos econométricos. Algunos de estos métodos han sido cuestionados por su focalización y restricción para interpretar la interdependencia entre factores, sin embargo, han sido valiosos como aproximación al conocimiento o explicación de la vulnerabilidad de los grupos en estudio.

Cardona (2001) mide la vulnerabilidad con base a tres indicadores cuya sumatoria representa aspectos de exposición poblacional, económica y estratégica, la ausencia de desarrollo económico y social, así como las debilidades para absorber el impacto, las deficiencias de gestión institucional, y la falta de capacidad de respuesta en caso de emergencia. Para ello llevo utilizó un modelo matemático denominado *lógica difusa (redes neuronales)*, que permite la interacción entre las ciencias naturales, sus derivados tecnológicos y las ciencias sociales. Esta metodología la aplicó para evaluar el riesgo sísmico en Bogotá Colombia.

Cutter *et al.* (2003) desarrollaron el Índice de Vulnerabilidad Social (SoVI) para Estados Unidos, generado para cada ciudad, utilizando 11 variables, y las puntuaciones se asignaron sobre la base de las desviaciones estándar de la media en cinco categorías que van desde -1 en el extremo inferior a +1 en el extremo superior.

Mustafa *et al.* (2008) proponen un Índice de Vulnerabilidad y Capacidades (VCI), considerando las dimensiones material, institucional y de actitud, que permite medir la vulnerabilidad a nivel familiar y comunitario, tanto en áreas urbanas como rurales. Es una metodología que ha sido utilizada por organizaciones no gubernamentales, se aplicó al este

de Uttar Pradesh y costa de Gujarat (hogares rurales) en la India y siete comunidades urbanas en Rawalpindi, Pakistán (comunidad urbana).

En México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (2006) propone una metodología para evaluar la vulnerabilidad física y social, para ello aplica un índice que integra las características físicas de la vivienda que la hacen susceptible al daño asociado a sismo o viento:

$$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_M}$$

donde:

I_{vf} : representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda;

V_i : representa la calificación según el tipo de vivienda de acuerdo con el tipo (clasificación de INEGI)

V_p : vivienda con el peor desempeño en relación a su vulnerabilidad

P_i : nivel de peligro por sismo o viento en la zona en estudio

P_M : nivel de peligro máximo por sismo o viento

Para el caso de la vulnerabilidad social, ésta metodología se basa en información estadística de INEGI y CONAPO (Consejo Nacional de Población), diversos trabajos de investigación retoman esta metodología por su accesibilidad y fácil manejo de variables.

El método de análisis multicriterio no ha sido ampliamente utilizado para medir la vulnerabilidad. Aceves *et al.* (2007), realizaron una evaluación de la vulnerabilidad para el peligro del volcán Nevado de Toluca, aplicando la evaluación multicriterio integrado en ambiente de Sistema de Información Geográfica (IDRISI) a nivel municipal.

I.3.4.1 Indicadores para medir la vulnerabilidad

Para la medición de la vulnerabilidad en sus diferentes dimensiones, es importante desarrollar modelos con el uso de indicadores, que permitan medir y comparar la vulnerabilidad relativa de un lugar a otro (Cutter, 2003) y no solo se requiere abarcar enfoques cuantitativos, sino además efectuar la discusión del método utilizado para traducir el concepto abstracto de la vulnerabilidad en una herramienta aplicada (Birkmann, 2006), donde la complejidad de determinar el conjunto de indicadores y los criterios empleados que faciliten la estimación. En muchos casos, las herramientas y técnicas están disponibles

si se adaptan bien, pero hace falta el desarrollo conceptual de los indicadores más adecuados y definición de la escala, así como el subconjunto mínimo de indicadores que sentará las bases para llevar a cabo las comparaciones (Cutter, 2003).

Los indicadores y los criterios a escalas nacionales y locales deberán permitir a los tomadores de decisiones evaluar el impacto de los desastres (Naciones Unidas, 2005 en Birkmann, 2006) y se entiende como un signo que resume la información relevante de un fenómeno, o bien, es una variable (no valor) la cual va a representar un atributo que puede ser una cualidad o la característica de un sistema (Gallopín, 1997 en Birkmann 2006).

Contar con datos puntuales, seguros y accesibles es el principal problema cuando se trata de estimar la vulnerabilidad en distintos niveles. Aunque se puede encontrar bases de datos internacionales como por ejemplo el Centro para la Investigación sobre Epidemiología de Desastres (CRED), pero los datos están limitados para usarse a un nivel sub nacional o local. Existen datos que no tienen un carácter estadísticos y se obtienen a través de otros métodos, tal es el caso en el área de las ciencias sociales donde se aplican cuestionarios o muestreo de datos con el uso de enfoques participativos (Birkmann, 2006).

A continuación se presentan algunos índices propuestos para medir la vulnerabilidad.

A. Índice de Desarrollo Humano

El índice de desarrollo (IDH) es utilizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD –por sus siglas en inglés, 2004), está basado tres variables básicas, la esperanza de vida (78 años), el alfabetismo (100%) y el ingreso per cápita.

Un aspecto importante que destaca el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, es diferenciar el desarrollo humano de acuerdo al sexo, ya que es difícil aceptar que aún persisten las desigualdades de género, incluso cuando no siempre se cuente con la información específica, tal es el caso del ingreso per cápita, el cual se sabe que es inferior en las mujeres, a pesar de que no se cuente con el dato individual. A medida que los países se acerquen a un desarrollo humano mayor, se notará la tendencia que el índice femenino sea igual o supere al índice masculino. Los criterios que el PNUD utiliza han sido

propuestos para llevarse a cabo en escala nacional, algunos son pueden representar una información incompleta, a continuación se listan los 56 criterios que conforman el índice:

1. **Acceso al agua potable:** (porcentaje de la población, siempre y cuando no estén contaminadas).
2. **Acceso a servicios de salubridad:** (porcentaje de la población que tiene acceso para la disposición de excrementos y basura, incluye letrinas exteriores y fertilización compuesta).
3. **Ahorro interno (bruto):** PIB menos el consumo gubernamental y privado.
4. **Asistencia alimentaria en cereales:** (incluye trigo, arroz, granos gruesos y cereales compuestos).
5. **Asistencia oficial para el desarrollo:** se refiere a loa apoyos otorgados por organismos oficiales miembros del Comité de Asistencia para el Desarrollo (CAD), la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED), Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), con el objetivo de promover el desarrollo económico y bienestar, incluido la cooperación y asistencia técnica.
6. **Bajo peso al nacer:** (porcentaje de bebés que nacen con un peso inferior a 2,500 gramos).
7. **Bajo peso (desnutrición infantil moderada y severa):** porcentaje de niños menores de cinco años que presentan un valor de desnutrición inferior a menos dos desviaciones estándar del peso medio correspondiente de dicha edad correspondiente en la población de referencia.
8. **Brecha hombre-mujer:** Es una serie de estimativos nacionales, regionales y otros en que las cifras correspondientes a mujeres se expresan en relación con las cifras correspondientes a hombres indexadas para dar 100%.
9. **Brecha sur-norte:** Es una serie de estimaciones nacionales, regionales y otros en que las cifras correspondientes a mujeres se expresan en relación con las cifras promedio correspondientes todos los países industrializados, expresadas en forma de índices iguales a 100%.

10. **Coefficiente Gini:** Una medida que muestra que tanto se acerca una determinada distribución de ingresos.
11. **Consumo calórico diario per cápita:** el equivalente calórico de la provisión neta de alimentos en un país, dividido por el número de habitantes por día.
12. **Densidad de la población:** la cantidad total de habitantes dividida por el área de la superficie.
13. **Desarrollo menguado:** el porcentaje de niños entre 12 y 23 meses que registran un nivel inferior a menos de dos desviaciones estándar del peso medio por altura correspondiente de la población de referencia.
14. **Desempleados por educación como porcentaje del total de desempleados:** la cantidad de trabajadores profesionales, técnicos y relacionados (grupo principal 0/1 de la Clasificación Internacional Estándar de Ocupaciones ISCO y de trabajadores administrativos y gerenciales) registrados como desempleados como la porción del total de trabajadores que aparecen como desempleados actualmente disponibles y a los que buscan empleo.
15. **Disparidad entre sectores rurales y urbanos:** es una serie de estimaciones nacionales y regionales y otras en que todas las cifras rurales se expresan en relación con las cifras urbanas correspondientes, expresadas en forma de índices iguales a 100.
16. **Distribución del ingreso:** los ingresos tanto en dinero como en especie, correspondiente a grupos percentiles de hogares ordenados de acuerdo con el ingreso total el hogar.
17. **Educación primaria:** corresponden escuelas primarias o elementales, según el Estándar Internacional de Clasificación de la Educación (ISCED).
18. **Educación secundaria:** con base en por lo menos a cuatro años de instrucción previa en el primer nivel, que suministra instrucción general o especializada o ambas, escuelas secundarias, normales y escuelas con vocación o técnica.
19. **Educación terciaria:** de acuerdo a la ISCED, corresponde a niveles 5, 6 y 7, como universidades, escuelas normales superiores o instituciones educativas profesionales de nivel superior. Se evidencia un dominio de un nivel equivalente de conocimientos.
20. **Empleados:** se excluye a los oficios en el hogar.

21. **Esperanza de vida al nacer:** número de años que vivirían recién nacidos, de acuerdo a los patrones actuales de mortalidad vigentes en el momento de su nacimiento y que permanecieran estáticos durante toda su vida.
22. **Exportaciones de bienes y servicios:** el valor de los bienes y servicios no factoriales suministrados al resto del mundo, incluidos mercancías, fletes, seguros, y viajes entre otros.
23. **Falta de desarrollo:** niños entre 24 y 59 meses que registran un nivel inferior a menos de dos desviaciones estándar de la altura media por edad correspondiente a la población en referencia.
24. **Fuerza de trabajo:** PEA, incluidas las fuerzas armadas y desempleados, pero excluidas las amas de casa y trabajos no remunerados.
25. **Gastos de salud:** gastos efectuados en hospitales, centros de salud y clínicas, planes de seguros médicos y planificación familiar.
26. **Gastos en educación:** efectuados en la provisión, gestión, inspección y apoyo de escuelas preprimarias, primarias y secundarias; universidades e institutos de educación superior, instituciones de capacitación vocacional, técnica y otras, servicios administrativos y subsidiarios generales.
27. **Gastos gubernamentales:** incluyen los gastos en todas las oficinas, departamentos, establecimientos y otros organismos que actúan como agencias e instrumentos de la autoridad central de un país. Incluye tanto gastos corrientes como los de capital o desarrollo, pero excluye los gastos provisionales, locales o privados.
28. **Gastos militares:** gastos llevados a cabo por el Ministerio de Defensa u otras dependencias en el mantenimiento de las fuerzas armadas.
29. **Gastos per cápita reales:** gastos empleados en cada país en relación con los Estados Unidos, con base en total de la moneda nacional convertidos en dólares internacionales por el poder adquisitivo de dicho país
30. **Índice de producción de alimentos per cápita:** se refiere a la cantidad anual promedio de alimentos producidos per cápita en relación con aquellos producidos por en el año indexado. Por lamentos se refiere a nueces, legumbres, frutas, cereales,

hortalizas, caña de azúcar, aceites comestibles, ganado y productos derivados de la ganadería.

31. **Ingresos por empleado:** ingresos en precios constantes obtenidos mediante la deflación de los ingresos nominales por empleado, por el índice de precios al consumidor del país.
32. **Inmunizados:** se refiere a promedio de coberturas de vacunación de niños menores de un año, para los cuatro antígenos utilizados en el programa Universal de Inmunización Infantil.
33. **Línea de pobreza:** se refiere al nivel de ingresos por debajo del cual no es posible, desde el punto de vista económico, garantizar una dieta mínimamente adecuada en términos nutricionales, así como requerimientos alimenticios no esenciales.
34. **Partos atendidos:** atendidos por médicos, enfermeras, parteras, personal capacitado en atención médica primaria o auxiliares tradicionales de partos.
35. **PIB per cápita real:** se utiliza como factor de conversión paridades de poder adquisitivo (PPA), en vez de tipos de cambio, expresados en dólares internacionales.
36. **PNB per cápita y tasas de crecimiento:** es el PNB dividido por la población, se expresa en dólares norteamericanos corrientes.
37. **Población rural:** es el porcentaje de la población que vive en áreas rurales, determinado de acuerdo con la definición nacional utilizada en el censo de población más reciente.
38. **Población urbana:** es el porcentaje de la población que vive en áreas urbanas, determinado de acuerdo con la definición nacional utilizada en el censo de población más reciente.
39. **PIB:** es la producción total de bienes y servicios finales de una economía, realizada tanto por residentes como por no residentes, independientemente de la nacionalidad de los propietarios de los factores.
40. **PNB:** incluye el PIB más el ingreso factorial neto proveniente del exterior, que es el ingreso percibido por los residentes del exterior por concepto de servicios factoriales (trabajo y capital), menos los pagos similares efectuados a no residentes cuyos factores productivos contribuyen a la economía nacional.

41. **Razón de dependencia:** la relación de la población definida como dependiente, es decir, menos de 15 años y mayores de 64, con respecto a la población en edad laboral, esto es, entre 15 y 64 años.
42. **Razón de dependencia de importación de alimentos:** es la relación de importación con respecto a los alimentos disponibles para distribución interna, es decir, la suma de producción de alimentos, más la importación de alimentos menos exportación de alimentos. La razón neta de matrícula se refiere a la cantidad de alumnos matriculados en un nivel de educación y que pertenecen al grupo de edad correspondiente, expresada como porcentaje de la población incluida dentro de dicho grupo de edad.
43. **Requerimiento calórico diario per cápita:** es la cantidad promedio de calorías requeridas para sostener una persona en un nivel normal de actividad y salud, teniendo en cuenta la distribución por edad, peso, sexo y temperatura ambiental.
44. **Servicio de la deuda:** la suma de amortizaciones al capital y pagos de intereses sobre deuda externa pública, con garantía pública y privada sin garantías, efectuados en moneda extranjera, bienes o servicios.
45. **Superávit o déficit presupuestal:** son los ingresos corrientes de capital y donaciones recibidas, menos los gastos totales y préstamos, menos amortizaciones.
46. **Tasa de alfabetismo (adultos):** porcentaje de personas de 15 años a más que pueden, tanto leer como escribir una exposición corta y sencilla sobre la vida cotidiana.
47. **Tasa de crecimiento demográfico:** es la tasa anual de crecimiento de la población, calculada en la mitad del año.
48. **Tasa de deserción:** es la proporción de niños que ingresan al primer grado de la escuela primaria, pero que no culminan exitosamente dicho nivel a su debido tiempo.
49. **Tasa de fertilidad (total):** es el número promedio de hijos que nacerán vivos a una mujer durante su vida.
50. **Tasa de inflación:** tasa de inflación anual medida por el crecimiento del deflactor implícito del PIB para cada periodo considerado.
51. **Tasa de mortalidad:** es la cantidad de defunciones anuales por cada 1000 habitantes.

-
52. **Tasa de mortalidad en niños menores de cinco años:** es la cantidad de defunciones de niños menores de cinco años por cada 1000 nacidos vivos. Es la probabilidad de morir entre el momento de nacimiento y el momento en que cumplan cinco años.
 53. **Tasa de mortalidad infantil:** es la cantidad de defunciones anuales de niños menores de cinco años por cada es la cantidad de defunciones de niños menores de cinco años por cada 1000 nacidos vivos. Es la probabilidad de morir entre el momento de nacimiento y el momento en que cumplan el primer año de edad.
 54. **Tasa de mortalidad materna:** es la cantidad de defunciones de mujeres causada por embarazo, por cada 100000 nacimientos vivos.
 55. **Tasa de natalidad:** es el número de nacimientos anuales por cada 1000 habitantes.
 56. **Tasa de utilización de anticonceptivos:** es el porcentaje de mujeres casadas en edad de tener hijos que utilizan o cuyos maridos utilizan anticonceptivos de cualquier tipo.

B. Índice de Vulnerabilidad Prevalente (IVP) (Cardona, 2006)

Este índice caracteriza las condiciones predominantes de vulnerabilidad del país en términos de exposición en áreas propensas, su fragilidad socioeconómica y su falta de resiliencia, aspectos que favorecen el impacto físico directo y el impacto indirecto e intangible en caso de presentarse un fenómeno peligroso. Este índice es un indicador compuesto que intenta caracterizar, con fines de comparación, una situación o *pattern* de un país.

Las condiciones de vulnerabilidad inherente ratifican la relación del riesgo con el desarrollo (PNUD, 2004). El IVP es el promedio de los tres tipos de indicadores que son la exposición y susceptibilidad, fragilidad socioeconómica y resiliencia:

$$IV = (IVP_{Exposición} + IVP_{Fragilidad} + IVP_{Resiliencia})/3$$

Indicadores de exposición y susceptibilidad

- ES1. Crecimiento poblacional, tasa promedio anual en %
- ES2. Crecimiento urbano, tasa promedio anual en %
- ES3. Densidad poblacional en personas por área (cada 5 km²)
- ES4. Porcentaje de población pobre con ingresos menores a US\$ 1 diario PPP

- ES5. Stock de capital en millones de dólares por cada 1000 km²
- ES6. Valor de importaciones y exportaciones de bienes y servicios como % del PIB
- ES7. Inversión fija interna del gobierno como porcentaje del PIB
- ES8. Tierra arable y cultivos permanentes en porcentaje del área del suelo

Indicadores de fragilidad socioeconómica

Indicadores de pobreza, inseguridad humana, dependencia, analfabetismo, disparidad social, desempleo, inflación, dependencia, deuda y degradación ambiental. Son indicadores que reflejan debilidades relativas o condiciones de deterioro que agravarían los efectos directos causados por fenómenos peligrosos (Cannon, 2003; Davis, 2003, Wisner, 2003 en Cardona, 2006).

- FS1. Índice de pobreza humana, HPI-1, del informe de desarrollo humano
- FS2. Dependencia de la población vulnerable de la población en capacidad de trabajar (15-64)
- FS3. Desigualdad social, concentración del ingreso medida con base en el índice de Gini
- FS4. Desempleo como porcentaje de la fuerza total de trabajo
- FS5. Inflación, con base en el costo de los alimentos en % anual
- FS6. Dependencia del crecimiento del PIB de la agricultura, en % anual.
- FS7. Servicio de la deuda como porcentaje del PIB
- FS8. Degradación antropogénica del suelo (GLASOD)

Sin embargo, al igual que en la exposición es posible admitir que ciertos indicadores reflejan una situación comparativamente desfavorable, suponiendo que las amenazas naturales existen como un factor externo permanente sin precisar su caracterización.

Indicadores de (falta de) resiliencia

- FR1. Índice de desarrollo humano, DHI [Inv]
- FR2. Índice de desarrollo relacionado con género, GDI [Inv]
- FR3. Gasto social; en pensiones, salud y educación, como % del PIB [Inv]
- FR4. Índice de gobernabilidad, modificado de Kaufmann [Inv]
- FR5. Aseguramiento de infraestructura y vivienda como % del PIB [Inv]
- FR6. Televisores por cada 1000 habitantes [Inv]
- FR7. Camas hospitalarias por cada 1000 habitantes [Inv]
- FR8. Índice de sostenibilidad ambiental, ESI [Inv]

C. Indicadores de Cardona (2001)

Este autor propone indicadores para medir la vulnerabilidad, los cuales expresan aspectos de exposición poblacional, económica y estratégica, ausencia de desarrollo económico y social, debilidades para absorber el impacto, deficiencias en la gestión institucional y la falta de capacidad para dar respuesta en caso de emergencia. Para medir la vulnerabilidad, el autor propone criterios específicos para exposición, fragilidad social, falta de resiliencia, cabe mencionar que estos criterios son considerados solamente para el peligro sísmico

Criterios para medir la Exposición:

1. Población XE_1
2. Densidad poblacional, XE_2
3. Área construida, XE_3
4. Área industrial, XE_4
5. Área institucional, XE_5

Criterios para medir la fragilidad social:

1. Área de barrios marginales, XF_1
2. Mortalidad, XF_2 .
3. Delincuencia, XF_3 .
4. Disparidad social, XF_4

Criterios para medir falta de resiliencia:

1. Camas hospitalarias, XR_1
2. Recurso humano en la salud, XR_2
3. Espacio público, XR_3
4. Personal de rescate, XR_4
5. Nivel de desarrollo, XR_5
6. Operatividad en emergencias, XR_6

Con los siguientes descriptores

- Área destruida, IR_1
- Fallecidos, IR_2
- Heridos, IR_3
- Rotura de la red de acueducto, IR_4
- Rotura de la red de gas, IR_5
- Longitud de redes eléctricas caídas, IR_6
- Centrales telefónicas afectadas, IR_7

- Subestaciones eléctricas afectadas, IR₈, (.05)

D. Índice de Vulnerabilidad Social (SoVI) (Cutter *et al.*, 2003)

Es una medida relativa de la vulnerabilidad social cuyas puntuaciones o pesos se determinan con el uso de la desviación estándar. El uso de este índice apoya a la toma de decisiones identificando los factores que amenazan la sostenibilidad y estabilidad de un lugar, con el reconocimiento de grupos o ciudades más vulnerables aunque es necesario considerar también la integración de indicadores del tipo de peligro para justificar la selección de éstos grupos o ciudades. El índice utiliza los siguientes factores y variables.

Factores

- La riqueza personal
- Edad
- La densidad de zonas edificadas
- Sector de dependencia económica
- Viviendas y tenencia
- Raza (africana y americana)
- Origen étnico (hispano)
- Origen étnico (indígenas americanos)
- Raza (asiática)
- Ocupación
- Infraestructura
- Dependencia

Variables

- El ingreso per cápita
- La mediana de edad
- Establecimientos no comerciales
- Porcentaje de empleados en industria extractiva
- Porcentaje de unidades de vivienda que son casas móviles
- Porcentaje de afroamericanos
- Porcentaje de hispanos
- Porcentaje de nativos americanos
- Porcentaje de asiáticos
- Porcentaje de empleados en ocupaciones de servicios
- Porcentaje de empleados en transporte, comunicación y servicios públicos

E. Índice de Vulnerabilidad y Capacidad (VCI) (Mustafa *et al.*, 2008)

Este índice es una herramienta que permite organizar los datos y la recopilación de datos a través de cuestionarios. Mide la vulnerabilidad a nivel familiar y comunitario tanto en zonas rurales como urbanas y permite una comprensión objetiva de las dimensiones diferenciales de la vulnerabilidad (Mustafa *et al.*, 2008).

Indicadores para medir la vulnerabilidad material

1. Fuente de ingresos
2. Nivel de educación
3. Bienes
4. Exposición

Indicadores para medir la vulnerabilidad Institucional

1. Redes sociales
2. Lazos de parentesco
3. Infraestructura
4. Porcentaje de dependientes del hogar
5. Sistemas de alerta
6. Miembros de las minorías en religión o etnia

Indicadores para medir la vulnerabilidad actitudinal

1. Sentido del poder

ÁREA DE ESTUDIO

II.1 UBICACIÓN

El municipio de Temoaya se ubica en la porción oriental del Estado de México, a 20 km de la ciudad de Toluca, cuyas coordenadas son $19^{\circ} 28' 50''$ de latitud norte y $99^{\circ} 36' 12''$ de longitud oeste (Figura 1), a una altura de 2,680 metros sobre el nivel del mar. Limita con los siguientes municipios: al norte con Jiquipilco y Nicolás Romero; al sur, con Toluca y Otzolotepec; al este, con Isidro Fabela, Jilotzingo y Otzolotepec; y al oeste, con Ixtlahuaca y Almoloya de Juárez. Tiene una superficie de 199.63 km^2 , que equivalen al 0.88% de la superficie del Estado de México, con una altitud que va desde los 2,600 hasta los 3,300 msnm (Gobierno del Estado de México, 2003). Cuenta con una población de 90, 010 habitantes y está conformado por 67 localidades (INEGI, 2010).

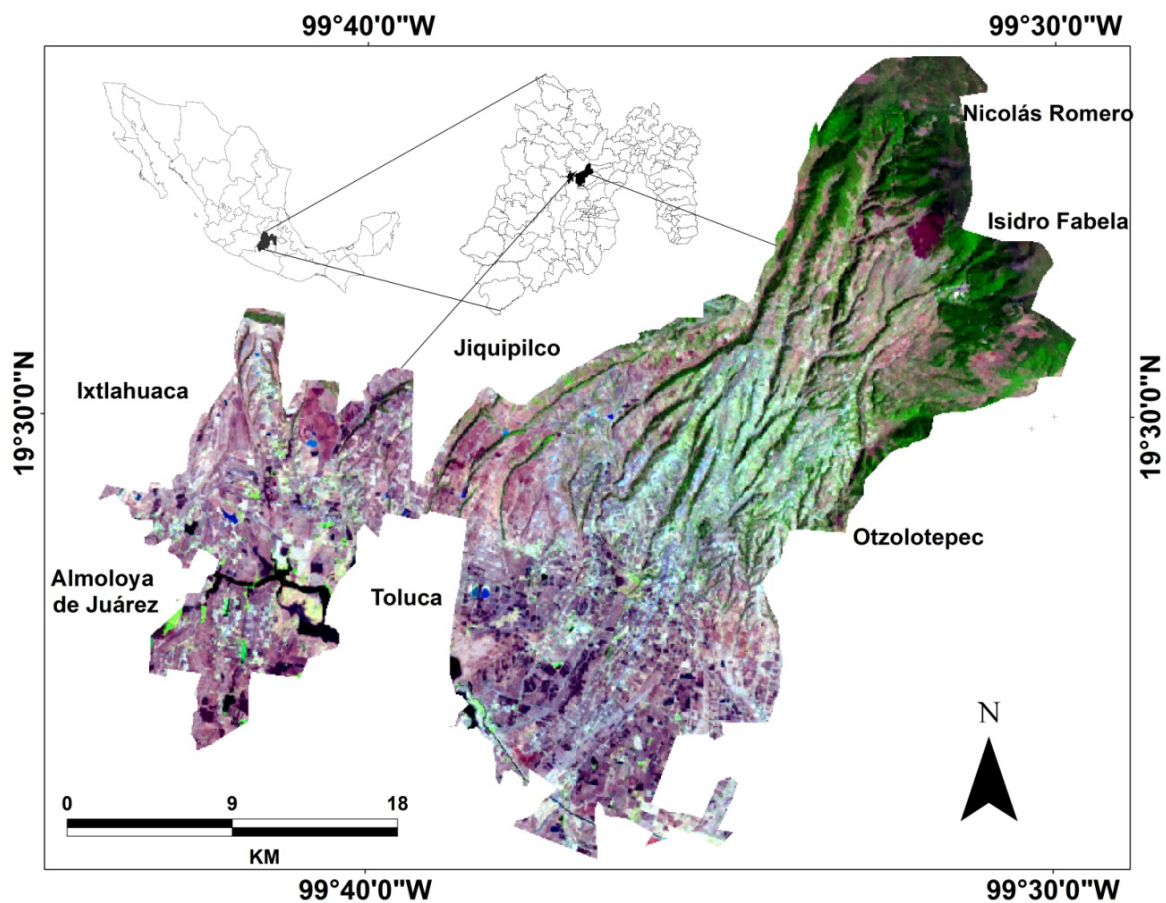


Figura 1. Ubicación de la zona en estudio.

II.2 GEOLOGÍA

A. Materiales geológicos

El territorio del municipio de Temoaya, Estado de México, se ubica en la vertiente occidental de la Sierra de Las Cruces y parte de la planicie aluvial del Río Lerma. La geología de la Sierra de Las Cruces ha sido estudiada por Ordoñez (1895), Fries (1960), Schlaepfer (1968), Mooser *et al.* (1974), Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989), De Cserna, (1974), Mora Álvarez *et al.* (1991), Delgado y Martin del Pozzo (1992), Osete *et al.* (2000), García-Palomo *et al.* (2008).

La Sierra de Las Cruces es una cadena montañosa con grandes desniveles e influencia de la tectónica y alineación de volcanes N-S y E-W; estas direcciones siguen también los escarpes erosivos (montañosos). Constituye la margen oriental de cuenca de Toluca, separándola de la cuenca de México, conformada por ocho estratovolcanes: Zempoala, La Corona, San Miguel, Salazar, Chimalpa, Iturbide, La Bufa y La Catedral, y otros de menor dimensión como es el volcán Ajusco. Dicha sierra es producto de la tectónica y alineación de volcanes N-S y E-W, así como de procesos de origen exógeno, principalmente fluviales que han modificado su morfología. La principal actividad volcánica abarca desde el Plioceno tardío hasta el Pleistoceno, se caracteriza por la emisión de derrames de lava, extrusión de domos, emisión de flujos piroclásticos, flujos de detritos y lodos y depósitos de avalancha (García-Palomo *et al.*, 2008). El piedemonte está conformado por depósitos vulcanoclásticos (Mooser *et al.*, 1996, lo denominan como formación Tarango) caracterizados por flujos de ceniza, flujos piroclásticos de bloques y cenizas y flujos de pómez. La planicie aluvial, conformada por depósitos aluviales lacustres de edad cuaternaria se localiza principalmente en el suroeste de la región. En la figura 2 se muestran las principales unidades geológicas del municipio de acuerdo a Mooser *et al.* (1996).

CAPÍTULO II. ÁREA DE ESTUDIO

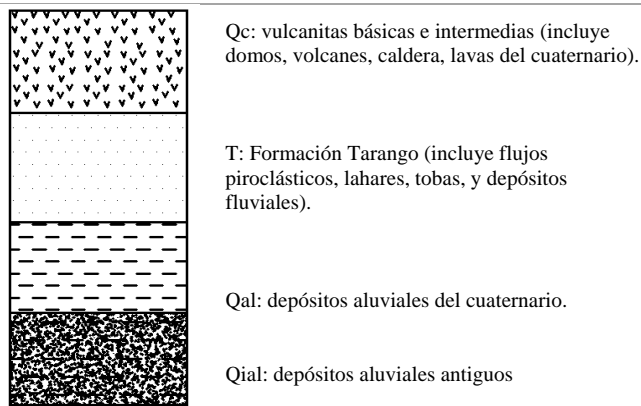


Figura 2. Principales unidades geológicas en el municipio de Temoaya, Estado de México.

Mooser *et al.* (1974) la consideraron como parte del Grupo Sierra Inferior y Grupo Sierra Superior, con un rango de edad del Mioceno-Plioceno, con inicios en el Plioceno superior, alcanzando su máximo desarrollo en el Pleistoceno (Mooser *et al.*, 1996). Dichos autores reportaron una edad radiométrica de un flujo de cenizas del volcán San Miguel denominado como “arenas azules”, con una edad de 9.8 ± 1.0 m.a. Sánchez Rubio (1978) señala una edad K-Ar de 7 m.a, y Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989) proponen una edad del Plioceno tardío.

1. Formaciones geológicas

La Formación Las Cruces descansa debajo de la Formación Ajusco, y está cubierta por piroclastos y lavas del Grupo Chichinautzin. Delgado y Martín del Pozzo (1992), identifican dos miembros: brecha piroclástica La Cantimplora y Miembro lava dacítica Apilulco. El primer miembro denominado como Brecha piroclástica La Cantimplora está constituido por depósitos de flujos de bloques y ceniza, y lahares. Los depósitos de lahar no están consolidados, se pueden observar en una corriente reciente que corta canales antiguos, formados por bloques angulares y subangulares; la mayoría de los clastos son dacitas porfídicas de color gris claro, en una matriz de fragmentos líticos de la misma composición mezclada con arcilla. El flujo de bloques y cenizas es una brecha piroclástica soldada, que incluye lapilli y bloques de composición dacítica; el lapilli presenta cristales de plagioclasa, piroxeno, hornblenda y cuarzo; los bloques son subangulares y subredondeados, envueltos en una matriz de arena fina de color gris con abundantes líticos. Este depósito tiene un espesor

de más de 150 metros, se expone en el Valle de la Cantimplora y está cubierto por lava dacítica, flujos piroclásticos y lahar.

El segundo miembro lo denominan Miembro lava dacítica Apilulco, ampliamente distribuida, compuesta de flujos de lava dacítica, con una edad Plioceno-Pleistoceno temprano, basado en la denudación de la unidad.

De acuerdo con Mooser *et al.* (1996), la Sierra de Las Cruces está integrada por tres formaciones: la Chimalpa, Bobashi y Salazar, constituidas por andesitas y dacitas del Cuaternario originados por las estructuras que la conforman, domos, volcanes y calderas, cuya diferenciación no está clara. Sin embargo, distinguen varias complejos o grupos volcánicos: Caldera Catedral, Caldera Navajas, Caldera Jilotzingo y Rehilete Antiguo. Con influencia de un sistema de fallas normales, con dirección suroeste-noreste, este-oeste y noroeste-sureste (Díaz Pérez, 2001).

La formación Las Cruces está bordeada por la Formación Tarango, edad del Pleistoceno Tardío, descrita por Mooser *et al.* (1996), conformando al piedemonte, de origen volcánico acumulativo. La Formación Tarango está constituida en su parte inferior por tobas, aglomerados, depósitos fluviales, aluviales y horizontes de pómez. En su parte superior, predominan las cenizas, arenas gruesas de pómez y fragmentos andesíticas; todo el material volcánico y sedimentario está mezclado, dando la apariencia de de depósitos de nubes ardientes (Díaz Pérez, 2001). Cubre discordantemente a los depósitos lacustres Plio-cuaternarios.

2. Materiales volcánicos

El área está constituida por andesitas y dacitas, que conforman a los volcanes, calderas y domos de la sierra; en la porción del piedemonte, toba, y material aluvial que corresponde a la planicie (INEGI, 1975, Mooser *et al.* 1996).

Las dacitas están ampliamente distribuidas en la zona, son rocas porfídicas, de tono gris claro, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda oxidada, cuarzo y biotita (Sánchez Rubio, 1978). Mientras que las andesitas conforman derrames lávicos localizados en la parte norte del área en estudio.

CAPÍTULO II. ÁREA DE ESTUDIO

2.1 *Flujos piroclásticos*: se componen de pómez pliniana, secuencias de surges, ya sean planares o masivos, cristalinos, vítreos, y en ocasiones, pómez cubiertas por flujos piroclásticos generalmente no soldados de cenizas cristalinas, vítreas y, de pómez con o sin fragmentos y, en la mayoría de los casos de composición heterogénea; los flujos piroclásticos se encuentran cubiertas por ceniza vítreas. En algunos casos estos flujos se encuentran cubiertos o interestratificados con material aluvial y paleocanales fluviales (Díaz Pérez, 2001).

Este tipo de depósitos se encuentran ampliamente distribuidos en las zonas de montaña y piedemonte alto, aunque existen diferencias en cuanto a los materiales que los constituyen; por ejemplo, en la zona de la Caldera Jilotzingo, cerca del centro Ceremonial Otomí, sobre la carretera, se nota en un corte, un flujo piroclástico de bloques y cenizas poco consolidado, masivo, en una matriz arenosa, que puede sentirse al tocar el afloramiento; está constituido por materiales gruesos de dacita, que van desde los 3 a los 50 cm de diámetro (Figura 3). En la localidad de Jijipilco El viejo, se identificó un flujo piroclástico de cenizas y bloques, de color gris, masivo, constituido de arenas medias a finas, con materiales gruesos de dacitas, con tamaño que va de 3 hasta 20 cm (Figura 4).



Figura 3. *Flujos piroclásticos en la caldera Jilotzingo, Mooser et al. (1996). Presencia de paleosuelo (indicado con una línea roja).*



Figura 4. Flujo piroclástico cubierto por cenizas de color ocre.

En la localidad de Enthavi, se identifica un flujo piroclástico de bloques y cenizas, de color gris, consolidado, masivo, en una matriz arenosa, constituido por bloques de dacitas, con tamaños de hasta un metro de diámetro (Figura 5).



Figura 5. Depósitos vulcanoclásticos.

En la localidad de San Pedro El Alto 2ª. Sección, se identificó un flujo piroclástico de bloques y cenizas poco consolidado, masivo, en una matriz arenosa, constituido de bloques de pómez de tamaños de 3 hasta 50 cm (Figura 6).



Figura 6. Depósito vulcanoclástico.

A unos 500 m aproximadamente del punto anterior, se identificó otro depósito de flujo piroclástico, de color gris, constituido de material arenoso, con algunos fragmentos de dacita, gruesos de tamaño del tamaño de las gravas (Figura 7).



Figura 7. Depósitos de flujo piroclástico.

2.2 *Lavas*. Este tipo de material se ubica principalmente en los edificios volcánicos como son la caldera Jilotzingo, volcán Catedral, conos volcánicos y coladas. Son de tipo dacítico y las más recientes son de tipo basáltico y andesíticos, cubiertas por tobas (Figura 8).



Figura 8. Lavas dacíticas cubiertas por un depósito de flujo piroclástico.

2.3 *Toba*. Son depósitos de material fino, que carecen de laminación dentro de las capas, pero se puede reconocer una cierta “estratificación”; se puede reconocer una toba de ceniza gruesa (1/16-2mm) y una toba de ceniza fina (<1/16 mm). Cuando son frescos adquieren un color gris, pero cuando han sido alterados por la intemperie son de color pardo y ocre. Este material se encuentra ampliamente distribuido en el municipio de Temoaya, cubriendo a depósitos de flujos piroclásticos y material aluvial. Son depósitos caracterizados por cenizas de textura media a fina, de color amarillo ocre, con espesores de entre 1 y 2 m.

3. Materiales aluviales

Son producto de transporte de flujos de agua y se depositan cuando la velocidad de la corriente baja; principalmente, son materiales finos, sueltos y sin cohesión, como arenas y limos, pero también pueden ser materiales gruesos. En la zona en estudio, los conglomerados y aluviales se encuentran distribuidos en el piedemonte bajo, principalmente en laderas de barrancos y están cubiertos por ceniza, son finos a gruesos y poco consolidados.

B. Fallas

En el municipio de Temoaya, Estado de México, se distingue la falla conocida como falla Otomí de tipo normal y de dirección este-oeste, con un desplazamiento vertical mínimo estimado de 100 metros; presenta un arreglo en *echelón* de fallas normales con buzamiento

hacia el sur y bascula depósitos vulcanoclásticos (García-Palomo *et al.*, 2008). Sin embargo Mooser *et al.* (1996) reconocen tres fallas normales, de las cuales dos coinciden con los valles fluviales de los ríos Miranda y Agua Apestosa, con dirección suroeste-noreste y la tercera corresponde a la falla Otomí, la cual en esta zona se identifica por escarpes y valles fluviales profundos (hasta 100 metros) y laderas rectas y bloques escalonados (Figura 11). La influencia de las fallas es clara en la topografía de la zona, el control estructural en los arroyos es evidente, ya que estos los de mayor longitud están asociados a fallas (García-Palomo *et al.*, 2008).

II.3 GEOMORFOLOGÍA

El territorio municipal en estudio, es morfológicamente un relieve montañoso. En este sentido las montañas representan uno de los ambientes morfológicos de la superficie terrestre más importantes; la mayoría de la población depende de los recursos de las montañas (agua, madera, minerales), así como en la calidad de vida (recreación, turismo y biodiversidad), y cuando se incrementa la presión de la sociedad sobre ellas, se desestabiliza, modificando los procesos naturales. Las laderas son un sistema donde se llevan a cabo relaciones complejas entre procesos y factores como el clima, tipo de roca y estructura, suelo y vegetación, (Ternhaile, 2010), y la entrada y salida de materia y energía proviene de varias fuentes. En consecuencia, la morfología de las laderas y los procesos están fuertemente relacionados con lo antes mencionado, así como el equilibrio que existe entre ellos, por tanto esta relación procesos-factores va a variar a lo largo de la ladera.

La montaña se caracteriza por ser una superficie rocosa, a partir de valores promedio de los 3,100 msnm, correspondiente a las estructuras volcánicas de La Catedral y Las Navajas. El piedemonte se identifica desde los 2,700 a los 3,100 msnm; es una superficie alargada, suavizada, su origen está asociado a las diferentes etapas volcánicas y erosivas-acumulativas que ha presentado la sierra de Las Cruces, origina una morfología de lomeríos o superficie mesiformes (García-Palomo *et al.*, 2008), por tanto, los materiales que lo conforman son de origen volcánico y aluvial. Uno de los rasgos que particularizan al piedemonte es el sistema de drenaje, con un arreglo paralelo y subparalelo, asociado a la propia morfología alargada del piedemonte, la influencia de fallas y el tipo de material poco consolidado, forman valles

fluviales en V, estrechos cuyos interfluvios presentan una superficie plana o convexa de escasos 50 a 100 metros en promedio, y con profundidades que oscilan entre los 60 y 100 metros, con pendientes en promedio de 30°; la gran mayoría de los valles fluviales muestran evidencias de actividad erosiva intensa, como son la presencia de cárcavas y numerosos canalillos en sus laderas y bordes. Por último, se encuentra la planicie aluvial, identificada a los 2,560 msnm, conformada por depósitos aluviales y lacustres de edad cuaternaria.

II.4 CLIMA

Debido a las diferencias altitudinales en la zona en estudio (2,600-3,300 msnm), el clima en el municipio de Temoaya es variado. Predominan tres tipos de climas: el primero Cw (w2) (w) b' (i') g' en las partes altas, es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, cociente $P/T > 55.3$, el porcentaje de precipitación invernal de $< 5\%$ con respecto a la total anual. Su temperatura media del mes más frío oscila entre -3° a 18°C , la temperatura de cuatro meses o más superior a 10°C . Tiene un verano largo (semifrío), y oscilación térmica entre 5° y 7°C . La temperatura del mes más caliente se presenta después del solsticio de verano.

Un segundo clima es Cw (w2) (w) big, el cual se distribuye en la mayor parte del piedemonte. Es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con cociente $P/T > 55.3$, y con un porcentaje de precipitación invernal de $< 5\%$ con respecto a la total anual. Su temperatura media del mes más frío oscila entre -3° a 18°C , la temperatura del mes más caliente $< 22^{\circ}\text{C}$. Tiene un verano largo (semifrío), con oscilación térmica de 5° . La temperatura del mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano. La distribución de las temperaturas medias anuales oscila entre los 4° y 10.3°C en zonas con una altitud superior a los 3,000 msnm; para los rangos altitudinales de 2600-3000 msnm es de entre 12.4° y 13.4°C , mientras que en la planicie fluctúan de 13.5 a 14.8°C . Durante el invierno las temperaturas medias mensuales oscilan entre 2.4° a 12.1°C ; las más bajas se registran en la parte alta de la Sierra de Las Cruces. En los meses de verano las temperaturas medias mensuales están en el rango de los 4.5° a los 16.6°C .

Por último, Cw (w2) (w) b (i') g, cubre parte del piedemonte bajo y la planicie. Es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con cociente $P/T > 55.3$, y con un porcentaje de

CAPÍTULO II. ÁREA DE ESTUDIO

precipitación invernal de <5% con respecto a la total anual. Su temperatura media anual oscila entre los 12° a 18°C, la temperatura del mes más frío es entre -3° a 18°C y la temperatura media del mes más caliente <22°. Tiene un verano largo con oscilación térmica entre 5° y 7°C. La temperatura del mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano, que se distribuye en la mayor parte del municipio (Alvarado-López, 2008).

Las lluvias más abundantes son en verano y otoño. Para el verano, los valores de precipitación medios varían entre 246 a 126 mm/mensual; los más altos se presentan en las zonas de mayor altitud. Las lluvias en invierno se reducen como consecuencia de los frentes fríos, y tienen un rango de 6 a 22 mm/mensual. De acuerdo con Alvarado-López (2008) la lluvia máxima en 24 horas se presenta durante los meses de julio a diciembre, mientras que en verano se registran valores de precipitación de 21.5 mm a 40.4 mm, a diferencia del invierno los valores oscilan entre 3.8 a 10.5 mm.

II.5 SUELOS

En el municipio de Temoaya predominan nueve tipos de suelo (Figura 9). Los Vertisoles son de color oscuro y textura fina, con un porcentaje de 30% o más de arcilla, son suelos de alta productividad (Sotelo *et al.*, 2008). Los Luvisoles son de color rojizo y su contenido de arcillas es alto. Ambos tipos se encuentran distribuidos en la porción sur del municipio. Los Feozem son de color oscuro, con alto contenido de materia orgánica, se ubican en la porción suroeste, principalmente en barrancos y sistemas montañosos. Los Planosoles están formados por depósitos aluviales, en morfologías planas o en laderas de ligera inclinación. Los Andosoles son de origen volcánico, de color oscuro y textura media, susceptibles a la erosión, se distribuyen en la porción oriental del municipio. Los Cambisoles presentan una capa superficial de color oscuro mayor de 25 cm de espesor, con alto contenido de materia orgánica, pero pobre en bases o nutrientes (Ca, Mg, k, Na) y son muy susceptibles a la erosión sin estar desprovistos de vegetación (FAO, 2006); se identifican en el área de estudio particularmente dos tipos, el eútrico y el crómico, éstos se encuentran en algunas laderas de barrancos. Los Fluvisoles se caracterizan por ser suelos jóvenes que se desarrollan en depósitos aluviales, y en menor escala en depósitos lacustres; en el municipio este tipo de suelo solo ocupa una mínima porción en el extremo noroeste, cerca de la presa “Antonio

CAPÍTULO II. ÁREA DE ESTUDIO

Alzate”. Los Litosoles son suelos que se encuentra en todos los tipos de rocas y climas, son suelos poco profundos, de no más de 10 cm, son fáciles de ser erosionados, generalmente son arenosos, aunque pueden tener una textura arcillosa; se encuentran localizados al sur de la cabecera municipal.

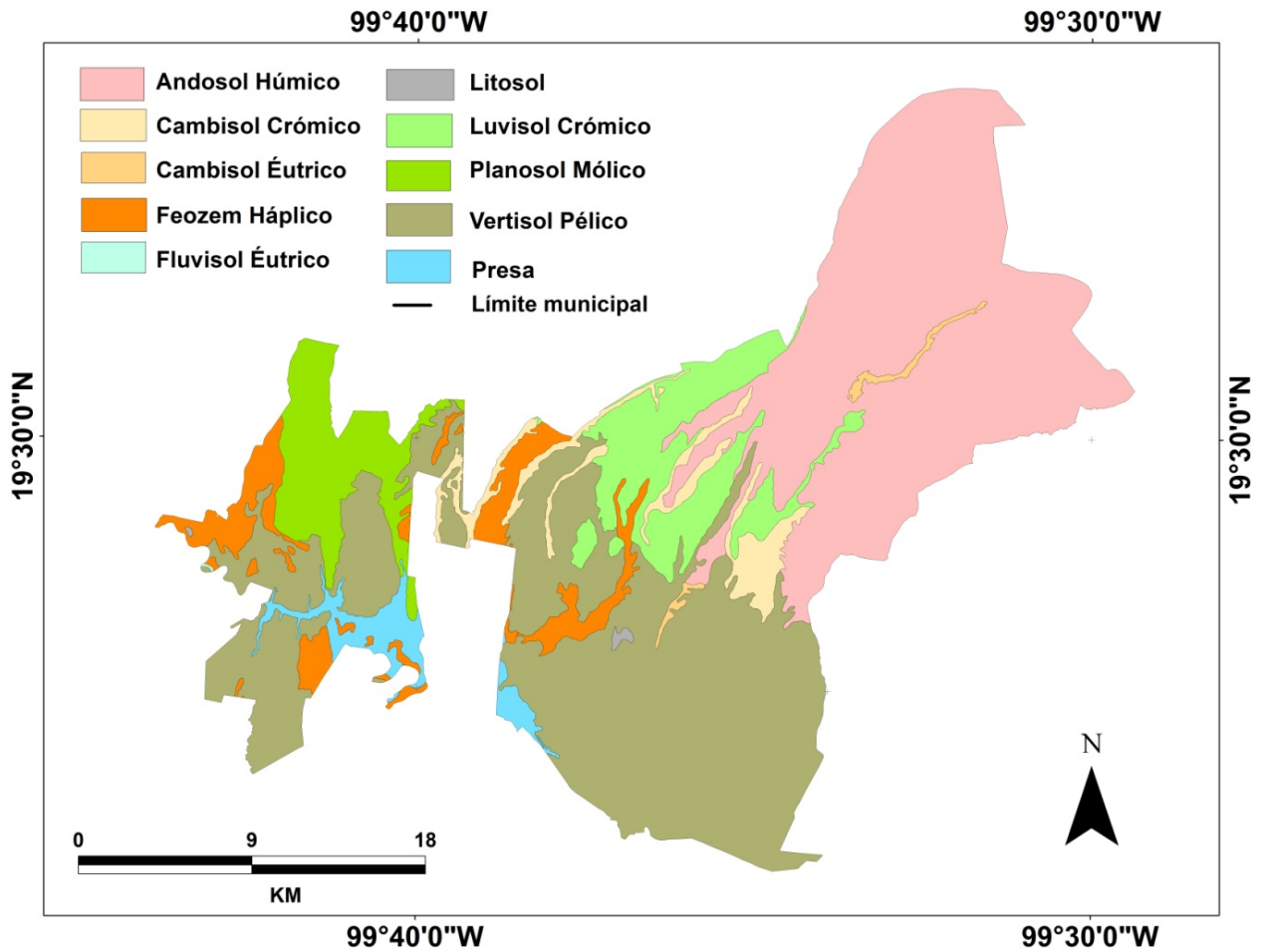


Figura 9. Distribución de suelos en el municipio de Temoaya, Estado de México. Con base en las cartas edafológicas E14A38, A14A27 y E14A28, escala 1:50 000 del año 1970.

II.6 VEGETACIÓN

La vegetación predominante es de bosque templado. Se distingue un bosque de pino y oyamel a partir de los 3000 msnm, principalmente *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*/*Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, *Abies religiosa*/*Garrya laurifolia*, *Garrya laurifolia*. Algunos sitios se encuentran deforestados y en su lugar existen pastizales inducidos. El bosque de encinos se localiza entre los 2,700 y 2,900 msnm, se destacan *Quercus crassipes*, *Quercus texcocana* y *Quercus microphylla*; sin embargo, este se encuentra mezclado con agricultura y zonas habitacionales (García-Romero, 2002).

METODOLOGÍA

III.1 ANÁLISIS MULTICRITERIO

En esta investigación se utilizó el método de análisis multicriterio, ya que usa tanto información cuantitativa como cualitativa, otorgando niveles de importancia o peso a ciertos criterios; además permite jerarquizarlos con base en varias opiniones, principalmente de expertos en el tema y de la zona de interés. No requiere necesariamente de procesos complejos e incluso especializados, su desarrollo es rápido una vez que se tiene la información básica; no incluye altos costos, es flexible y práctico con el uso de SIG (Sistema de Información Geográfica).

El método de evaluación multicriterio organiza la representación de la relación de los criterios y las alternativas en una matriz. Los primeros ocupan la columna principal y las segundas la fila principal (Voogd, 1983, en Barredo 1996). La matriz adopta nombres como matriz de decisiones, matriz de efectividad, matriz de proyecto-efecto o matriz de evaluación. Posteriormente, se le asignan valores, a los que se les denomina puntuaciones de criterios: representan el valor o nivel de deseabilidad que ha obtenido cada alternativa. Esta fase es importante porque los valores asignados a las alternativas, frecuentemente en SIG, están determinados por una escala nominal, por lo que la responsabilidad de valores cuantitativos recae en el equipo planificador, en cada una de las categorías de cada criterio.

Se debe considerar el valor relativo de cada criterio de acuerdo al tipo de evaluación a realizar. Si se tiene una jerarquía distinta hay que asignar un valor específico según su relevancia, es decir, un peso. Dicha asignación está en la consulta y sondeo de opinión con expertos del tema, en la literatura consultada y principalmente en las características propias del área en estudio. En la matriz denominada de comparación por pares (Saaty, 1977 en Aceves Quesada *et al.*, 2006) se establece una puntuación de categorías (a,b,c,d,...) de la variable, con el apoyo de la escala de medida establecida para asignación de los juicios de valor. Es de tipo continuo (ratios o razón) Saaty (1977) (Tabla 6).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Extremadamente	Fuertemente		Moderadamente			Ligeramente		Igual	Ligeramente		Moderadamente			Fuertemente		Extremadamente
MENOS IMPORTANTE			←	←	←				→	→	→	MÁS IMPORTANTE				

Donde:

1/9=extremadamente menos importante

1= igualmente importante

9= extremadamente más importante

Tabla 6. Escala de apreciación para la comparación de importancia relativa entre los criterios utilizados.

Es significativo el cálculo del *eigenvector* o *autovalor* principal porque sirve para obtener el peso que se asignará a cada valor; representa el orden de prioridad de los factores (filas). El *eigenvector* máximo es una medida de la consistencia de los juicios, se adquiere del cociente entre cada valor y el valor de la sumatoria de cada columna. Posteriormente, los valores normalizados se suman por filas, consiguiéndolo así. Se normaliza con la división de cada uno de los valores de dicho vector en el número de factores; de esta manera, el *eigenvector* principal normalizado representa los pesos de cada factor.

Para llevar a cabo la aplicación del método, el primer paso fue la recopilación de la información bibliográfica, cartográfica y datos disponibles en el área de estudio tanto para la susceptibilidad de deslizamientos como la vulnerabilidad, así como recorridos a campo para la obtención de datos y comprobación de la información en gabinete. Cabe mencionar que el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), reforzó para lograr el objetivo. Los SIG, además de ayudar a hacer mapas digitales es una herramienta de análisis espacial que ayuda a resolver problemas a través de modelos de los fenómenos que se están estudiando, permite almacenar, recuperar, manipular, analizar y referenciar datos geográficos (Quintero-Pérez, 2009); para el ámbito del estudio de los riesgos resulta una herramienta fundamental. En este proyecto de investigación se utilizó el software ArcMAP 9.3, el cual permitió la compatibilidad con otras fuentes de datos, almacenar gran cantidad de datos, y facilitó el uso herramientas de análisis.

El segundo paso fue preparar los datos para elaborar los mapas de cada una de las variables determinadas para evaluar la susceptibilidad y vulnerabilidad a través del SIG, (en los apartados III.2 y III.3 se enuncian los materiales, las herramientas y variables usadas, respectivamente), así que cada criterio o variable de la base de datos del SIG, constituyen un mapa temático. El procedimiento general que se utilizó para llevar a cabo la metodología a través del SIG, fue una suma de mapas, tanto para la susceptibilidad como para la vulnerabilidad y riesgo, para ello se digitalizaron primero en un formato vectorial y posteriormente se exportaron a un formato *raster*, con un tamaño de *pixel* de 20 metros, de este modo, a cada uno de los mapas de susceptibilidad y vulnerabilidad se aplicó un proceso de *rasterización* para representar en cada celda o *pixel* un atributo numérico de acuerdo al dato temático que representa. Los valores fueron reclasificados en valores de mayor a menor, (1 a 5): muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo, con la finalidad de realizar la operación algebraica y permitir el análisis.

III.2 HERRAMIENTAS Y MÉTODOS

III.2.1 Peligro

Materiales

Para llevar a cabo este estudio fue necesario adquirir las cartas topográficas y geológicas E14A38, E14A27 y E14A28, escala 1:50 000 de INEGI, las que se usaron como base. Además, una imagen de satélite Landsat ETM, multiespectral (6 bandas) del año 2000, path26, row047, con una resolución de 30 metros, datum WGS 84, zona 14 norte, coordenadas UTM. Se eligió una zona de 1151 columnas y 953 renglones. Para el procesamiento de la imagen se usó el programa IDRISI ANDES que sirvió para elaborar el mapa de uso de suelo.

1. Mapas base

a) *Mapa de uso de suelo:* Constituye uno de los mapas de base más importante. El uso de suelo se refiere a las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal. Debido a los cambios que presenta, su representación espacial es fundamental, pues expresa la zonificación de un territorio con base en los distintos tipos de uso, es decir, áreas agrícolas, urbanas, pecuarias y forestales que constituyen las actividades socioeconómicas

desarrolladas en ese sitio; aspectos primordiales en el análisis territorial. La información generada a partir de los mapas de uso de suelo son insumo de gran valor en temas como sustentabilidad, riesgos, conservación de la biodiversidad y servicios ambientales (García-Mora y Mas, 2008).

Debido a que el uso de suelo se considera un elemento fundamental en el análisis del peligro por deslizamientos, se elaboró un mapa. Éste se desarrolló a partir de una imagen de satélite LANDSAT ETM 2000, en la plataforma IDRISI ANDES, con base en la composición de las bandas 3, 4 y 5. Se establecieron las categorías respectivas en la zona de estudio: agricultura de temporal, agricultura de riego, bosque denso, bosque poco denso, pastizales, poblaciones, cuerpos de agua y erosión. Posteriormente, se determinaron los sitios de entrenamiento, definidos como áreas de interés, con la finalidad de agrupar rasgos semejantes que identificaran cada uso para realizar la clasificación. Se obtuvieron asimismo las firmas espectrales que indican la reflectancia que tiene cada superficie y, finalmente, se reclasificó la imagen a partir del algoritmo *maximum likelihood classification*. Proceso repetido varias veces para que el resultado coincidiera con la realidad.

b) Mapas geomorfológicos

b.1) *Unidades geomorfológicas*. La elaboración del mapa de unidades geomorfológicas permitió distinguir la heterogeneidad de los materiales y las formas de relieve con la generación de los deslizamientos, así como su relación con otros factores (Lugo *et al.*, 2005). Cada unidad representa una zona con características similares y una determinada susceptibilidad a estos procesos gravitacionales. Para su elaboración, se partió del análisis de las cartas topográficas y geológicas, en conjunto con el modelo de elevación digital. Se determinaron las grandes unidades del relieve con apoyo de observaciones de campo.

b.2) *Morfometría*. La morfometría sirve para analizar características cuantitativas del relieve: altura, altitud, profundidad, densidad, pendiente, longitud, entre otras. Se usa para establecer la correlación entre los procesos modeladores de la superficie terrestre (exógenos y endógenos) y la inestabilidad de las laderas (Lugo *et al.*, 2005; Zaragoza Zúñiga 2006).

En esta misma dirección se elaboraron tres mapas: densidad de disección, energía del relieve y profundidad de disección. Estos mapas tienen su fundamentación en la clasificación numérica de la red fluvial establecida por R. E. Horton en 1945. El primero representa el cociente entre la longitud total de las corrientes fluviales entre la superficie de un área determinada (km/km^2). Los valores muestran la intensidad de erosión fluvial sobre un área y ésta puede ser un factor de inestabilidad. El segundo indica la relación entre la actividad endógena y la exógena. Los valores (en metros) altos muestran zonas de mayor actividad tectónica y los valores bajos, zonas estables. Finalmente, el mapa de profundidad de disección marca el avance vertical de la erosión, expresado en metros absolutos desde la base de la corriente fluvial hasta la línea divisoria. Depende de condiciones litológicas, estructurales, tectónicas y climáticas. Se considera un elemento de apoyo para el análisis de la evolución del relieve.

La elaboración de los mapas se basó en Lugo (1988), los cuales fueron realizados de manera manual y posteriormente se editaron en conjunto con técnicas de sistemas de información geográfica, con el uso del software Arc Map 9.3. Para el caso del mapa de densidad de disección, primero se dividió el área en estudio en superficies cuadradas de un kilómetro cuadrado, segundo se marcaron las corrientes fluviales y se midió la longitud de ellas por cuadrante, para ello se utilizó un curvímetro digital, los valores se colocaron en el centro de cada cuadro; el tercer paso fue definir rangos y asignarle un color, en una escala de color verde a rojo. El procedimiento para elaborar el mapa de energía del relieve es muy similar, se dividió la zona en cuadrantes de un kilómetro cuadrado, posteriormente se obtiene la diferencia en metros entre la cota máxima y mínima, el resultado se coloca en el centro, después se establecen rangos y se le asigna un color a cada rango. Por último, el mapa de profundidad de disección se elaboró usando superficies cuadradas de un kilómetro cuadrado, después se marcan los principales valles fluviales, posteriormente se obtiene la diferencia en metros desde la base del río hasta la cima o parteaguas, el valor se coloca en el centro del cuadro, finalmente se establecen rangos y se asigna un color a cada rango.

Es importante señalar que estos mapas no se usaron en la operación algebraica en el SIG, solo se utilizaron como complemento para el análisis de la susceptibilidad.

III.2.2 Vulnerabilidad

Materiales y fuentes de información

En este análisis se utilizaron distintas fuentes de información las cuales incluyeron los datos estadísticos de población (Censo de Población y Vivienda de 2010, INEGI) por localidad; información del mapa de uso de suelo elaborado a partir de imágenes de satélite. Los datos correspondientes a las vías de comunicación, fueron proporcionados por la Junta de Caminos del Gobierno del Estado de México; asimismo, se llevó a cabo una entrevista con personal de Protección Civil del municipio con la finalidad de recabar datos sobre la personal e infraestructura, así como programas de protección civil. Para el análisis de cada indicador se usaron las Áreas Geostadísticas Básicas (AGEB) de INEGI, utilizadas en el Censo de Población y Vivienda de 2010.

III.3 VARIABLES UTILIZADAS

III.3.1 Peligro

A. Pendiente

El mapa de pendientes consiste en transformar las distancias de las curvas de nivel en valores de pendientes. Los valores representados indican la inclinación del terreno con respecto a un plano. Éstos se expresan en grados o porcentajes, su precisión depende de la escala del mapa, la equidistancia de las curvas de nivel y las características de los relieves (montañosos y planos). La definición de clases o categorías usadas para deslizamientos varían en función de los enfoques de los autores: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006), por ejemplo, propone cinco categorías: menos de 15°, 15°- 25°, 25°- 35°, 35°- 45°, y más de 45°; Liu, *et al.*, (2004) establecen cuatro clases: 0°- 10° plano, 11°- 30° suave, 31°- 60° fuerte y mayor de 60° muy fuerte. Son valores indicativos y deben revisarse de acuerdo a cada caso, ajustándolos a un contexto regional.

En este análisis se emplearon 5 clases: 0°- 5°, 5°- 15°, 15°- 25°, 25°- 35°, 35°- 60°, con finalidad de homogeneizar las categorías empleadas en todos los mapas que se utilizaron como insumo para la aplicación del método multicriterio. El mapa de pendientes se obtuvo a partir de la generación del modelo digital de elevaciones (MDT). Los MDT son una

representación digital que contiene información altimétrica que permiten describir la forma y la posición de una porción de la superficie, utilizando un número fijo de puntos de muestra, y pueden ser de dos tipos: vector o TIN (*Triangulated Irregular Network*) y raster (es una matriz donde cada celda corresponde a un dato de altitud), el primero se utilizan preferentemente para modelar estructuras en 3D, mientras que el segundo no permite hacer una descripción completa en espacio tridimensional, pero son fáciles de extraer sus productos (pendientes, hipsometría entre otros), se pueden combinar y cruzar los datos de distinto origen. Para su elaboración se requiere definir el tipo de muestreo, el tipo de malla, la escala y el método de interpolación (*kriging*, ponderación en función inversa de la distancia y la triangulación) con base en el tipo de uso que se le va a dar al MDT (Parrot, 2009). Para el caso de éste trabajo, se utilizaron las curvas de nivel producidas por el INEGI, con una resolución de 30 metros utilizando el software Arc Map versión 9.3, primero se elaboró un TIN con un método de interpolación de triangulación, para su manejo espacial en el software utilizado, el segundo paso fue transformarlo en un formato raster con la finalidad de sobreponer los datos, ya que los TIN no permiten cruzar datos provenientes de otras fuentes así como analizar con precisión el terreno, y el último paso fue reclasificar los valores en las 5 clases antes mencionadas. Lo anterior debido a la falta de información topográfica a detalle que permitiera trabajar el área de estudio a mayor resolución.

B. Materiales

Los materiales que conforman una ladera juegan un papel fundamental porque las diferencias entre la resistencia de las unidades litológicas expresan diversos grados de susceptibilidad a este proceso. Por ello se retomó información del mapa geológico de Mooser *et al.* (1996), el cual fue elaborado en el software Arc GIS 9.3, primero en un formato vectorial, y posteriormente en raster con la finalidad de realizar la operación algebraica (Figura 10).

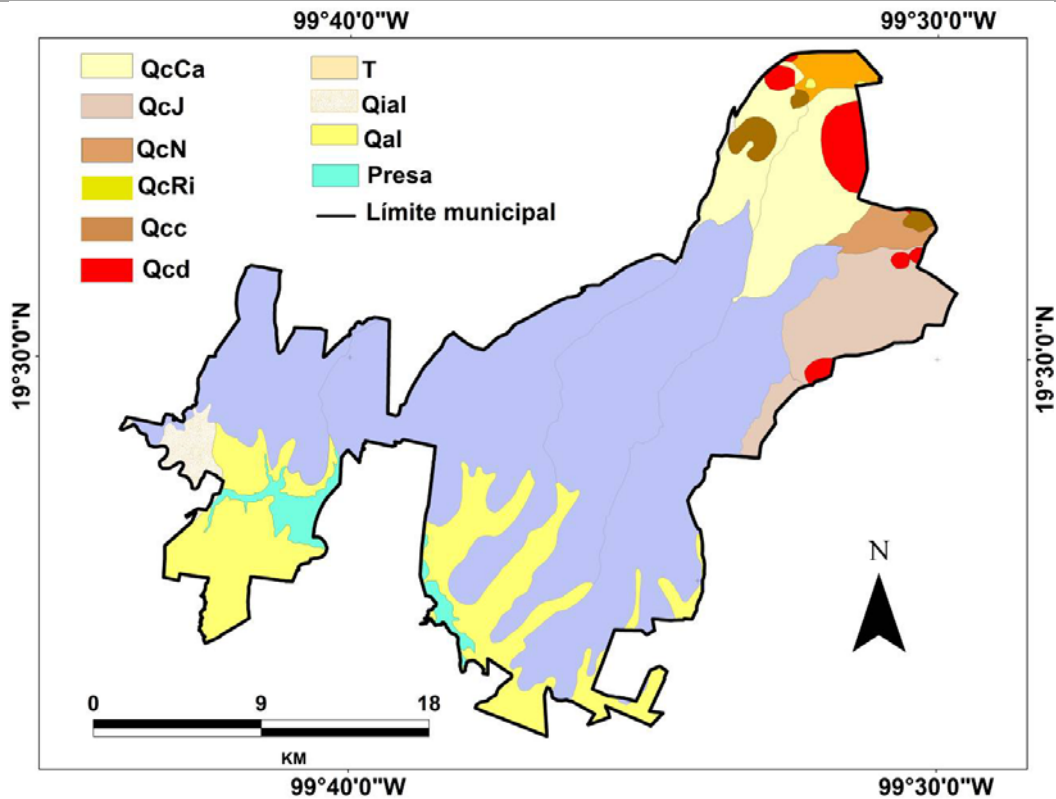


Figura 10. Mapa de unidades geológicas del municipio de Temoaya, Estado de México basado en Mooser *et al.*, 1996.

C. Fallas

No está clara la relación que existe entre la distancia de las fallas con los deslizamientos ocurridos pero, para el caso de la zona en estudio, debido a la carencia de información detallada, sólo se consideró la presencia o ausencia de las mismas, por lo que no se usó para el cruce de datos. Para ello se utilizó la información del mapa de fallas basado en Mooser *et al.* (1996) y García-Palomo *et al.* (2008) (Figura 11).

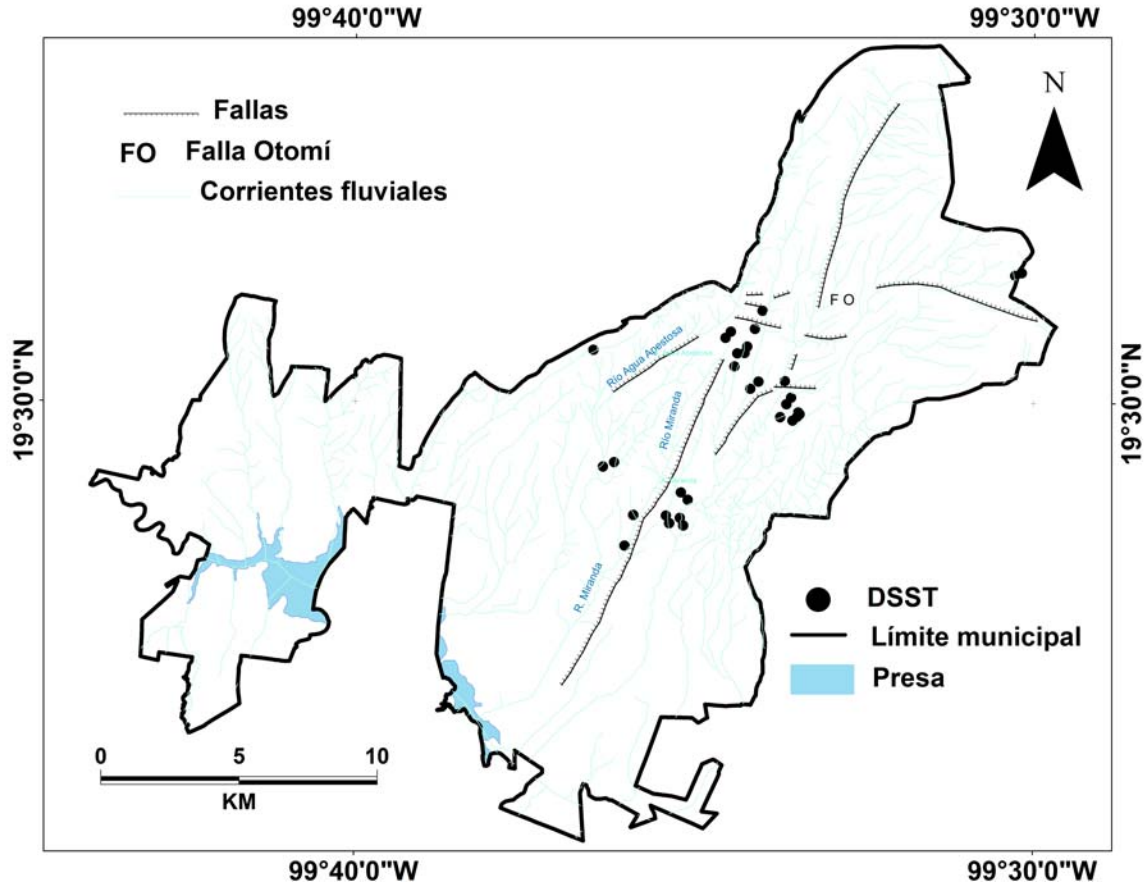


Figura 11. Mapa de fallas basado en Mooser et al., 1996 y García-Palomo et al., 2008.

D. Unidades geomorfológicas

Representa la identificación de grandes estructuras que reconocen una región con características homogéneas de forma de relieve y tipo de roca. Las unidades geomorfológicas se definieron tomando los criterios de la topografía (mapa topográfico), altimetría (mapa altimétrico), pendientes y geología, además de trabajo de campo. Se establecieron seis unidades: montaña, piedemonte alto, piedemonte bajo, planicie superior y planicie, el mapa fue elaborado en el software Arc GIS 9.3, primero en un formato vectorial, y posteriormente en raster con la finalidad de realizar el cruce de los datos.

Cabe mencionar que las unidades geomorfológicas fueron relacionadas con los suelos predominantes del municipio, los cuales son derivados de los procesos endógenos, principalmente el vulcanismo, que formaron el relieve montañoso que caracteriza al área en estudio, así como también de los procesos exógenos de origen fluvial, que han modelado el piedemonte. El análisis del suelo en la generación de deslizamientos está íntimamente relacionado con la morfología y geología. La influencia del relieve en el suelo está asociado con elementos como la orientación de la ladera, la pendiente; la forma y génesis, así como los procesos geomórficos predominantes (Zinck, 1987). Del mismo modo, Kamp, *et al.*, (2008), indican que la orientación de las laderas influye en la radiación, condiciones climáticas (precipitación, temperatura), la cubierta vegetal y las condiciones del suelo (capacidad de infiltración, asociada con la inestabilidad de laderas). Por otra parte, Ayalew (2005), menciona que las variaciones litológicas y estructurales conducen a menudo a una diferencia en la fuerza y la permeabilidad de las rocas y suelo. De este modo el análisis del relieve y la litología permite realizar una interpretación del origen y características de los suelos (Zinck, 1988).

Capra *et al.* (2003), realizan un análisis de movimientos de remoción en masa en Teziutlán, Puebla, a través un modelo hidrológico, para lo cual llevaron a cabo una evaluación directa de las propiedades geotécnicas/geohidráulicas de los suelos principalmente de origen volcánico.

Chung y Fabbri, (2003) hacen referencia a los enfoques geomorfológico e ingeniería civil para llevar a cabo métodos determinísticos en el análisis de estabilidad de laderas mediante uso de variables como la pendiente, cohesión del suelo, capacidad de saturación del suelo y la resistencia del corte.

Wu y Chen (2009) usaron como variables a la geología, pendiente, vegetación, la humedad de suelo, caminos, registros históricos de deslizamientos, con base en trabajo de campo y referencias, para obtener el valor de susceptibilidad a deslizamientos. Resalta la importancia de la conductividad hidráulica como un factor que afecta a la humedad de suelo y con ello a la inestabilidad de laderas. Por ejemplo, para el caso de Taiwán, en los

suelos aluviales la conductividad hidráulica es más alta que la de los Litosoles, por lo tanto, los deslizamientos son más comunes en los suelos aluviales que los Litosoles.

Das *et al.* (2010) utilizaron la variable de suelo, considerando solo la profundidad del mismo, y estableció cuatro categorías: profundo (> 100 cm), moderado (50-100 cm), poco profundos (25-50 cm) y muy poco profundos (<25 cm). Los resultados que obtuvieron indicaron que los suelos poco profundos eran los más susceptibles a los deslizamientos, aunque también los factores de cubierta vegetal, densidad de lineamientos estructurales, litología y densidad de drenaje jugaron un papel importante.

Dymond *et al.* (2006) realizan una relación entre la profundidad del suelo y la generación de deslizamientos; consideran que cuando se presentan intensas precipitaciones, el suelo se satura y se incrementa la presión entre los poros lo que reduce la resistencia, lo que puede provocar inestabilidad de la ladera. Por lo tanto, consideran a la resistencia del suelo como un factor importante en la generación de deslizamientos superficiales. Regmi (2010), en un estudio realizado en Colorado, Estados Unidos, considera un índice de plasticidad del suelo, para la susceptibilidad a deslizamientos de tierra. Santacana *et al.* (2003) sugieren que el aumento de la presión de poros en el suelo reduce la resistencia del mismo y que eventualmente puede ser superada por la pendiente.

Para este caso, solo se contó con la información de las cartas edafológicas elaboradas por INEGI, y se relacionó con las unidades geomorfológicas. Para el caso de la montaña los suelos que lo caracterizan son principalmente los Andosoles; en el piedemonte alto predominan los Andosoles, seguido de los Luvisoles y en menor proporción los Cambisoles y Feozem; para el caso del piedemonte bajo, abarcan mayor extensión los Vertisoles, los Planosoles ocupan un segundo lugar y por último los Feozem y Cambisol; por último la planicie está conformada en su mayor parte por los Vertisoles, seguido de los Feozem, y en menor proporción los Cambisoles.

E. Uso de suelo

Con base en el estudio de la imagen de satélite y el trabajo de campo del área de interés, se identificaron los siguientes tipos de uso de suelo: agricultura de temporal, zonas

erosionadas, bosque poco denso (14%), bosque denso (7%), pastizales, agricultura de riego. Este mapa se elaboró en primer lugar a partir de la imagen de satélite LANDSAT ETM 2002, el software IDRIS ANDES, posteriormente exportó al software Arc GIS 9.3, con finalidad de realizar la operación algebraica.

F. Vías de comunicación

La importancia de los cortes de ladera para la construcción de carreteras, como un factor de inestabilidad que genera procesos de deslizamientos de tierra, no ha sido ampliamente considerada, aunque existen trabajos de investigación que hacen hincapié en su importancia (Bernard *et al.*, 2001).

La construcción de vías de comunicación puede incrementar el número de deslizamientos, debido a que la disminución respectiva de cohesión de la ladera y la resistencia favorecen la inestabilidad, que aumenta en la época de lluvias. La infraestructura incluso se convierte en un obstáculo y propicia el incremento de pérdidas humanas (Petley, 2010), relacionada con falta de acceso a poblaciones afectadas o en peligro.

La relación que existe entre los caminos y la generación de procesos de remoción en masa ha sido poco abordada, esto no significa que no existan trabajos al respecto. Son varios los autores que enfatizan sobre este tema para evaluar a detalle dicha dependencia. Para este estudio, en una fase inicial no se había considerado como un factor relevante para determinar el peligro por deslizamiento, pero la revisión documental sirvió para detectar el papel que juega este elemento, aunque, debe ser tratado cuidadosamente, y no dejar a un lado los factores internos.

Se identificó, de manera general, que varios procesos de remoción en masa, ocurridos en el municipio de Temoaya, México, han ocurrido en caminos, o bien, en los cortes realizados para construir casas, en la época de lluvias, lo que se reconsideró este factor, como parte de los criterios ya establecidos para el peligro por deslizamientos en la zona. Con la finalidad de analizar la potencial influencia de las carreteras en el área de estudio se elaboró un *buffer* de 20 metros de distancia, ya que esta dimensión involucra una distancia mayor a la ocupada por el ancho de la vialidad (4 metros por carril) y del acotamiento (2 metros).

III.3.2 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad para el caso del municipio de Temoaya, Estado de México, se midió considerando sus tres componentes: exposición, fragilidad y resiliencia. Se retomaron algunas de las variables e indicadores propuestos en la metodología del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP –por sus siglas en inglés- 2004 y Cardona 2001, 2006), sin embargo se ajustaron a la realidad del municipio, a la disponibilidad de la información y el nivel de escala de análisis, así como el tipo de peligro (deslizamientos), ya que revisándolas, algunas se aplican solo para zonas urbanas o bien para una escala nacional. Para la medición de la vulnerabilidad se utilizaron Áreas GeoEstadísticas Básicas (AGEB) de INEGI, debido a que el municipio no cuenta con una cartografía confiable de unidades administrativas, ya sin embargo, esto no limita a que se utilice otro tipo de áreas. Los datos estadísticos se tomaron del Censo de Población y Vivienda de 2010 (INEGI, 2010), por ser la fuente oficial a nivel nacional, para el caso de las vías de comunicación se obtuvieron de la Junta de Caminos del Estado de México, como son los datos de Tránsito Promedio Anual y Calidad de Superficie de Rodamiento, y para el uso de suelo se obtuvo directamente del mapa correspondiente a éste tema. Para evaluar cada componente de la vulnerabilidad el procedimiento fue primero generar los datos de cada indicador en un formato vector y posteriormente se transformo a un raster, reclasificándolos en las cinco categorías ya mencionadas, para realizar la operación algebraica en el SIG, y segundo, se sumaron los datos de los tres componentes en formato raster, para obtener la vulnerabilidad total. En tabla 7, se muestran los indicadores a utilizar para la zona en estudio.

	Indicadores	
A. Exposición	Población	<ul style="list-style-type: none"> • Total de población por AGEB • Porcentaje de viviendas habitadas por AGEB • Porcentaje de bienes por vivienda por AGEB
	Vías de comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de longitud de caminos de terracería por AGEB • Porcentaje de longitud de caminos pavimentados por AGEB • Porcentaje de longitud de carreteras pavimentadas estatales por AGEB • Porcentaje de Tránsito Promedio Anual por AGEB • Porcentaje de calidad de la superficie de rodamiento por AGEB
	Educación	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje equipamiento de educación por AGEB

	Usos de suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de bosque por AGEB
	Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Total de equipamiento de salud por AGEB
B. Fragilidad	Población	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de población por grupos de edad por AGEB • Porcentaje de población económicamente activa por AGEB • Población económicamente inactiva por AGEB
	Educación	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de población mayor de 15 años que no sabe leer ni escribir por AGEB • Porcentaje de población que no habla español por AGEB
	Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de población con derechohabiencia por AGEB • Porcentaje de población sin derechohabiencia por AGEB
C. Resiliencia	Protección Civil	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio público. • Personal de rescate. • Operatividad de emergencia
	Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Número de hospitales y capacidad por AGEB

Tabla 7. Indicadores utilizados para el análisis de la vulnerabilidad en el municipio de Temoaya, Estado de México.

III.3.3.Riesgo

Para la evaluación del riesgo por deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), a partir de la fórmula de $R = P \times V$, para la elaboración del mapa de riesgo se combinaron los datos de susceptibilidad a deslizamientos y vulnerabilidad, mediante una operación algebraica, que fue la suma de ambos mapas en un formato raster, realizada en el software Arc Gis 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN EL MUNICIPIO DE TEMOYA, ESTADO DE MÉXICO

Los procesos de remoción en masa que se han presentado y que se han observado en campo se ubican principalmente en el piedemonte de la Sierra de Monte Alto, y algunos en lo que corresponde a la montaña; se han contabilizado 33 sitios con procesos de remoción en masa, de los cuales treinta -los más importantes-, son deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), dos de caída de roca y un movimiento complejo resultado de la combinación de caídas y un flujo de detritos, lo que significa que los DSST son los movimientos de mayor extensión y su impacto es principalmente sobre vías de comunicación, casas habitacionales y áreas de cultivo (Tabla 8, Figuras 12, 13).

MECANISMO DE MOVIMIENTO	TIPO DE MATERIAL		NÚMERO DE MOVIMIENTOS
	ROCA	SUELO	
Desprendimientos	Caídas o desprendimientos de rocas		2
Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional		Deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST)	30
Movimiento complejo	Flujos de detritus y desprendimientos de rocas		1

Tabla 8. Tipos de remoción en masa identificados en el municipio de Temoaya, Estado de México.

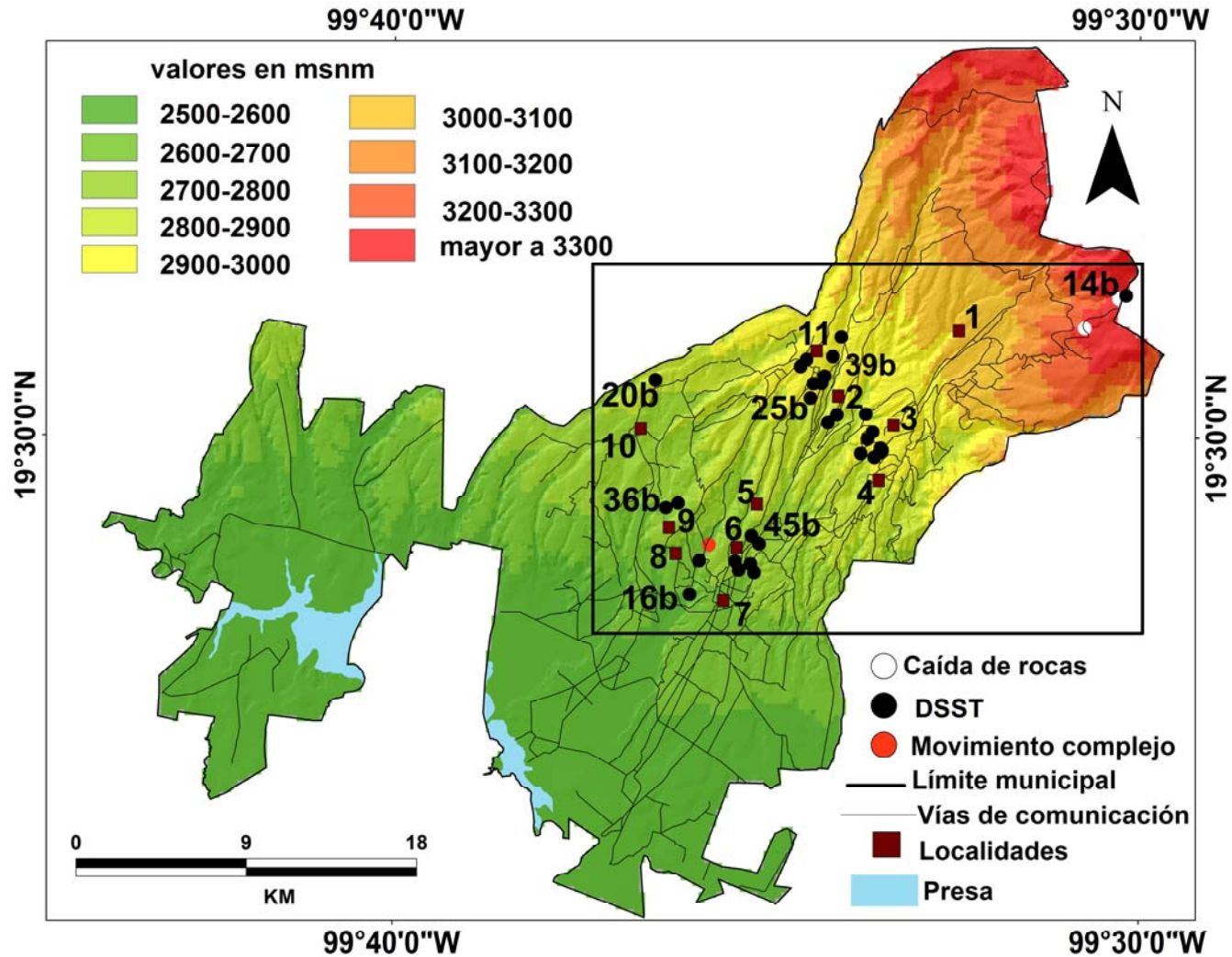


Figura 12. Distribución de perfiles elaborados en el municipio de Temoaya, Estado de México, señalados con números con letra. Localidades: 1. Centro Ceremonial Otomí; 2. Enthavi; 3. El Laurel; 4. San Pedro Arriba 2ª. Sección; 5. San Pedro Abajo 2ª. Sección; 6. Tlaltenango; 7. Temoaya; 8. Pothé; 9. Loma Alta; 10. Cerrito del Panal; 11. Jijipilco El Viejo. El recuadro muestra el detalle de la distribución de los deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), el cual se muestra en la figura 13.

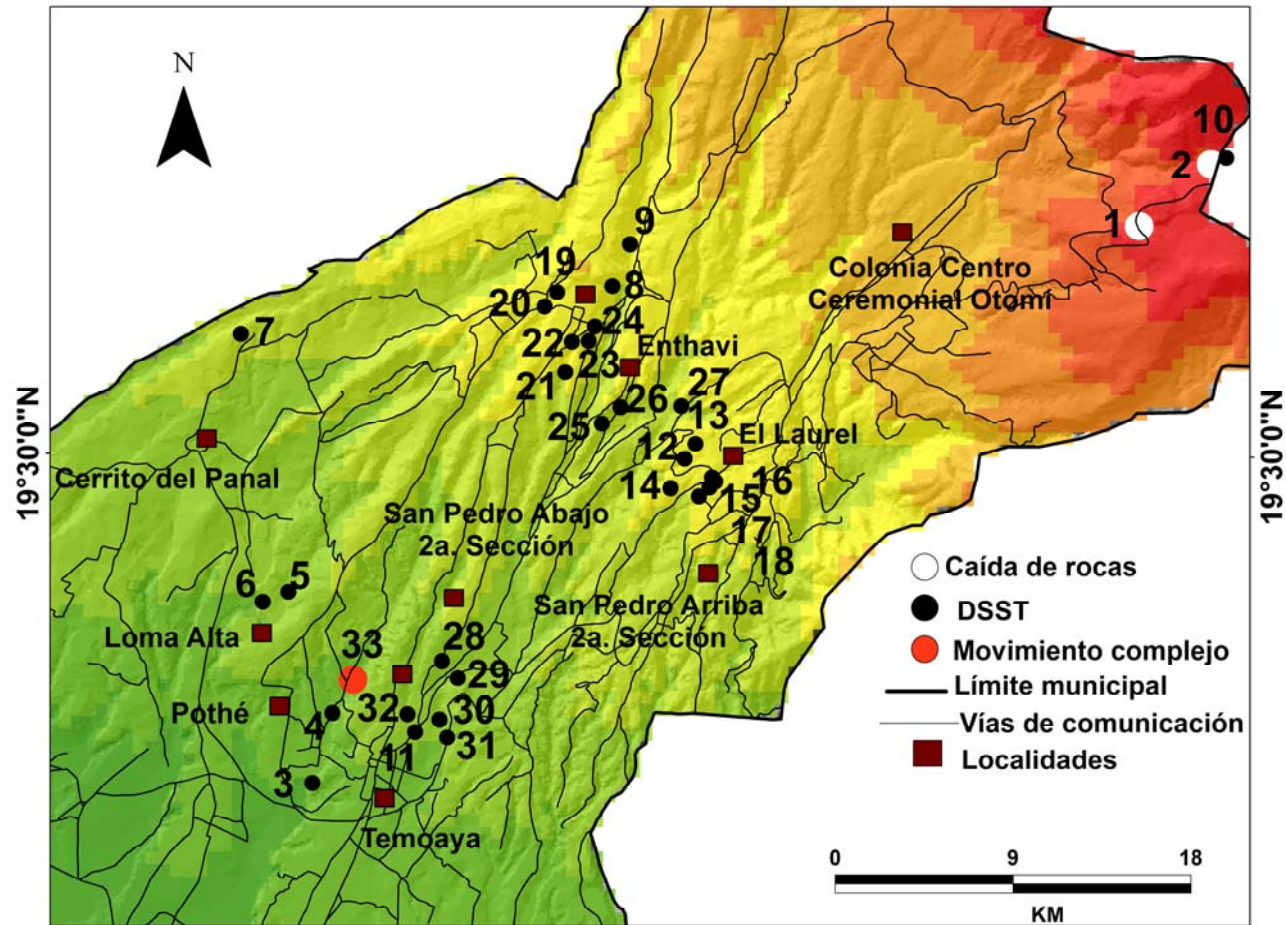


Figura 13. Distribución de los procesos de remoción en masa en el municipio de Temoaya, Estado de México. El número indica cada uno de los movimientos registrados

A. Caídas o desprendimientos de rocas

En la zona del Centro Ceremonial Otomí, sobre la carretera que va al parque Las Palomas, se identifican dos movimientos de caída de rocas (Figura 13, movimientos 1 y 2), a 3447 msnm. En un corte de aproximadamente 15 metros (Figura 14a), se distingue un depósito de flujo piroclástico con fragmentos andesíticos, de hasta 89 centímetros, en una matriz arenosa, que constituye el domo de la caldera Jilotzingo (Figuras 12 y 14b). El tipo de suelo de acuerdo a INEGI (1970) es Andosol húmico, Andosol ócrico con textura media con fase lítica (lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad).

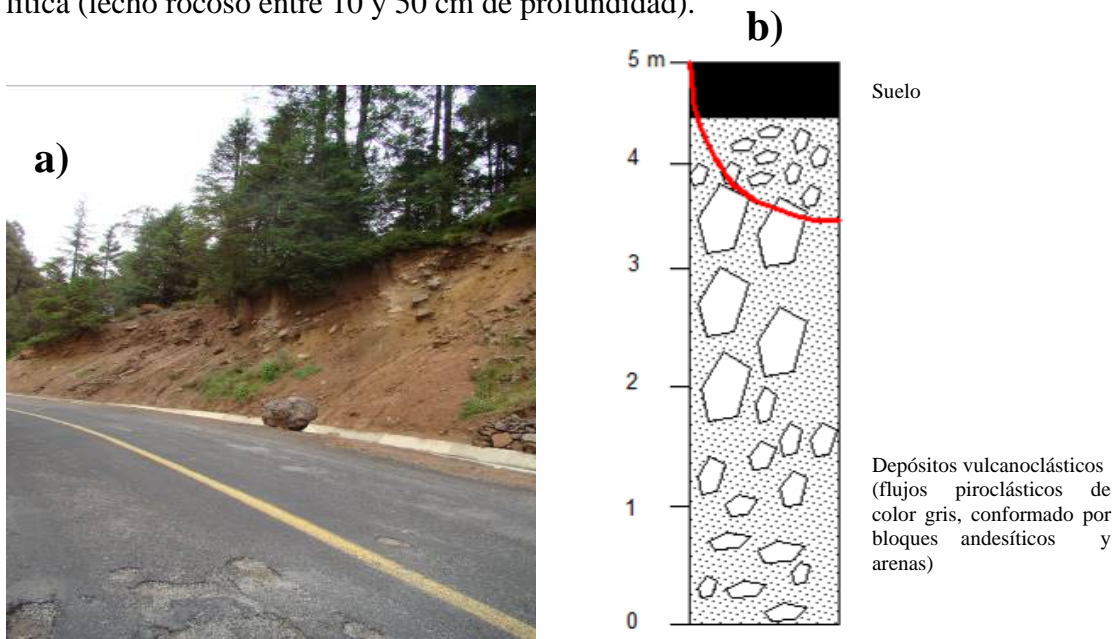


Figura 14. a) Bloque que se desprendió sobre la carretera Temoaya-Parque Las Palomas; b) En un corte de carretera de aproximadamente 5 m, se distingue un desprendimiento de rocas. Nota: la línea roja en todos los esquemas indica los materiales que son susceptibles a este tipo de movimiento.

B. Deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST)

Los deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST) se presentan en tres tipos de depósitos: cenizas volcánicas y flujos piroclásticos, material aluvial y conglomerados. Sin embargo, de acuerdo con observaciones de campo, el mayor número de registros es sobre los primeros.

B.1 Deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), en cenizas volcánicas y flujos piroclásticos

En la cabecera municipal, a una altitud de 2630 msnm, se notan rasgos de movimiento de deslizamiento de suelo de tipo traslacional superficiales (DSST) debido a la inclinación de los árboles (Figuras 15a, 15b), en una ladera recta con inclinación de 45°, orientada hacia oeste, coincide con una falla normal con dirección suroeste-noreste reportada por Mooser *et al.* (1996). Se ubica en el piedemonte inferior (Figura 13, movimiento 3) con procesos erosivos, cubierta de vegetación encino-pino, sobre un suelo de tipo Andosol ócrico, Cambisol eútrico de textura media (INEGI, 1970) y una litología de toba, según INEGI (1975). De acuerdo a Mooser *et al.* (1996) constituye la Formación Tarango, formada por flujos piroclásticos, lahares, ignimbritas, tobas, pómez y depósitos aluviales (Figura 16a). En un corte se identifica en la base una capa de material de acumulación aluvial con material arenoso de color amarillo ocre y bloque subredondeados de hasta un metro de diámetro, cubierta por una capa de ceniza, con un espesor aproximado de 2 m (Figuras 12, 16b). Ambos depósitos son poco consolidados.

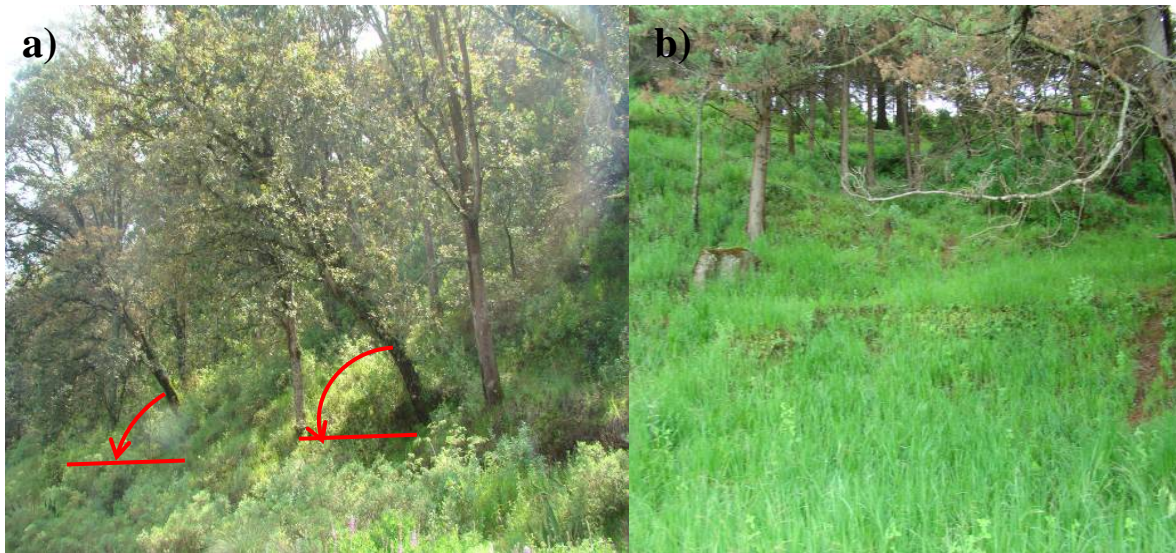


Figura 15. Evidencias topográficas de deslizamientos: a) Temoaya, se nota inclinación de los árboles; b) Se observan escalonamientos sobre la misma ladera.

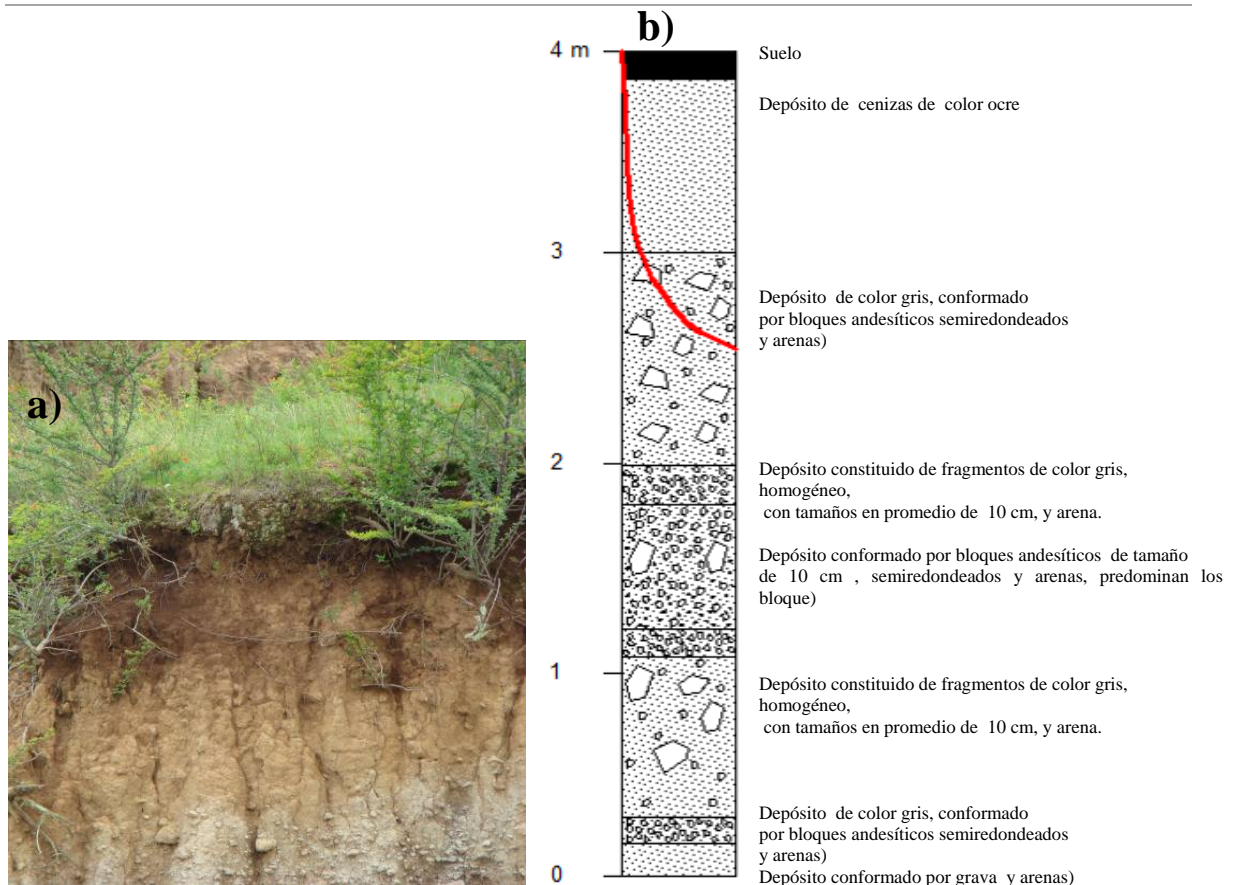


Figura 16. a) Material de acumulación aluvial y volcánico; b) En un corte de aproximadamente 4 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento.

En la localidad de Pothé se identifica un deslizamiento de suelo superficial de tipo traslacional (DSST) (Figura 13, movimiento 4), sobre una ladera recta con características similares al primer punto descrito en párrafos anteriores, con un suelo Cambisol eútrico, Andosol ócrico y textura media y roca tipo toba. Entre los rasgos que se encuentran la inclinación de los árboles y escalonamientos en la superficie (Figura 17).



Figura 17. Se observan los árboles inclinados en una superficie que muestra escalonamientos.

En la localidad de Loma Alta se identifica un DSST, ubicado cerca de un corral de ganado (Figura 13, movimiento 5), se observan los árboles inclinados, y al pie de ésta, se nota un ligero escarpe con un depósito de material provocado por un desplazamiento del mismo (Figura 18). La ladera tiene 45° de pendiente, constituye la ladera noroeste de un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, en un suelo de tipo Cambisol eútrico, Andosol ócrico de textura media (INEGI, 1970), sobre una roca de tobas (INEGI, 1975) poco consolidadas.



Figura 18. Se observa un deslizamiento en el cual ha crecido la vegetación.

En la localidad de Cerrito del Panal (Figura 13, movimiento 7) cerca de los límites con el municipio de Jijipilco, en una ladera de un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, con orientación hacia noreste y, pendiente aproximada de 45°, con desarrollo de cárcavas, se distingue un DSST, posiblemente originado por la erosión. Se observan escalonamientos y árboles inclinados, sobre un suelo de tipo Litosol de textura media y Luvisol crómico, Andosol ócrico de textura media (INEGI, 1970), en un tipo de roca tipo toba (INEGI, 1975) (Figura 19). De acuerdo con Mooser *et al.* (1996), esta zona corresponde a la Formación Tarango, constituida por flujos piroclásticos, lahares, ignimbritas, tobas, pómez y depósitos fluviales. En un corte, se observa un depósito de flujo piroclástico consolidado, en el que predominan los bloques de hasta un metro de diámetro, de más de 8 m de espesor, lo cubre una capa de toba poco consolidada de aproximadamente 2 m (Figuras 12, 20a, 20b).



Figura 19. Se observan desarrollo de cárcavas, que han favorecido el movimiento de ladera.

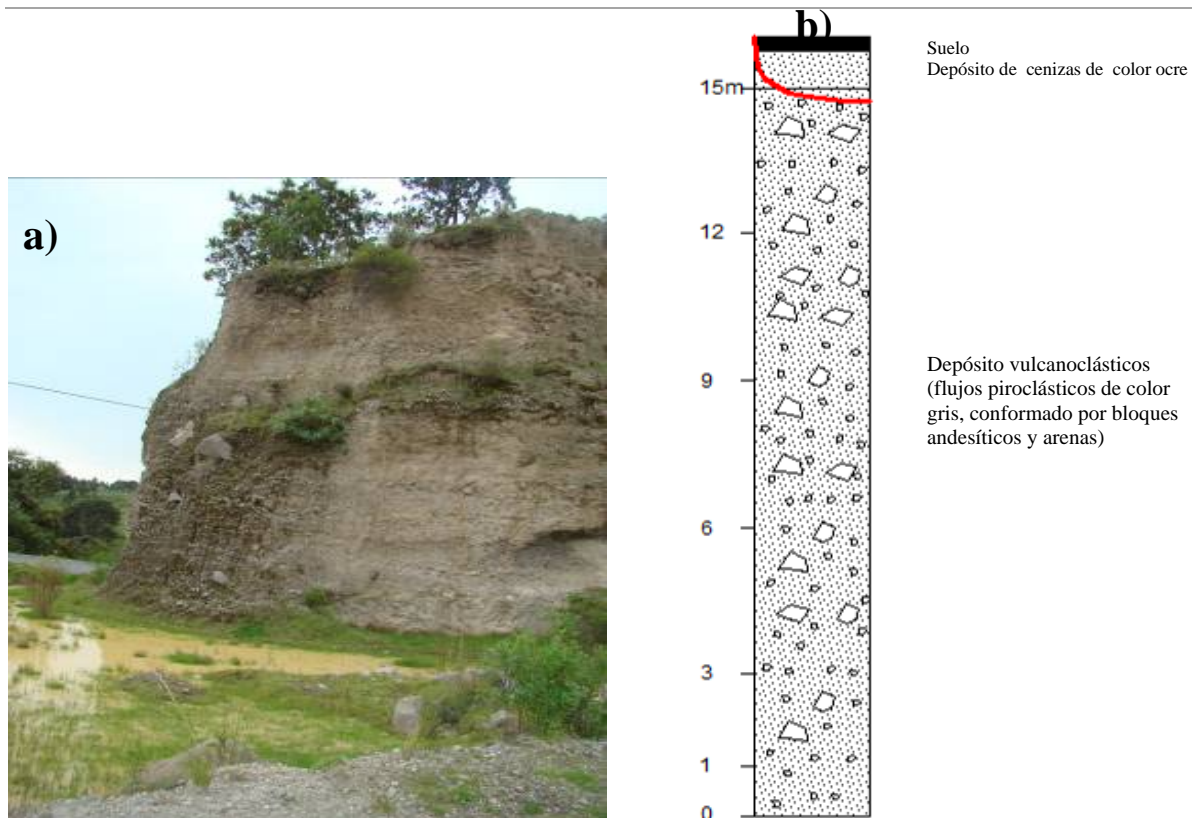


Figura 20. a) Se observa un depósito de flujo piroclástico; b) En el corte de aproximadamente 15 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento.

En la localidad de Jijipilco El Viejo, se registran 4 deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST). El primero de ellos se localiza a 2930 msnm, sobre una ladera de fuerte pendiente (45°), que constituye un valle fluvial, con un suelo de tipo Cambisol eútrico, Andosol ócrico de textura media (INEGI, 1970), sobre roca andesítica (INEGI, 1975), constituye la Formación Tarango (Figura 13, movimiento 8). Se alcanza a distinguir un depósito de flujo piroclástico consolidado, en el que predominan los bloques angulosos, de tamaño de entre 5 cm y hasta un metro de diámetro; esta ladera está afectada por dos fallas normales con dirección este-oeste (Mooser *et al.* 1996) (Figura 21), y es notoria la inclinación de los árboles.



Figura 21. Corte de camino, se nota inclinación de los árboles en una ladera constituida por flujos piroclásticos y toba.

El segundo movimiento se ubica a 200 m de distancia del anterior punto (Figura 13, movimiento 9), sobre una ladera de aproximadamente 30° de inclinación, ocupada para la agricultura y construcción de casas-habitación. Se aprecia sobre los campos de cultivo ondulaciones del terreno debido a un movimiento de deslizamiento, además de los proceso de lavado superficial; se desarrollan pequeños arroyos y árboles inclinados en contra de la pendiente (Figura 22).



Figura 22. Ladera con rasgos de DSST, como son, ondulaciones en el terreno y árboles inclinados.

El tercero, se ubica a 2959 msnm, sobre una ladera que corresponde a un barranco que corta al piedemonte inferior con procesos erosivos, con pendiente aproximada de 30° y orientación hacia el sur (Figura 13, movimiento 19). Se aprecian árboles ligeramente inclinados, también se observa un escarpe en la parte superior del corte, que podría estar indicando la ruptura del terreno (Figura 23). Este movimiento se desarrolla en un suelo de tipo Andosol ócrico, Cambisol eútrico de textura media (INEGI, 1970), en roca tipo toba (INEGI, 1975), que constituye la Formación Tarango. En un corte se observa un depósito de flujo piroclástico consolidado, en el que predominan fragmentos gruesos de hasta 30 cm cubierto por material más fino de color amarillo ocre.



Figura 23. Ladera con rasgos de deslizamiento, como son, ondulaciones en el terreno y árboles inclinados.

El cuarto movimiento, se ubica al sur del anterior sitio (Figura 13, movimiento 20). Es un corte que se realizó para la construcción de una escuela primaria, se observa un ligero escarpe al borde del corte, sobre el cual ha crecido la vegetación, pero se distinguen en la parte superior, árboles inclinados que podrían estar indicando desplazamiento (Figura 24); la morfología, suelo y roca, son similares al anterior punto.



Figura 24. Ladera usada para la construcción de una cancha de futbol y al mismo tiempo para la construcción de una escuela primaria. Esta ladera muestra rasgos de procesos de deslizamiento como la inclinación de los árboles.

En la localidad de Enthavi, se ubican dos procesos. Uno se encuentra a 2897 msnm, en un corte de aproximadamente 5 m de altura (Figura 13, movimiento 21). Es una ladera de barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, con orientación hacia el norte; se distinguen características de tipo de roca y suelo similares a los anteriores sitios. El corte lo realizaron para construir casas, es un sitio con un suelo muy duro y con característica de tepetates. Se puede distinguir en este corte, de arriba hacia abajo, una capa de material de color amarillo ocre correspondiente a una toba de menos de un metro de espesor, seguido por un depósito de un flujo piroclástico de color gris consolidado, con bloques grandes de hasta un metro de diámetro, posteriormente, una capa de material de color amarillo arenoso de aproximadamente un metro de espesor y finalmente, de una capa de ceniza de color blanco (Figuras 12, 25a, 25b).

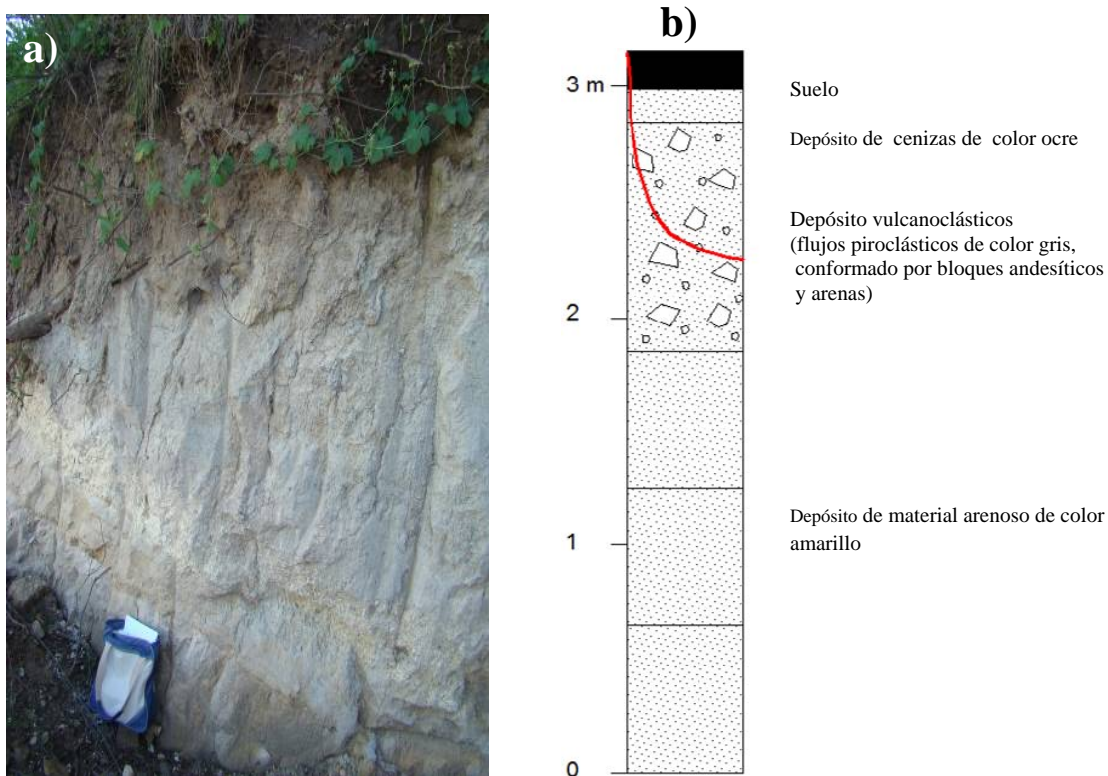


Figura 25. a) Se distinguen varios depósitos vulcanoclásticos; b) Corte de aproximadamente 3 m, se distinguen rasgos que indican un deslizamiento.

El segundo movimiento, se ubica en a 50 m del punto anterior (Figura 13, movimiento 22), corresponde a la ladera norte del mismo barranco, con orientación hacia el sur, con una inclinación aproximada de 30° , ocupada para la agricultura y uso habitacional. Se alcanza a

distinguir un bloque de flujo piroclástico producto posiblemente de la erosión, lo que implica un importante arrastre de los sedimentos de la ladera, así como también, otros rasgos de deslizamiento, como son: la inclinación de los árboles y ligeras ondulaciones sobre el terreno. Las características de suelo y roca son similares al punto anterior (Figura 26).



Figura 26. Ladera con rasgos de deslizamiento, como es la inclinación de los árboles.

Otro movimiento se ubica a 3464 msnm, en una ladera recta de aproximadamente 45°, forma parte del domo de la caldera Jilotzingo, de material andesítico (Figura 13, movimiento 10). Se notan pequeños escalones, con árboles inclinados indican el movimiento de ladera, que pudo haber sido iniciado por procesos erosivo-fluviales, con la influencia de una falla normal que corta este bloque volcánico con dirección este-oeste, reportada por Mooser *et al.* (1996) (Figura 27).



Figura 27. Ladera recta afectada por una falla normal con dirección este-oeste, que sumado con la erosión, favorece el proceso de deslizamiento.

En la localidad de San Pedro Arriba 2^a. Sección, se identificaron seis procesos el primero se ubica a 2942 mnsnm (Figura 13, movimiento 12), tiene movimiento, debido a que, en la parte superior de la cicatriz, se nota un pequeño escalonamiento e inclinación de la vegetación (Figura 28). Se ubica en una ladera de barranco de primer orden, sobre el piedemonte inferior con procesos erosivos, pendiente aproximado de 30°; la ladera es ocupada para el cultivo de maíz y construcción de casas-habitación; sólo se observa vegetación de encino y arbustos en los bordes del barranco, el suelo es de tipo Andosol húmico, Andosol ocríco de textura media (INEGI, 1970) y roca tipo toba (INEGI, 1975). De acuerdo con el mapa geológico de Mooser *et al.* (1996), corresponde a la Formación Tarango.



Figura 28. Ladera de barranco, en que se originó un derrumbe de pequeña escala.

El segundo proceso, se ubica al norte del anterior (Figura 13, movimiento 13), sobre una ladera de fuerte inclinación (45°), que corresponde al piedemonte inferior con procesos erosivos, ocupada principalmente para las casas habitacionales, lo que puede estar originando movimientos en el terreno, como se nota en este punto (Figura 29). Posee características de suelo de tipo Cambisol eútrico, Andosol ocrico de textura media (INEGI, 1970) y la roca es similar al anterior punto.



Figura 29. Ladera de fuerte pendiente con presencia de deslizamiento.

El tercer movimiento se ubica a 2906 msnm (Figura 13, movimiento 15), en un corte que se realizó para construir una casa-habitación, la cual no está terminada, se nota un pequeño deslizamiento al borde del corte (Figura 30). El sitio corresponde a una ladera de barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, con suelo y roca similares al punto anterior. En un corte se observa un depósito de aproximadamente 10 m de flujo piroclástico gris, consolidado, cubierto por una capa de toba poco consolidada.



Figura 30. Corte para construir una casa, se nota un derrumbe de menor escala.

El cuarto proceso se encuentra a 30 metros del anterior (Figura 13, movimiento 16), corresponde a un corte que se realizó para abrir un camino y al mismo tiempo se usó para la construcción de un invernadero, se notan desplazamientos de material, al pie del corte, y los árboles están ligeramente inclinados, lo que podría estar indicando un DSST. Presenta características similares al anterior. Se distingue un depósito de aproximadamente 1.5 m de material gravoso de color amarillo, seguido de un depósito de flujo piroclástico consolidado, de color gris, arenoso-gravoso, cubierto por un depósito de aproximadamente de 2 m de ceniza color ocre (Figura 31).



Figura 31. Depósitos de flujo piroclástico consolidado, y ceniza poco consolidada.

El quinto proceso se ubica en la ladera norte del mismo barranco (Figura 13, movimiento 17), con orientación hacia el sur, y pendientes de aproximadamente 30° , ocupada para la agricultura y en la cima para invernaderos y casas. Se notan escarpes que se realizaron para la agricultura pero que han favorecido a procesos de erosión y al mismo tiempo, al movimiento de deslizamiento, esto es notable también por la inclinación de los árboles (Figura 32a). Presenta características similares, aunque en un corte se distingue una capa de pómez de color blanco seguida de un depósito de flujo piroclástico arenoso de aproximadamente 1.5 m de espesor; continúa un depósito de flujo piroclástico consolidado pero con fragmentos más gruesos de hasta 25 cm (Figura 32b).



Figura 32. a) Ladera con rasgos topográficos que indican un deslizamiento, b) Depósitos de pómez, flujos piroclásticos consolidados y toba.

El sexto movimiento se ubica en la ladera oeste del mismo barranco (Figura 13, movimiento 18), sobre la cual se han realizado cortes para caminos y casas-habitacionales, lo que puede estar favoreciendo al movimiento (Figura 33).



Figura 33. Ladera con rasgos de un DSST.

Se identifica un DSST en las cercanías a la localidad del Laurel, sobre una ladera de aproximadamente 30° (Figura 13, movimiento 14), conforma a un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, fue ocupada para la agricultura, actualmente solo se usa para pastoreo, y casas, se observa ondulaciones en la superficie y vegetación inclinada, lo que indica un movimiento de deslizamiento (Figura 34).



Figura 34. Ladera con rasgos de deslizamiento.

En la localidad de Tlaltenango Abajo, se identificaron dos procesos, se ubican dos en una ladera convexa, cortada por cárcavas originadas por actividad antrópica, principalmente deforestación y cortes para construir caminos y casas, tiene una pendiente de 45° , con orientación hacia el norte, ubicado en el piedemonte inferior con procesos erosivos (Figura 13, movimientos 30, 31). Se alcanzan a apreciar algunos árboles inclinados posiblemente originados por un movimiento de deslizamiento (Figura 35). Presenta un tipo de suelo y roca similar al anterior punto.



Figura 35. Ladera afectada por erosión, lo que está favoreciendo el proceso de deslizamiento.

El segundo proceso se ubica al sur del anterior (Figura 13, movimiento 32), en una ladera de fuerte pendiente, en la que se realizó un corte para construir una carretera, corresponde al barranco del río Miranda, con orientación hacia el norte, corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, presenta vegetación de encinos. Se observa de manera notable, la inclinación de los árboles lo que podría ser un indicio de movimiento de la ladera. Las características de suelo y roca son similares al punto anterior.

B.2 Deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), en material aluvial

Se ubica cerca del panteón de Loma Alta (Figura 13, movimiento 6), sobre una ladera cóncava, con rasgos que indican un deslizamiento de suelo superficial de tipo traslacional (DSST), en una pendiente de aproximadamente 45° . En un corte de camino, se notan depósitos de material aluvial, capas interbandeadas de arena de acarreo fluvial,

conglomerado y toba en la parte superior (Figuras 12, 36a, 36b), son depósitos poco consolidados.

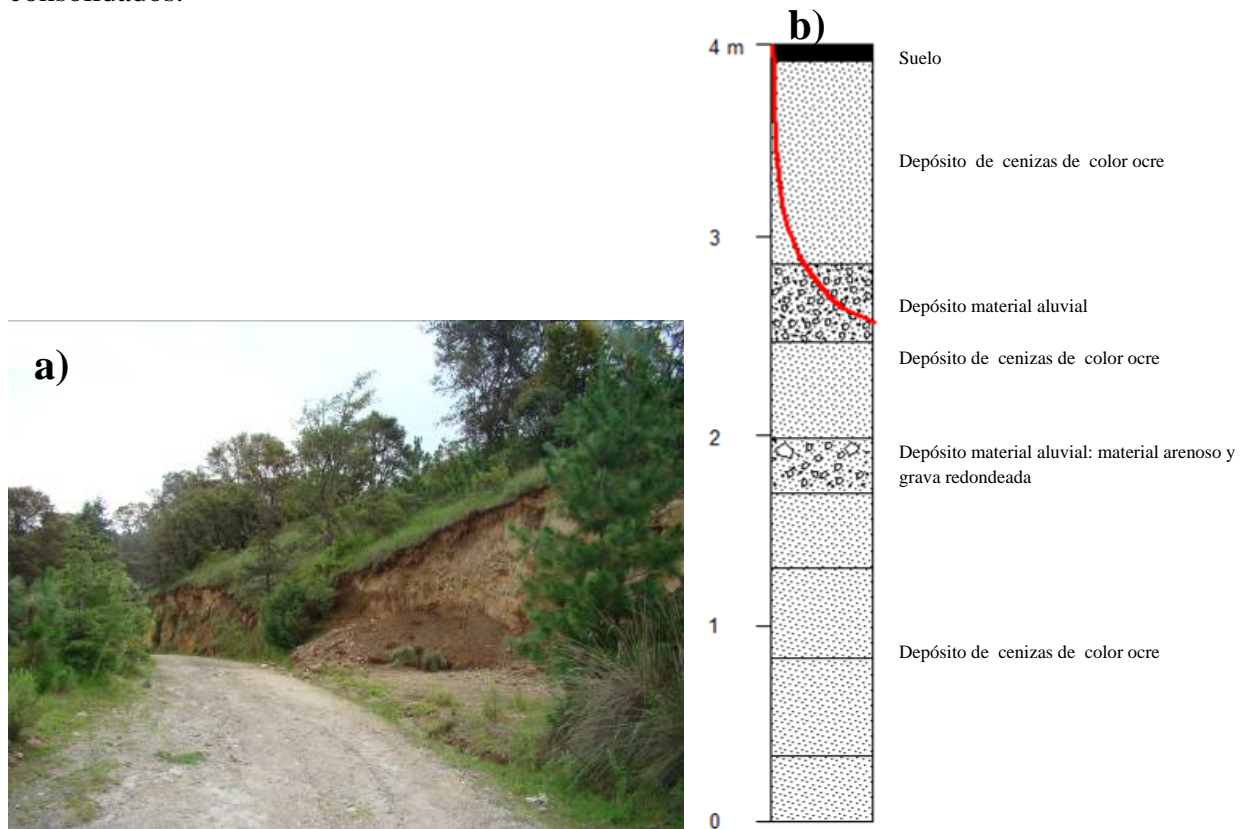


Figura 36. a) Se observan un corte en una ladera cóncava con rasgos de DSST, como es la inclinación de los árboles; b) En un corte de aproximadamente 4 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento

B.3 Deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), en conglomerados

Un primer sitio se ubica en la cabecera municipal (Figura 13, movimiento 11), sobre una ladera de aproximadamente 45° , con escalonamientos que reflejan un deslizamiento de suelo superficial de tipo traslacional (DSST), ha afectado a las construcciones que están sobre él (Figura 37). Esta ladera está constituida por un suelo Vertisol pélico, Andosol húmico de textura fina, con un tipo de roca arenisca-toba (INEGI, 1970). En campo se observa, en un corte, materiales de acarreo, con bloques que van desde 5 cm hasta 50 cm de diámetro (conglomerado), es un depósito poco consolidado.



Figura 37. Ladera de barranco se distinguen escalonamientos.

En la localidad de Enthavi 2^a. Sección, se identifican rasgos de un DSST, como son: árboles ligeramente inclinados, con superficie ondulada y en su borde superior, sobre la calle, con fracturas o ruptura del asfalto, lo que pone en evidencia el movimiento de deslizamiento (Figura 38). Dos se localizan a una altitud de 2925 msnm, sobre una ladera cóncava, con orientación hacia el sur, correspondiente a un extenso valle fluvial del río Miranda, con pendiente promedio de 30°, ocupada para la agricultura y casas (Figura 13, movimientos 23, 24). El sitio presenta, en un corte de 2 m, un depósito de un metro de espesor de conglomerado poco consolidado, con bloques subredondeados que van desde 5 a 20 cm de diámetro (Figuras 12, 39a y 39b), cubierto por una capa de tobas poco consolidadas.



Figura 38. Ladera cóncava con presencia de un DSST.

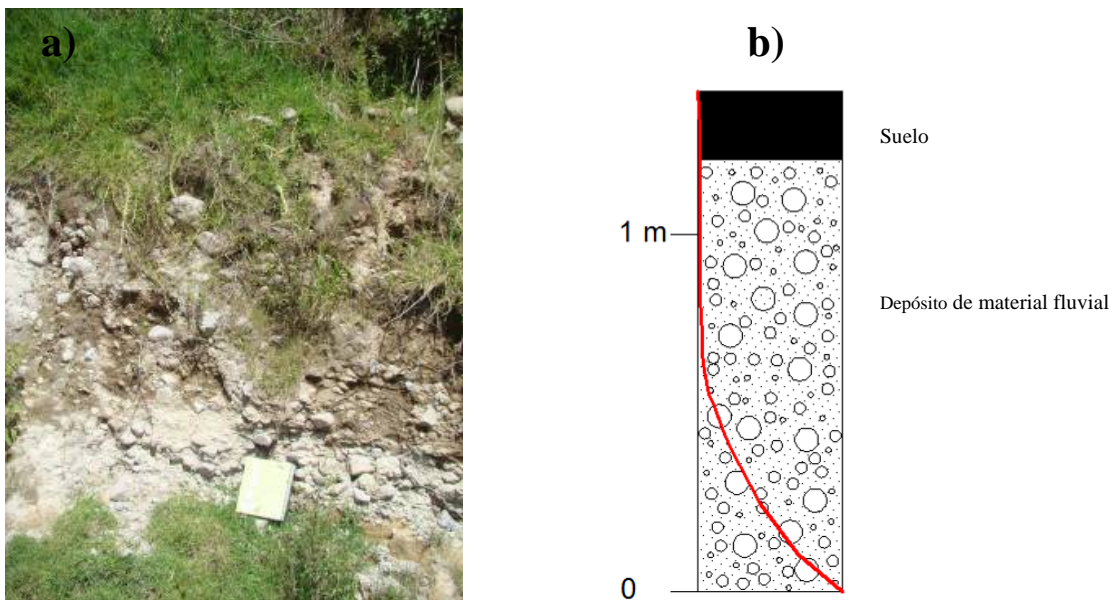


Figura 39. a) Depósito de conglomerado; b) Corte de aproximadamente 1.5 m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento.

El tercero se ubica sobre una ladera que corresponde a un extenso valle fluvial, del río Los Tres Ojuelos (Figura 13, movimiento 25), con orientación hacia el sur, con una pendiente de aproximadamente 45° , ocupada para la agricultura y casas, es notable la inclinación de los árboles (Figura 40). Este movimiento se está generando sobre un suelo y roca de características similares al sitio anterior.



Figura 40. Ladera con presencia de deslizamiento.

El cuarto sitio se ubica a unos 50 metros aproximadamente del punto anterior, con dirección hacia el este (Figura 13, movimiento 26), se nota un pequeño deslizamiento al pie de corte de camino (Figura 41).



Figura 41. Se notan deslizamientos a pie del corte del camino.

El último punto, ubicado a 2879 mnsn, sobre una ladera de fuerte pendiente de más de 45° (Figura 13, movimiento 27), con orientación hacia el sur, constituye el piedemonte superior, es una superficie elongada, deforestada y los pocos árboles que existen son

encinos, con algunos arbustos, es usada para la agricultura, pero tiene el problema de deslizamiento de tierras. Lo anterior es evidente por los escarpes que se notan en la superficie y la inclinación de los árboles, además, la gente ha colocado para evitar el movimiento sacos de arena, pero continuamente se les colapsa (Figuras 42, 43). Este movimiento se presenta en rocas y suelo con características similares a la anterior, pero se suma la presencia de una falla normal con dirección este-oeste.



Figura 42. Se notan un deslizamiento en una ladera de fuerte pendiente.



Figura 43. Se observa la construcción de diques con costales de arena.

En la localidad de San Pedro Abajo 1ª. Sección, se aprecia un deslizamiento menor (Figura 13, movimiento 28), en un corte de camino, con pendiente de aproximadamente 30°, sobre una ladera de un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, con orientación hacia el sur. Los árboles inclinados ponen en evidencia este movimiento (Figura 44). El movimiento ocurre sobre un suelo de tipo Andosol ócrico, Cambisol eútrico de textura media (INEGI, 1970), en rocas de arenisca-toba (INEGI, 1975). De acuerdo con Mooser *et al.* (1996) corresponde a la Formación Tarango. En un corte cercano a este punto, se observa un depósito de toba poco consolidada de aproximadamente un metro de espesor, que cubre un depósito de conglomerado, con bloques desde 3 hasta 30 cm de diámetro, muy similar a la zona de Enthavi 1ª Sección.



Figura 44. Corte de camino, la ladera presenta rasgos de un DSST.

En la localidad de Tlaltenango Arriba, se identifica un deslizamiento de suelo de tipo traslacional superficiales (DSST) en una ladera convexa-recta, con una pendiente de 45°, y orientación hacia el sur (Figura 13, movimiento 29). Corresponde a un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, ocupada para uso habitacional; la ganadería que existe es de autoconsumo; sobre esta ladera se ha construido un fraccionamiento residencial a unos cuantos metros del panteón de Tlaltenango (Figura 45a). Este movimiento es evidenciado por escarpes y árboles inclinados, desarrollándose en un suelo

de tipo Litosol crómico, Cambisol crómico de textura fina (INEGI, 1970) y con material aluvial (Figuras 12, 45b).

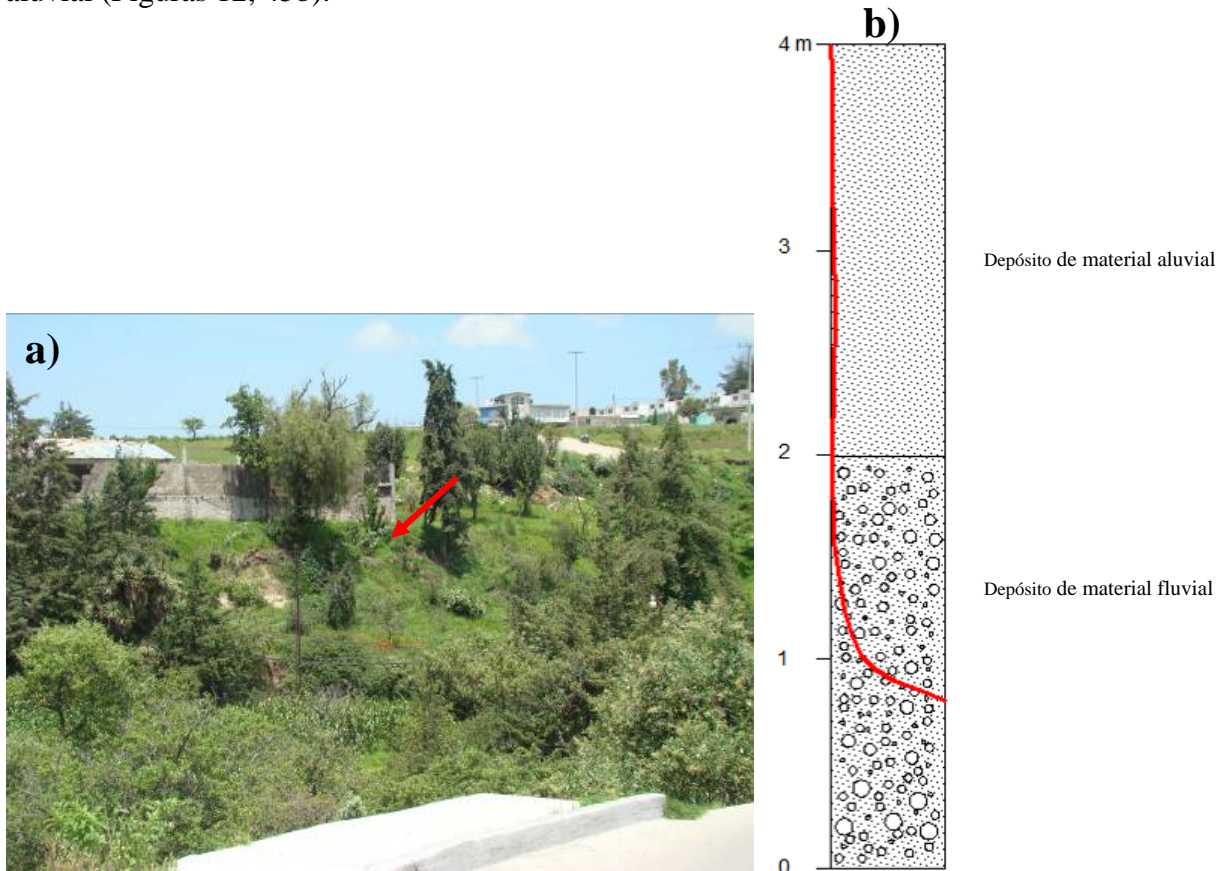


Figura 45. a) Ladera de barranco que muestra rasgo de deslizamiento; b) Corte de aproximadamente 4m, se distingue rasgos que indican un deslizamiento.

C. Complejo

Este proceso se observa en un barranco joven de apenas unos metros de longitud y 2 m de anchura (Figura 13, movimiento 33), en un depósito de flujo piroclástico consolidado en el que predominan bloques de tamaño entre los 3 y 5 cm, con un espesor de aproximadamente 3 m; en la base se observan bloques de hasta 1 m de diámetro (Figura 46).



Figura 46. Se observan depósito de flujo piroclástico con predominancia de bloques angulosos.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No. de procesos	TIPO DE MOVIMIENTO	MATERIAL INVOLUCRADO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	COORDENADAS UTM	LITOLOGÍA	SUELO	RASGOS GENERALES
1	Caídas o desprendimientos de rocas	Caídas o desprendimientos de rocas	Carretera a CC. Otomí 19°31'24.23"N 99°30'44.06"O	446248.4083 2158829.3920	Andesita. Corresponde a un depósito de flujo piroclástico, predominan fragmentos gruesos, en una matriz arenosa. Se nota dos suelos en los flujos piroclásticos.	Th + To/2. Andosol húmico, Andosol ócrico, textura media. Fase lítica (lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad).	Corte de carretera al parque Las Palomas, de aproximadamente 15 m, con desprendimientos de roca, en un tipo de material andesítico que constituye el domo de la caldera Jilotzingo.
2			Carretera a CC. Otomí 19°31'46.75"N 99°30'17.91"O	447054.8986 2159524.3636	Andesita. Corresponde a flujos piroclásticos, similar al anterior.	Th + To/2. Andosol húmico, Andosol ócrico, textura media. Fase lítica (lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad).	Corte de carretera al parque Las Palomas, de aproximadamente 5 m se distingue un deslizamiento. Constituye el domo de la caldera Jilotzingo.
3	Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional	Deslizamiento traslacional en suelos	Temoaya. 19° 28.356 99° 35.9948	436981.0165 2152568.4346	Arenisca- toba. Se identifican bloques gruesos dacítico de hasta 1 metro de diámetro.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Ladera con una inclinación de 45°, cubierta de vegetación encino-pino.
4			Pothé 19° 28.636 99° 35.7667	437206.0461 2153360.9577	Toba	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico, Textura media.	Ladera con una inclinación de 45°, cubierta de vegetación encino, en un pequeño barranco.
5			Rancho Loma Alta 19°28'37.56"N 99°35'46.06"O	436712.7266 2154721.4803	Toba	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico, Textura media.	Ladera de aprox. 45° de pendiente. Se nota un corte realizado por la gente para construir en corral de ganado. Encino pino.
6			Loma Alta. Panteón 19° 29.1044 99° 35.3908	436424.9125 2154609.6844	Toba. Con base en observación en campo son depósitos de material aluvial, capas interbandeadas de arena de acarreo fluvial y de conglomerado.	To+ Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico. Textura media	Corte de camino. Bosque de encino- pino. Se nota ligera inclinación de los árboles.
7			Límite con Jijipilco 19°30'44.10"N 99°36'29.66"O	436180.1729 2157617.1145	Toba. En campo se observó un flujo piroclástico, de aprox. 2 m de espesor, cubierta por una capa de toba.	1/2 y Lc + To/2. Litosol, textura media. Luvisol crómico, Andosol ócrico. Textura media.	Barranco, activo, acelerado proceso de cárcavas, producto de este proceso se ha desencadenado un proceso de deslizamiento, notándose por la inclinación de los árboles y el escalonamiento entre la cima y la ladera que conforma este barranco, que podrían ser resultado de la misma erosión.

Tabla 9. Distribución de los Procesos de Remoción en Masa, en el municipio de Temoaya, México. La información de litología y de suelos predominantes se retomó de las cartas geológicas y edafológicas de INEGI, 1970 Y 1975, además de observación en campo.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8	Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional	Deslizamiento traslacional en suelos	Camino Jijipilco, el Viejo 19°31.0248 99° 34.1233	440344.2668 2158158.2848	Andesita. Es un flujo piroclástico, cubierto por toba	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico, Textura media.	En este corte de camino se observa que los árboles que se encuentran en el borde están inclinados, producto de la pérdida de material, lo que podría desencadenar un pequeño deslizamiento
9			Camino Jijipilco, el Viejo 19°31'18.31"N 99°33'59.66"O	440542.6000 2158626.0014	Toba. Corresponde a un flujo piroclástico, por encima, toba	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico, Textura media.	Se nota una ladera de aproximadamente 30°, ocupada para la agricultura, construcción de casas habitación; sobre los campos de cultivo se observa ondulaciones del terreno, posiblemente a un movimiento, debido a los procesos de lavado superficial, desarrollándose pequeños arroyos, árboles inclinados en contra de la pendiente.
10			Carretera a CC. Otomí 19°31'49.76"N 99°30'10.99"O	447224.3658 2159594.1733	Andesita. Se notan flujos piroclásticos similares al anterior.	Th + To/2. Andosol húmico, Andosol ócrico, textura media. Fase lítica (lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad).	Ladera de aproximadamente 45°, recta del domo de la caldera Jilotzingo, se notan pequeños escalones, con árboles inclinados que pueden ser una evidencia del movimiento de ladera, que pudo haber sido iniciado por procesos erosivo-fluviales.
11			Temoaya 19°28'18.72"N 99°35'22.25"O	438132.9118 2153147.5356	Arenisca-toba. Son materiales aluviales	Vp + Th/3. Vertisol pélico, Andosol húmico, textura fina.	Ladera de aproximadamente 45 grados, se notan escalonamientos que reflejan un deslizamiento, afectado a las construcciones que están sobre él.
12			San Pedro Arriba. 2ª. Sec. 19°29'58.60"N 99°33'38.95"O	441154.0678 2156215.2202	Toba. Se distingue material fino, correspondiente a ceniza o toba.	Th + To/2. Andosol húmico, Andosol ócrico, textura media. Fase lítica (lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad).	Cerca de un barranco de primer orden, sobre el piedemonte inferior con procesos erosivos, con pendiente aproximado de 30°, ocupada para el cultivo de maíz y construcción de casas-habitación, sólo se observa vegetación de encino y arbustos en los bordes del barranco. Se observa un deslizamiento y, al parecer se está moviendo la parte superior, debido un escalonamiento e inclinación de la vegetación.
13			San Pedro Arriba. 2ª. Sec. 19°30'4.01"N 99°33'33.41"O	441275.3505 2156385.5296	Toba	INEGI. Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico. Textura media.	Ladera de fuerte inclinación (45°), corresponde al piedemonte inferior con procesos erosivos, ocupada principalmente para las casas-habitacionales, lo que puede estar originando movimientos en el terreno, como se nota en este punto.

Tabla 9. Distribución de los procesos de remoción en masa, en el municipio de Temoaya, México. La información de litología y de suelos predominantes se retomó de las cartas geológicas y edafológicas de INEGI, 1970 Y 1975; así como y observación en campo.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

14	Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional	Deslizamiento traslacional en suelos	Laurel 19°29'48.32"N 99°33'43.85"O	440995.0791 2155881.4606	Toba. Es material fino, tobas.	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico. Textura media.	Ladera de aproximadamente 30°, corresponde a una ladera de barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, fue ocupada para la agricultura, actualmente solo se usa para pastoreo, y casas, se observa ondulaciones en la superficie y vegetación inclinada, lo que podría estar indicando movimientos de deslizamiento.
15			San Pedro Arriba. 2ª. Sec. 19°29'48.42"N 99°33'28.45"O	441432.4355 2155891.1033	Toba. Flujo piroclástico, material más arenoso que fragmentos gruesos.	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico. Textura media.	Se aprecia un corte que se realizó para construir una casa-habitación, la cual no está terminada, se nota pequeños deslizamiento al borde del corte. El sitio también corresponde a una ladera de barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos.
16			San Pedro Arriba. 2ª. Sec. 19°29'50.08"N 99°33'26.56"O	441497.8414 2155956.5016	Toba. Se nota en la base, aprox. 1.5 m de material gravoso de color amarillo, cubierto por un depósito de flujo piroclástico de color gris, arenoso-gravoso, le continúa un depósito de aprox. 2 m de ceniza color ocre.	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico. Textura media.	Es un corte que se realizó para abrir un camino y al mismo tiempo se uso para la construcción de un invernadero, se nota un deslizamiento al pie del corte, pero se notan en la superficie que los árboles están ligeramente inclinados, lo que podría estar indicando movimiento de deslizamiento.
17			San Pedro Arriba. 2ª. Sec. 19°29'52.06"N 99°33'28.36"O	441459.8169 2156003.1113	Toba. Se distingue una capa de pómez de color blanco seguida de una depósito de flujo piroclástico arenoso de aproximadamente 1.5 m, de espesor, cubierto por un depósito de flujo piroclástico pero con fragmentos más gruesos de hasta 25 cm.	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico. Textura media.	Corresponde a la ladera norte del barranco anterior, con orientación hacia el sur, con pendientes de aproximadamente 30°, ocupada para la agricultura y en la cima para invernaderos y casas. Se nota sobre la ladera escarpes que se realizaron para la agricultura pero que han favorecido a procesos de erosión y al mismo tiempo al movimiento de deslizamiento, se nota también por la inclinación de los árboles.
18			San Pedro Arriba. 2ª. Sec. 19°29'45.19"N 99°33'33.07"O	441314.1761 2155792.2919	Toba Observaciones. Flujo piroclástico consolidado gravoso-arenoso, encima se nota toba.	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico. Textura media.	Ladera de barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, con orientación hacia el sur, donde, se observan algunos rasgos de movimiento de deslizamiento, como son, la inclinación de los árboles. Es importante mencionar que, se han realizado en la parte inferior, cercana al cauce, cortes para camino y casas-habitacionales, lo que puede estar favoreciendo al movimiento.

Tabla 9. Distribución de los procesos de remoción en masa, en el municipio de Temoaya, México. La información de litología y de suelos predominantes se retomó de las cartas geológicas y edafológicas de INEGI, 1970 Y 1975; así como y observación en campo.

19	Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional	Deslizamiento traslacional en suelos	Jijipilco El Viejo 19°30'59.33"N 99°34'27.80"O	439725.6097 2158088.5685	Toba. Flujos piroclásticos, predominan fragmentos grueso de hasta 30 cm, cubierto por material más fino de color amarillo ocre.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Ladera que corresponde un barranco que corta al piedemonte inferior con procesos erosivos, con una pendiente aproximada de 30°, con orientación hacia el sur, se aprecia que los árboles se ven ligeramente inclinados, con un escarpe en la parte superior, que podría estar indicando la ruptura del terreno.
20			Jijipilco El Viejo, 2º. Sec. 19°30'54.52"N 99°34'32.55"O	439584.6815 2157926.5845	Tobas. Flujos piroclásticos, similar al anterior, cubierto por toba.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Es un corte, realizado para la construcción de una escuela primaria, se observa un ligero escarpe al borde del corte, sobre el cual ha crecido la vegetación, pero se alcanza a distinguir en la parte superior, árboles inclinados que podrían estar indicando desplazamiento de la misma.
21			Enthavi 19°30'29.99"N 99°34'24.75"O	439816.9405 2157190.2299	Toba. Se nota de arriba hacia abajo, una capa de material de color amarillo ocre correspondiente a una toba, seguido un flujo piroclástico de color gris consolidado, con bloque grandes de hasta un metro de diámetro, le sigue una capa de material de color amarillo arenoso de aproximadamente un metro de espesor, y finalmente, en la base una capa de ceniza de color blanco.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Corte de aproximadamente 5 m de altura, de la ladera correspondiente a un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, con orientación hacia el norte; que realizaron para construir casas, se distinguen características similares a los anteriores sitios. De acuerdo a los habitantes es un suelo muy duro y con característica de tepetates.
22			Enthavi 19°30'40.84"N 99°34'21.77"O	439890.5961 2157528.7898	Toba. Se nota un bloque, posiblemente producto de erosión, es un bloque constituido de flujo piroclástico.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Sitio a 50 m del punto anterior, corresponde a la ladera norte del mismo barranco, con orientación hacia el sur. Es una ladera con una inclinación aproximada de 30°, se alcanza a distinguir un bloque de flujo piroclástico consolidado, producto posiblemente de la erosión, lo que implica un importante arrastre de los sedimentos de la ladera, así como, otros rasgos de deslizamientos, como es la inclinación de los árboles y ligeras ondulaciones sobre el terreno.

Tabla 9. Distribución de los procesos de remoción en masa, en el municipio de Temoaya, México. La información de litología y de suelos se retomó de las cartas geológicas y edafológicas de INEGI, 1970 Y 1975; así como y observación en campo.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

23	Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional	Deslizamiento traslacional en suelos	Camino Enthavi. 2ª. Sec. 99°34'21.77"O 99°34'13.44"O	440147.1440 2157700.6014	Toba. Material de conglomerado, por encima una capa delgada de toba.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Ladera cóncava, con orientación hacia el sur, correspondiente a un extenso valle fluvial del río Miranda, con una pendiente promedio de 30°, ocupada para la agricultura y casas, se notan árboles ligeramente inclinado, con superficie ondulada y en su borde superior, sobre la calle, se notan fracturas o ruptura del asfalto, lo que pone en evidencia el movimiento.
24			Camino Enthavi. 2ª. Sec. 99°34'13.44"O 99°34'13.44"O	440078.5548 2157537.8893	Conglomerado	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Este punto se ubica unos 30 m del anterior con características similares.
25			Camino Enthavi. 2ª. Sec. 19°30'11.64"N 99°34'10.63"O	440225.3535 2156613.6137	Toba	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Ladera que corresponde a un extenso valle fluvial, del río Los Tres Ojuelos, con orientación hacia el sur, y una pendiente de aproximadamente 45°, ocupada para la agricultura y casas, esta actividad está generando el movimiento de deslizamiento en esta ladera, sumado a estos rasgos, es la notable inclinación de los árboles.
26			Camino Enthavi. 2ª. Sec. 19°30'16.83"N 99°34'4.02"O	440435.2683 2156796.6042	Toba	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Este sitio se ubica unos 50 aproximadamente m del punto anterior, se distingue un derrumbe a nivel de corte de camino, pero muestra características similares al anterior.
27			Camino Enthavi. 2ª. Sec. 19°30'17.59"N 99°33'39.44"O	441116.4755 2156809.6846	Se nota una capa de conglomerado de aproximadamente 2 m.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Corresponde a una ladera de fuerte pendiente de más de 45°, con orientación hacia el sur, constituye el piedemonte superior, es una superficie elongada, deforestada, los pocos árboles que existen son encinos, con algunos arbustos, es ocupada para la agricultura pero, tiene el problema de deslizamiento de tierras, que es evidente por los escarpes que se notan en la superficie y la inclinación de los árboles, además de, que la gente ha colocado, para evitar el movimiento, sacos de arena, pero continuamente se les colapsa.

Tabla 9. Distribución de los procesos de remoción en masa, en el municipio de Temoaya, México. La información de litología y de suelos se retomó de las cartas geológicas y edafológicas de INEGI, 1970 Y 1975; así como y observación en campo.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

28	Deslizamiento traslacional o de bloques no-rotacional	Deslizamiento traslacional en suelos	San Pedro Abajo 1ª. Sec. 19°28'43.91"N 99°35'12.27"O	438433.3723 2153941.7048	Arenisca-toba. Se distingue toba que, cubre un depósito de conglomerado.	To+Be/2. Andosol ócrico, Cambisol eútrico, textura media	Corresponde a un corte de camino, de aproximadamente 30°, con orientación hacia el sur, en la ladera de un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos. Se aprecia un deslizamiento pequeño en el borde del mismo, con árboles inclinados, lo que pone en evidencia este movimiento.
29			Tlaltenango Arriba. 19°28'25.29"N 99°35'24.96"O	438047.2575 2153347.0308	Arenisca-toba. Similar al punto anterior, predominan conglomerados.	Lc+Bc/3. Litosol crómico, Cambisol crómico, textura fina.	Ladera convexa-recat, recta con una pendiente de 45°, con orientación hacia el sur. Corresponde a un barranco que corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, ocupada para uso habitacional. Se ha construido un fraccionamiento residencial, a unos cuantos metros del panteón de Tlaltenango. Se presenta un deslizamiento, evidenciado escarpes y árboles inclinados.
30			Tlaltenango Abajo 19°28'16.09"N 99°35'7.69"O	438492.2061 2153087.0622	Toba. Se distinguen, en una mina, un corte de aprox. 30 m de flujo piroclástico, conformado por material arenoso y fragmentos de roca de entre 3-8 cm, cubierto por una capa de toba.	Lc+Bc/3. Litosol crómico, Cambisol crómico, textura fina.	Ladera convexa, cortada por cárcavas originadas por actividad antrópica, principalmente deforestación y cortes para construir caminos y casas, tiene una pendiente de 45°, con orientación hacia el norte, ubicado en el piedemonte inferior con procesos erosivos. Se alcanzan a apreciar algunos árboles inclinados posiblemente originados por un movimiento de deslizamiento.
31			Tlaltenango Abajo	438501.632 2153094.085	Toba	Lc+Bc/3. Litosol crómico, Cambisol crómico, textura fina.	Con características similares al anterior.
32			Tlaltenango Abajo 19°28'38.40"N 99°35'6.25"O	438610.1519 2153752.4394	Toba	Bc+l/2. Cambisol crómico, Litosol, textura media. Fase dura profunda (duripan entre 50 y 100 cm. De profundidad)	Es una ladera de fuerte pendiente, que corresponde al barranco del río Miranda, con orientación hacia el norte, corta el piedemonte inferior con procesos erosivos, presenta vegetación de encinos. Se observa de manera notable la inclinación de los árboles lo que podría ser un indicio de movimiento de la ladera.
33	Complejo	Flujos de detritus y desprendimientos de rocas	Pothé 19° 28.636 99° 35.7667	437436.9413 2153733.9992	Toba. Se observó un flujo piroclástico, predominan los bloques tamaño grava de entre 3 y 5 cm, con un espesor de aproximadamente 3 m, por debajo de esta capa se observa bloques de hasta 1 m de diámetro.	Be + To /2. Cambisol eútrico, Andosol ócrico, Textura media.	Ladera con una inclinación de 45°, cubierta de vegetación encino ligeros escarpes.

Tabla 9. Distribución de los procesos de remoción en masa, en el municipio de Temoaya, México. La información de litología y de suelos se retomó de las cartas geológicas y edafológicas de INEGI, 1970 Y 1975; así como y observación en campo.

IV.2 ZONIFICACIÓN DE ÁREAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS DE SUELO SUPERFICIALES DE TIPO TRASLACIONAL (DSST)

La fase inicial involucró la construcción de la *matriz de comparación de pares*, a partir de la determinación de los factores a analizar con base en los criterios establecidos por los expertos. Posteriormente, se colocaron en función de la trascendencia que representa en la generación de los deslizamientos en el municipio. Se usó la escala de importancia relativa propuesta por Saaty (1977), entre los factores utilizados considerando la opinión de los expertos en el tema y el trabajo de campo. En una etapa subsecuente se obtuvo el peso de cada criterio (Tablas 10 y 11) con base en la normalización de los valores y la obtención del *eigenvector* principal, el cual se obtiene de la sumatoria de las filas, éste último se divide entre el número de criterios o variables y se obtiene el peso.

Criterio (j)	Pendiente	Materiales	Fallas	Unidad geomorfológica	Uso de suelo	Vías
Pendiente	1	1/4	3	3	4	5
Materiales	4	1	4	3	5	3
Fallas	1/3	1/4	1	4	2	1/3
Unidad geomorfológica	1/3	1/3	1/4	1	1/2	1/2
Uso de suelo	1/4	1/5	1/2	2	1	1/2
Vías	1/5	1/3	3	2	2	1
<i>Normalización de los valores</i>						
Criterio (j)	Pendiente	Materiales	Fallas	Unidad geomorfológica	Uso de suelo	Vías
Pendiente	1	0.2	3	3	4	5
Materiales	4	1	4	3	5	3
Fallas	0.3	0.2	1	4	2	0.33
Unidad geomorfológica	0.3	0.3	0.2	1	0.5	0.5
Uso de suelo	0.2	0.2	0.5	2	1	0.5
Vías	0.2	0.3	3	2	1	1
Suma	6.1	2.3	11.7	15	13.5	10.3

Tabla 10. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados.

Criterio (j)	Pendiente	Materiales	Fallas	Unidad geomorfológica	Uso de suelo	Vías	eigenvector principal	Peso
Pendiente	0.1	0.10	0.2	0.2	0.2	0.4	2.3	0.3
Materiales	0.6	0.4	0.34	0.2	0.3	0.2	2.2	0.3
Fallas	0.05	0.1	0.08	0.26	0.1	0.03	0.6	0.1
Unidad geomorfológica	0.05	0.1	0.02	0.06	0.03	0.04	0.3	0.05
Uso de suelo	0.04	0.08	0.04	0.1	0.07	0.04	0.4	0.06
Vías	0.03	0.1	0.02	0.1	0.07	0.09	0.4	0.07

Tabla 11. Obtención del eigenvector principal para determinar el peso de cada criterio.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad, como se mencionó en el capítulo de metodología se utilizaron las variables de pendientes, materiales, fallas, unidad geomorfológica, uso de suelo y vías de comunicación (Figuras 47, 10 (página 74), 11 (página 75), 48, 49 y 50, respectivamente). Para ello se empleó el software Arc Map, versión 9.3, donde los pesos de las variables utilizadas permitieron conocer el nivel de importancia de cada uno, lo cual sirvió para realizar el procedimiento algebraico en el programa. Con antelación se clasificaron los parámetros de cada factor en cinco categorías: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo, con base en su influencia en la inestabilidad, considerando, la opinión de los expertos, la información documental y principalmente el trabajo de campo. Se efectuó el mismo procedimiento que en los factores, es decir, obtener los pesos de cada parámetro; éstos se agregaron a la tabla de atributos de cada una de las capas vectoriales. Posteriormente, se reclasificó con base en las cinco categorías antes mencionadas con la determinación de los pesos (Tabla 12). La información vectorial (mapas) fue transformada a formato *raster*, con la herramienta *raster calculator*, dicho formato permitió que cada celda o *pixel* tenga un atributo numérico de acuerdo al dato temático que representa para sumar las capas de información, con la nueva asignación de valores de susceptibilidad (muy alta, alta, media, baja, muy baja).

FACTOR	SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Pendiente	0-5°	5° - 15°	15° - 25°	25 ° 35°	35°-45°
Materiales	Depósitos aluviales	lavas	Caldera Monte Alto	Caldera La Catedral	Flujos piroclásticos, flujos de pómez, cenizas y conglomerados
Fallas	No existen	N.A	N.A	N.A	Sí existen
Unidad Geomorfológica	Planicie baja	Planicie alta	Piedemonte bajo	Montaña	Piedemonte alto y medio
Uso de suelo	Agricultura de riego	Bosque denso	Bosque poco denso, pastizales y erosión	Población	Agricultura de temporal
Distancia a vías de comunicación (en metros)	20	N.A	N.A	N.A	50

Tabla 12. Categorías de los parámetros empleados en el análisis multicriterio.

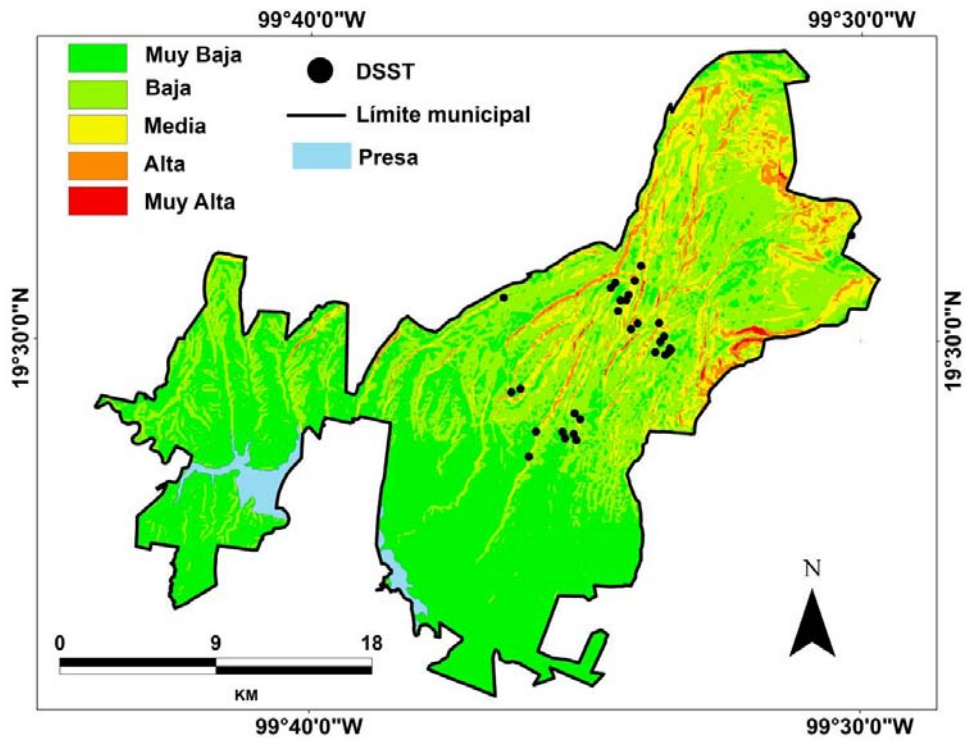


Figura 47. Mapa de pendientes del municipio de Temoaya, Estado de México.

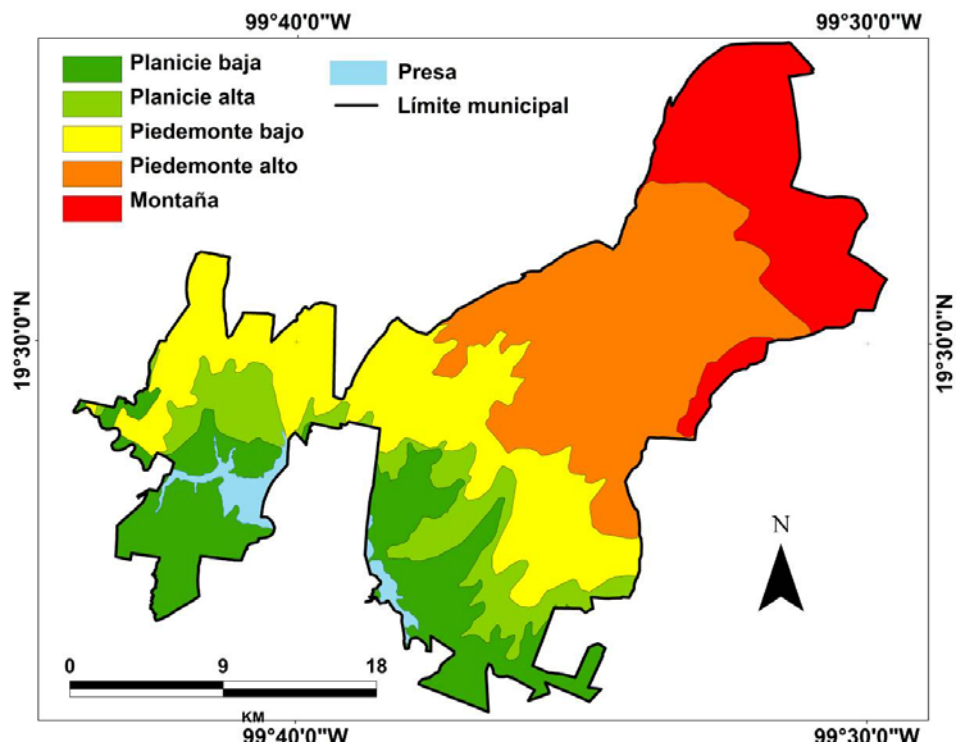


Figura 48. Mapa de unidades geomorfológicas del municipio de Temoaya, Estado de México.

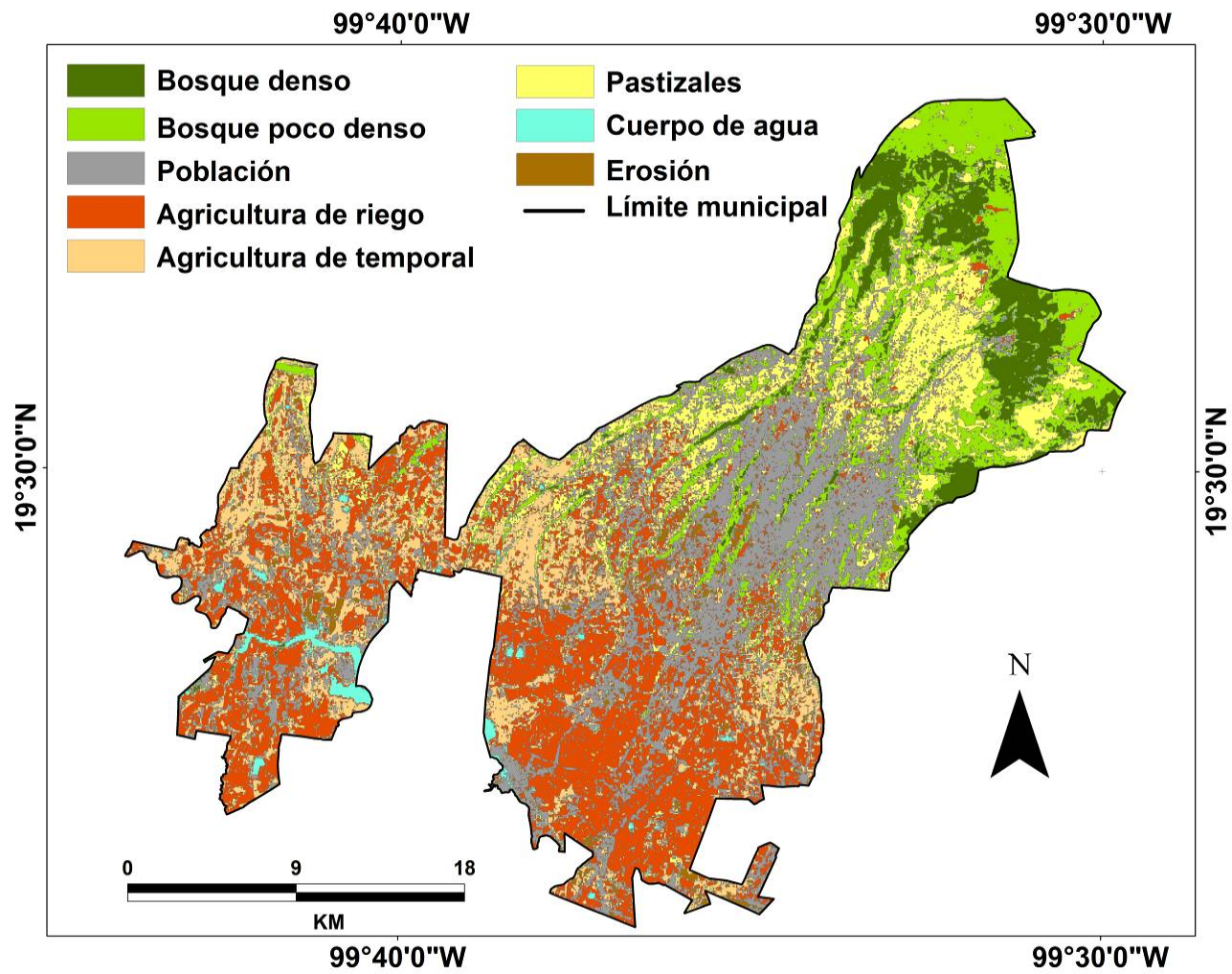


Figura49. Mapa de uso de suelo del municipio de Temoaya, Estado de México.

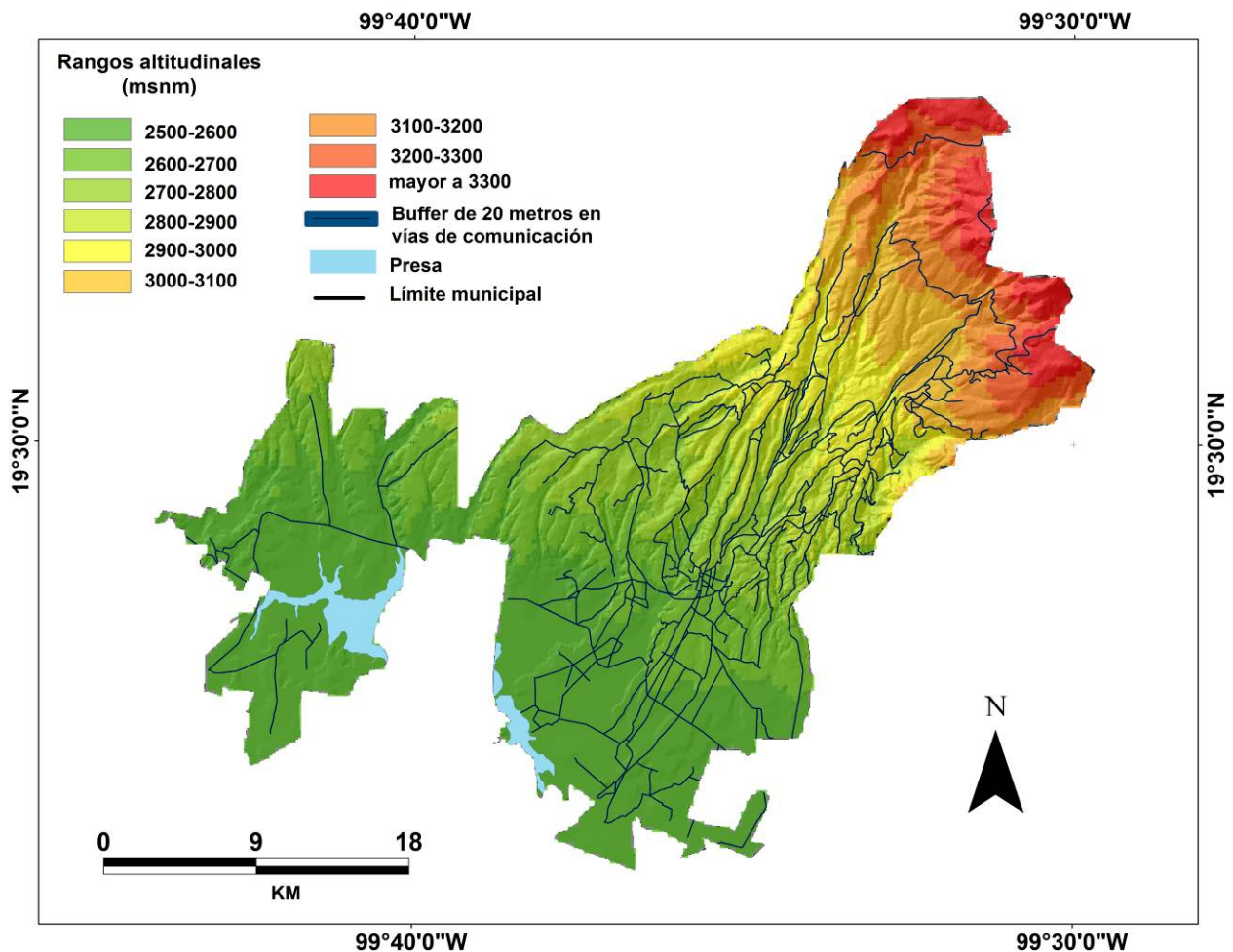


Figura 50. Mapa de vías de comunicación del municipio de Temoaya, Estado de México.

Con base en la aplicación del método de análisis multicriterio se elaboró el mapa de susceptibilidad en escala 1:50 000 a deslizamientos para el municipio de Temoaya, Estado de México (Figura 51). El 80% de los de los deslizamientos registrados, es decir, 26, se presentan en laderas de barrancos, con pendientes en promedio de 35°, en depósitos vulcanoclásticos (flujos piroclásticos de bloques, cenizas y pómez), y suelos poco profundos y con textura arenosa y limosa, con uso de suelo agrícola y ocupacional.

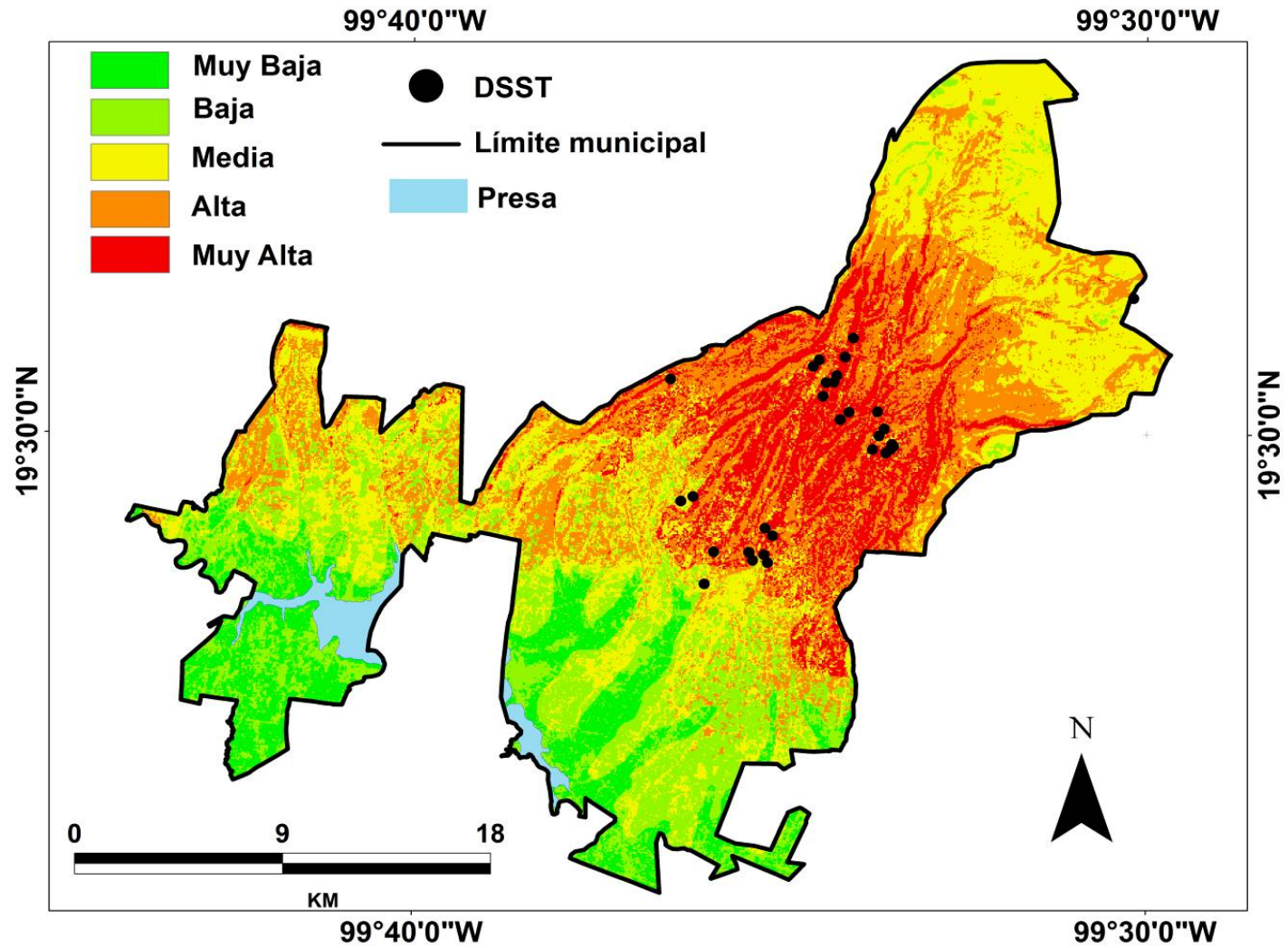


Figura 51. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de suelo superficiales de tipo traslacional (DSST), del municipio de Temoaya, Estado de México

En este se puede apreciar que el 15% del territorio municipal presenta muy alta susceptibilidad a deslizamientos de tierra, esto es, que tiene las condiciones favorables para la ocurrencia de este proceso. Las áreas se ubican en el piedemonte alto, sobre laderas de barrancos, con pendientes superiores a los 30°, en materiales principalmente de flujos piroclásticos, cenizas volcánicas, flujos de pómez y conglomerados; con presencia de fallas, ocupación habitacional y áreas de cultivo, en esta zona se ubican 19 DSST. Al comparar el mapa de susceptibilidad derivado del método de análisis multicriterio con los mapas morfométricos, se observan resultados similares con los registros obtenidos en campo.

De acuerdo con los resultados del análisis multicriterio, la zona de alta susceptibilidad ocupa el 35%; éste incluye el piedemonte alto, en el cual el rango de pendientes oscila entre 25° y 35°, predominan los usos de suelo agrícola y pastizales, en esta área se registraron 11 movimientos. Tanto en la zona de muy alta y alta susceptibilidad los valores morfométricos son similares: profundidad de disección (200-270 m), densidad de disección (2.5-4.5 km/km²) y energía del relieve (100-400 m) (Figuras 52, 53 y 54).

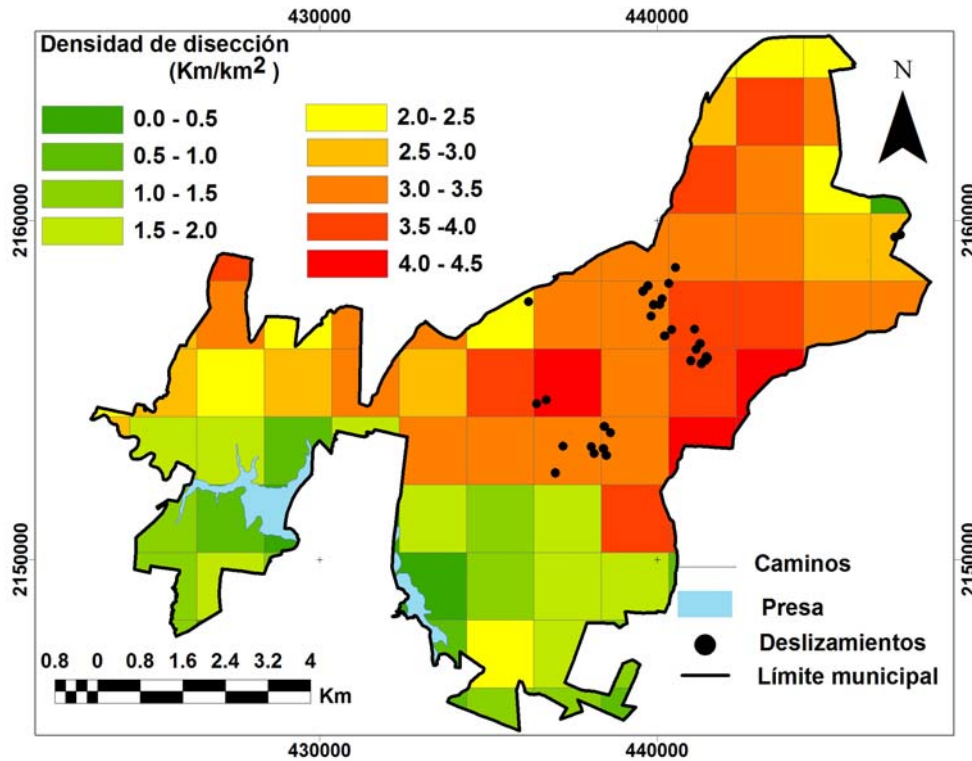


Figura 52. Mapa de densidad de disección en el municipio de Temoaya, Estado de México

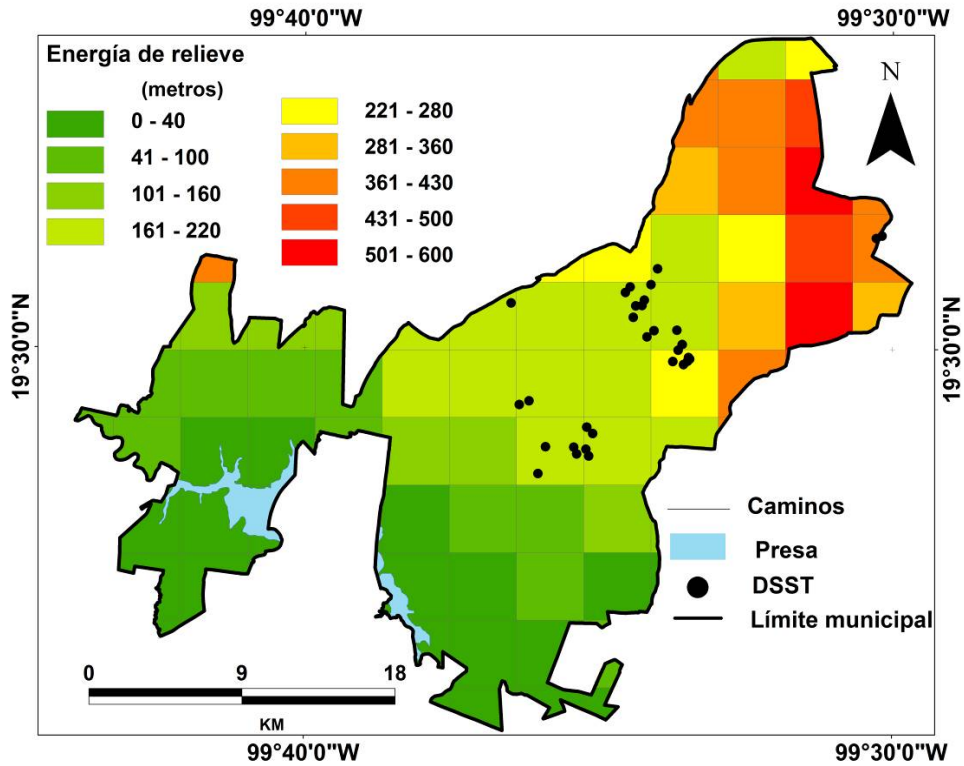


Figura 53. Mapa de energía del relieve en el municipio de Temoaya, Estado de México.

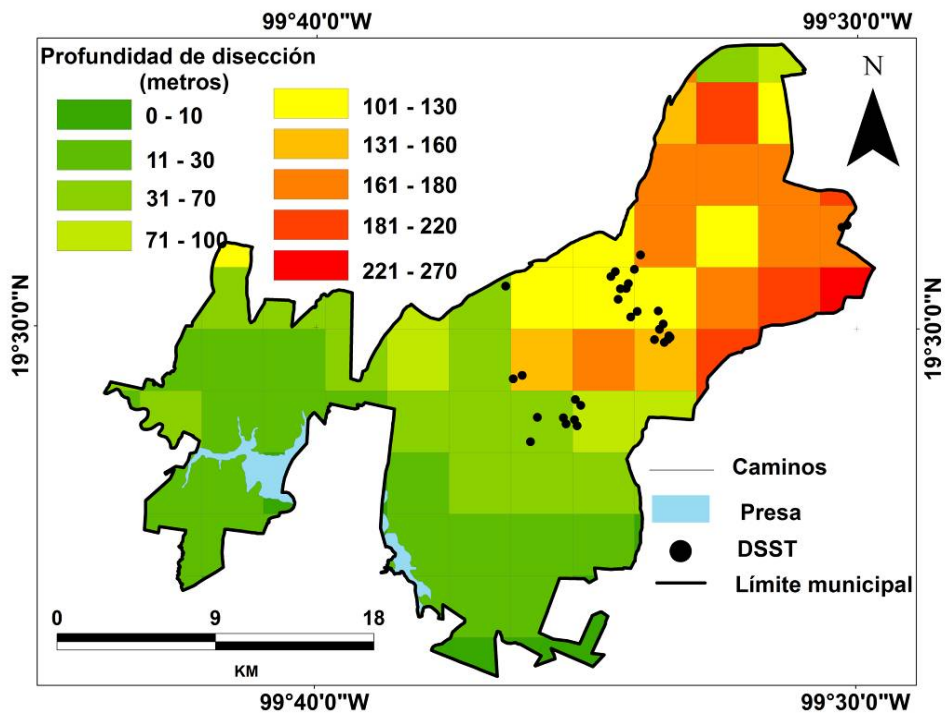


Figura 54. Mapa de profundidad de disección en el municipio de Temoaya, Estado de México.

El 30% del territorio, ocupa un nivel de susceptibilidad medio, que abarca en su mayoría la zona montañosa, conformada por laderas de domos que hacen la caldera La Catedral en materiales de lavas andesíticas, flujos piroclásticos y cenizas volcánicas; con pendientes superiores a los 35°. Predomina un bosque denso de coníferas y sólo se registra un DSST y dos movimientos de caída de rocas, lo que indica que la vegetación en esta zona ha sido un factor que inhibe la generación de estos procesos.

Finalmente, el 15% presenta una baja susceptibilidad, abarca el piedemonte bajo y la zona de domos. Únicamente un 5% es de muy baja susceptibilidad, corresponde al piedemonte bajo y zonas de planicie donde los valores de pendiente son menores a los 20°, en material principalmente de conglomerado y aluvial y, en gran parte con un uso de suelo agrícola.

En el mapa elaborado se expresa que el 50% de la superficie del municipio presenta condiciones favorables para que ocurran deslizamientos superficiales de suelo de tipo traslacional, es decir, son zonas de muy alta y alta susceptibilidad. Esto significa que la inestabilidad de laderas en el municipio de Temoaya está controlada por el carácter de los depósitos vulcanoclásticos, específicamente flujos piroclásticos de bloques, cenizas y pómez, los cuales al ser materiales permeables favorecen la infiltración, por lo que si el material subyacente es impermeable o de menor permeabilidad, se presenta una saturación de agua sobre el contacto litológico subhorizontal que se transforma en un flujo que conduce a la inestabilidad del material sobreyacente.

Es importante señalar que si bien el mapa elaborado representa la distribución espacial de zonas susceptibles a deslizamientos superficiales de suelo de tipo traslacional, éste no pretende ser una herramienta para identificar otro tipo de procesos de remoción en masa, tales como las caídas de rocas. Lo anterior obedece a que cada tipo de proceso es resultado de mecanismos particulares estrechamente vinculados con los materiales involucrados. Por esta razón, en el mapa de susceptibilidad existen zonas de alta pendiente con afloramientos rocosos que no están identificadas como de alta o muy alta susceptibilidad para este tipo de procesos, pero que evidentemente son áreas muy susceptibles para la ocurrencia de caídas o vuelcos.

Los deslizamientos que se presentan en el municipio de Temoaya, Estado de México, han afectado en la mayoría de los casos a vías de comunicación, tanto pavimentadas como de terracería, lo que obstaculiza el libre paso de vehículos y personas. Asimismo, también han ocurrido afectaciones en áreas de cultivo, principalmente de maíz; así como zonas de bosque de encino (altitud de entre 2700-3000 msnm). Con respecto a daños a casas-habitación, existe fracturamiento en paredes en construcciones ubicadas cerca de la cabecera municipal, sobre el piedemonte bajo. Cabe mencionar que en este sitio se presenta un deslizamiento que abarca material de acumulación fluvial sobre las laderas de un barranco.

IV.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA VULNERABILIDAD

Para evaluar la vulnerabilidad se aplicó el método análisis multicriterio por cada componente, de tal manera a través del SIG, se obtuvo un mapa temático por indicador (ver Tabla 7, página 80), del mismo modo que la susceptibilidad, primero se obtuvieron los datos en un formato vectorial y posteriormente en formato raster con la finalidad de realizar la operación algebraica, que fue una sumatoria, para ello se reclasificaron los valores del mayor a menor de 1 a 5 que representan las siguientes categorías: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. En las tablas 13, 14 y 15 se muestran los valores específicos según la relevancia de los criterios considerados con base a la opinión de los expertos, literatura especializada, escala de estudio y la información disponible. Finalmente, en la tabla 16 se definen valores de cada dimensión considerada para evaluar la vulnerabilidad del área en estudio.

Exposición

a					
Criterio (j)	Población	Usos de suelo	Vías de comunicación	Educación	Salud
Población	1	3	5	4	5
Usos de suelo	1/3	1	2	1/2	2
Vías de comunicación	1/3	2	1	2	0.5
Educación	1/4	3	1/2	1	3
Salud	1/5	1/2	1/2	1/3	1

<i>Normalización de los valores</i>					
Criterio (j)	Población	Usos de suelo	Vías de comunicación	Educación	Salud
Población	1	3	5	4	5
Usos de suelo	0.3	1	2	0.5	2
Vías de comunicación	0.3	2	1	2	0.5
Educación	0.25	3	0.5	1	3
Salud	0.2	0.5	0.5	0.3	1
Suma	2.1	9.5	9	7.8	11.5

b							
Criterio (j)	Población	Usos de suelo	Vías de comunicación	Educación	Salud	Eigenvector principal	Peso principal
Población	0.47	0.31	0.55	0.51	0.43	2.29	0.46
Usos de suelo	0.15	0.10	0.22	0.06	0.17	0.729	0.15
Vías de comunicación	0.15	0.21	0.11	0.25	0.04	0.779	0.16
Educación	0.11	0.31	0.05	0.12	0.26	0.879	0.17
Salud	0.09	0.05	0.055	0.04	0.08	0.339	0.06

Tabla 13. Matriz de comparación de pares para la dimensión de Exposición: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del eigenvector principal para determinar el peso de cada criterio.

Fragilidad

a					
Criterio (j)	Población	Educación	Salud		
Población	1	4	6		
Educación	1/4	1	3		
Salud	1/4	1/2	1		
<i>Normalización de valores</i>					
Criterio (j)	Población	Educación	Salud		
Población	1	4	6		
Educación	0.25	1	3		
Salud	0.25	0.5	1		
Suma	1.5	5.5	10		

b					
Criterio (j)	Población	Educación	Salud	eigenvector principal	Peso
Población	0.66	0.72	0.6	1.99	0.66
Educación	0.16	0.18	0.3	0.64	0.21
Salud	0.16	0.09	0.1	0.35	0.12

Tabla 14. Matriz de comparación de pares para la dimensión de Fragilidad: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del eigenvector principal para determinar el peso de cada criterio.

Resiliencia

a				
Criterio (j)	Protección civil	Número de hospitales		
Protección civil	1	2		
Capacidad hospitalaria	1/2	1		
<i>Normalización de valores</i>				
Criterio (j)	Protección civil	Número de hospitales		
Protección civil	1	2		
Capacidad hospitalaria	0.5	1		
Suma	1.5	3		
b				
Criterio (j)	Protección civil	Número de hospitales	Eigenvector principal	Peso
Protección civil	0.66	0.66	1.33	0.66
Capacidad hospitalaria	0.33	0.33	0.66	0.33

Tabla 15. Matriz de comparación de pares para la dimensión de Resiliencia: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del eigenvector principal para determinar el peso de cada criterio.

Vulnerabilidad

a					
Criterio (j)	Exposición	Fragilidad	Resiliencia		
Exposición	1	4	3		
Fragilidad	1/4	1	4		
Resiliencia	1/3	2	1		
<i>Normalización de valores</i>					
Criterio (j)	Exposición	Fragilidad	Resiliencia		
Exposición	1	4	3		
Fragilidad	0.25	1	4		
Resiliencia	0.33	2	1		
Suma	1.58	7	8		
b					
Criterio (j)	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Eigenvector principal	Peso
Exposición	0.63	0.57	0.375	1.57	0.52
Fragilidad	0.15	0.14	0.5	0.80	0.26
Resiliencia	0.21	0.28	0.125	0.62	0.20

Tabla 16. Matriz de comparación de pares para la Vulnerabilidad: a. Comparación de importancia relativa entre pares entre los parámetros determinados; b. Obtención del eigenvector principal para determinar el peso de cada criterio.

Con base en el Marco Geostadístico establecido por INEGI, el municipio de Temoaya, Estado de México, está integrado por seis AGEB's rurales (son rurales porque contienen una o más localidades rurales, incluso quedar dentro de ellas una o más localidades urbanas) y siete urbanas (agrupa de una a 50 manzanas aproximadamente). En la figura 55, se muestra la distribución espacial de ésta áreas, y en la tabla 17, el listado de las mismas con las localidades que las comprenden.

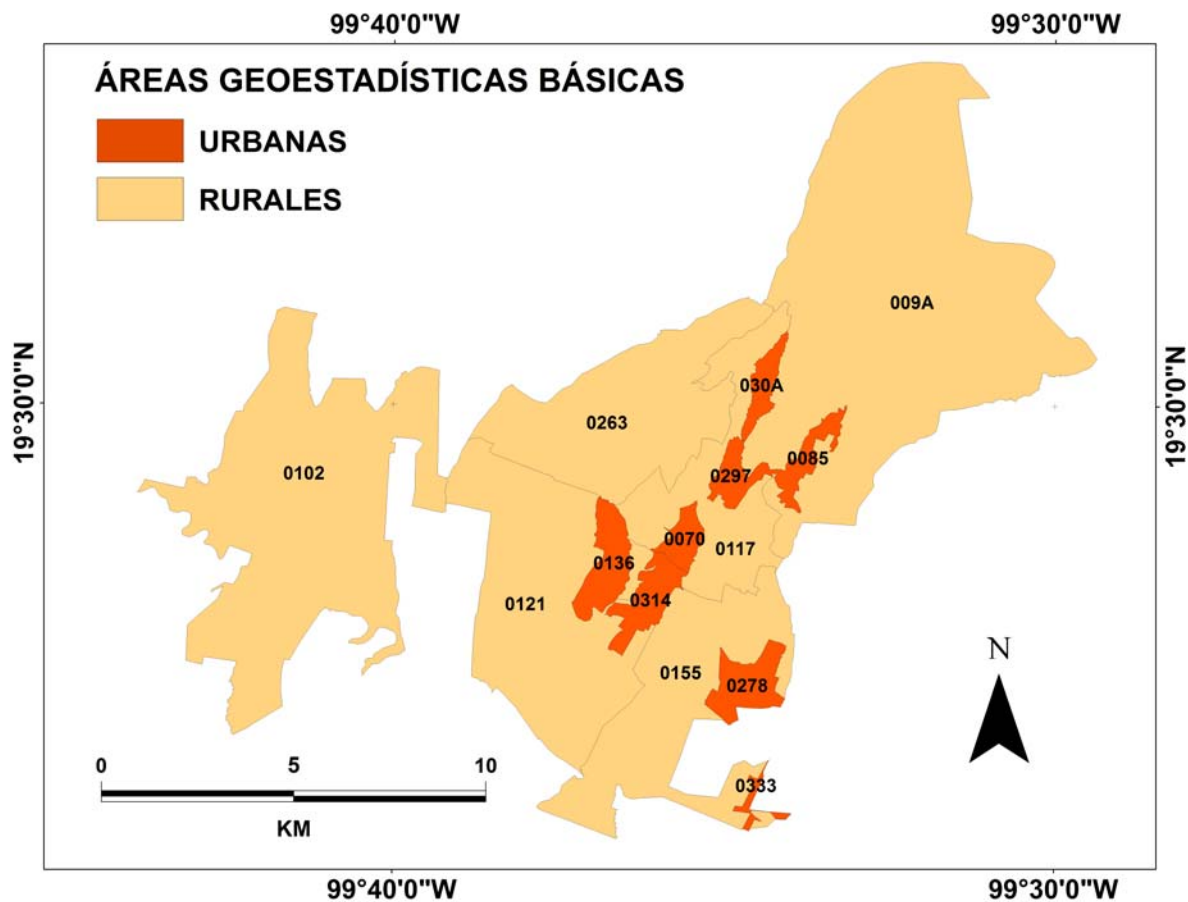


Figura 55. Distribución espacial de la Áreas Geoestadísticas Básicas. INEGI (2010).

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, MÉX.

CAPÍTULO VI

No.	Clave De AGEB y tipo	Nombre de AGEB	Localidades	Total de Localidades
1	030A. Urbana	Enthavi	Enthavi	1
2	0297. Urbana	San Pedro Abajo	San Pedro Abajo	1
3	0070. Urbana	Temoaya	Temoaya	1
4	0136. Urbana	San Diego Alcalá	San Diego Alcalá	1
5	0314. Urbana	Molino Abajo	Molino Abajo	1
6	0278. Urbana	San Lorenzo Oyamel	San Lorenzo Oyamel	1
7	0085. Urbana	San Pedro Arriba	San Pedro Arriba	1
8	0333. Urbana	Fraccionamiento Rinconada Del Valle	Fraccionamiento Rinconada del Valle	1
9	0155. Rural	No Aplica	Hacienda Las Trojes Campamento Kilómetro 48 La Magdalena Tenexpan 4ta. Sección La Magdalena Tenexpan 3ra. Sección Ejido De Mimbres Llano De La Y Ranchería De Trojes (San Antonio del Puente) Ejido Bordo del Capulín San José Buenavista El Grande	9
9	0121. Rural	No Aplica	San Antonio Del Puente San José Comalco Colonia Morelos Loma de San Nicolás Ejido de Dolores San Mateo Alcalá San José Pathé Silverio Galicia García Colonia Emiliano Zapata (Ejido Santiago Temoaya) Loma De Progreso	11
10	0102. Rural	No Aplica	Ranchería Las Lomas Ejido de Taborda Ejido de Allende Rancho Maruca Del Río San Lucas San José Las Lomas	6
11	0263. Rural	No Aplica	Tlaltenanguito Rancho Cordero Cerrito del Panal La Cañada Calle Real Vista Hermosa	7
12	0117. Rural	No Aplica	Zanja Vieja Tlaltenango Arriba Pothé La Magdalena Tenexpan Loma Alta Tlaltenango Abajo San Pedro Abajo 1ra. Sección (Loma del Caracol) San Pedro Abajo 2da. Sección (Loma Larga) Jiquipilco El Viejo Luis Donaldo Colosio Murrieta Tierra Blanca	12

13	009A.Rural	No Aplica	Colonia Centro Ceremonial Otomí San Pedro Arriba 6ta. Sección Puente Roto San Pedro Arriba 2da. Sección San Pedro Arriba 3ra. Sección San Pedro Arriba 4ta. Sección (Cinco Reales) San Pedro Arriba 5ta. Sección (San Lorencito) San Pedro Arriba 6ta. Sección Colonia Adolfo López Mateos Enthavi 3ra. Sección Ojo De Agua Solalpan 1ra. Sección Solalpan 2da. Sección Barrio De Laurel 1ra. Sección Barrio De Laurel 2da. Sección	14
----	------------	-----------	--	----

Tabla 17. Localidades por AGEB.

A. Análisis de la Exposición

Para la exposición se analizaron los indicadores de población, vías de comunicación, educación, uso de suelo y salud.

Población

AGEB	Total de población	Total de viviendas	Total de viviendas con bienes
009A	10099	1910	521
030A	4744	814	214
0085	7040	1343	461
0297	5120	950	319
0263	4793	950	301
0117	12111	2388	854
0070	3301	734	424
0314	4330	844	381
0136	3766	776	385
0121	10619	2365	207
0102	7537	1521	686
0155	8193	1695	761
0278	5753	1108	393
0333	2604	794	592

Tabla 18. Distribución de la población, total de viviendas y total de bienes por AGEB.

Total de la población. Los datos de la tabla 18, muestran que las AGEB's con mayor población son 0117, 009A, 0121, 0155, 0102, 0085, cubren el 61% de la población total. Son áreas rurales que incluyen el mayor número de localidades del municipio. Mientras que las AGEB's que tienen los valores más bajos son 0263,030A, 0314, 0136, 0070 y 0333, conforman el 26% de la población total, la mayoría son urbanas excepto la 0263.

Viviendas habitadas. Las AGEB's con mayor número de viviendas ocupadas son 0117, 0121, 009A, 0155, 0102 y 0278, lo que representa el 65 % del total de viviendas ocupadas en el municipio; por otro lado las áreas que poseen menores valores son urbanas (0333, 0070 y 0136), constituyen el 12%. El comportamiento de estos valores se debe principalmente a que las AGEB's rurales contienen más de seis localidades, a diferencia de las urbanas que están conformadas por una localidad.

Bienes por vivienda. Para este caso se consideraron las viviendas con todos los servicios (luz, agua entubada y drenaje), radio, televisión, refrigerador, lavadora, automóvil y computadora personal, teléfono, internet y celular. Las AGEB's con viviendas que cuentan con mayor número de bienes son los 0117, 0115, 0102, 0333 y 009A, esto el 54 % del total de viviendas que ocupan el municipio tienen todos los servicios, lo cual significa que el valor económico de esos bienes es alto en caso de pérdidas materiales si se presentara un deslizamiento de tierras. Por otra parte, las AGEB's 030A y 0121 tienen el menor número de viviendas con bienes lo que representa el 6% del total, esto significa una mínima porción de las viviendas totales del municipio.

Con base en lo anterior, el grado de exposición de la población es muy alta y alta en los AGEB's 0121, 0102, 0117 (rurales), 0136 y 0085 (urbanas), debido a la concentración alta de población y viviendas ocupadas con todos los servicios. Para el caso de la exposición baja corresponde a las AGEB's rurales que tienen baja población, menor número de viviendas ocupadas con todos los servicios son: 0314, 0070, 0263, 0297, 030A, 0155, 0333, lo que representa el 50% del territorio municipal (Figura 56).

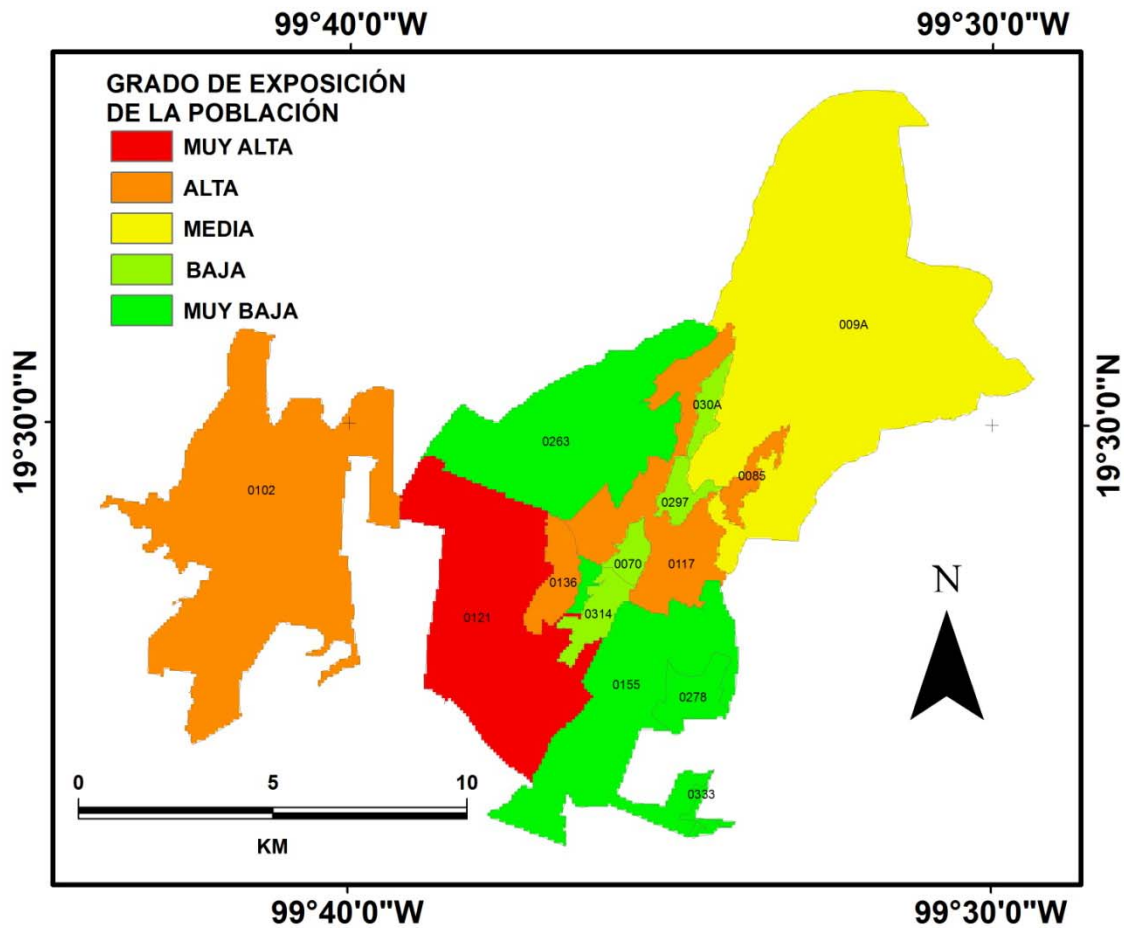


Figura 56. Exposición de la población en el municipio de Temoaya, Estado de México

Vías de comunicación

AGEB	Longitud de caminos de terracería (km)	Longitud de caminos pavimentados (km)	Longitud carreteras estatales (km)	Tránsito Promedio Anual	Calidad de superficie de rodamiento
009A	82.3	26.47	6.62	2995	no aplica
030A	12.05	6.89	0	0	no aplica
0085	6.24	13.82	1.92	2995	regular
0297	0	23.13	1.92	2995	regular
0263	47.63	13.93	1.39	0	no aplica
0117	40.1	3.35	3.31	2995	no aplica
0070	0	0	0.78	2995	regular
0314	10.99	7.99	9.48	0	regular
0136	11.03	6.62	9.48	0	no aplica
0121	31.89	8.89	9.48	0	no aplica

AGEB	Longitud de caminos de terracería (km)	Longitud de caminos pavimentados (km)	Longitud carreteras estatales (km)	Tránsito Promedio Anual	Calidad de superficie de rodamiento
0102	8.87	7.7	7.93	0	regular
0155	21.67	14.31	9.48	0	no aplica
0278	0	12.92	0	0	regular
0333	0	0	0	0	0

Tabla 19. Distribución de longitud de caminos de terracería, pavimentados, carreteras estatales, tránsito promedio anual y calidad de superficie de rodamiento por AGEB.

Caminos de terracería. En tabla 19 se identifica que las AGEB's 009A, 0117, 0155, 0121, 0263 son la que tiene mayor número de caminos de terracería (entre 21.67 y 82.3 km de longitud), que representa el 7% del total de este tipo de caminos en el municipio. Mientras que las AGEB's 0278, 033 y 297 no tienen este tipo de caminos.

Caminos pavimentados. Este tipo de caminos se han construido entre el período de 2005 a la fecha, principalmente con cemento, resaltan las AGEB's 009A, 0263 y 0155 con valores de entre 14.31 y 26.47 km de longitud (43 % del total), que son lo más altos. Los AGEB's 030A, 0117, 0070 y 0333 tienen una menor longitud (entre 0 y 6.89 km de longitud), que ocupan apenas el 1% del total.

Carreteras estatales. En el caso del municipio de Temoaya, se tienen las carreteras estatales Temoaya-Centro Ceremonial Otomí y Temoaya-Jijipilco, y solo los AGEB's que abarcan estas vías son 009A, 0314, 0136, 0121, 0102 y 0155.

Tránsito Promedio Anual. Este indicador se refiere al número de vehículos promedio anual que pasan por una vía en ambos sentidos, para este caso, la Junta de Caminos del Estado México reportó (con fecha de datos el 08 de febrero de 2011) 2,995 unidades en la carretera Temoaya- Centro Ceremonial Otomí, para el caso de la carretera Temoaya Jijipilco, no existen datos. De las 2,995 unidades el 93% son automóviles, motos y camionetas pick up, el 2% son autobuses de 2 y 3 ejes (pasajeros) y el 5% son camionetas de 3 ½ toneladas. Por tanto, las AGEB's que cuentan con estos datos son 009A, 0085, 0297, 0117 y 0070

Calidad de superficie de rodamiento. Se refiere a la rugosidad que tiene una vía de comunicación, si la calidad es mala, puede afectar a un buen tránsito vehicular o bien afectar a los vehículos. Los datos fueron proporcionados por la Junta de caminos del Estado de México (son datos cualitativos obtenidos a través de la observación directa, debido a que no cuentan con el instrumento especializado para medir este parámetro). Para el caso del municipio en estudio, la mayor parte de los caminos pavimentados y carreteras estatales tienen un calidad regular (AGEB's 0085, 0297, 0070, 0314, 0102 y 0278) mientras que los caminos de terracería no aplica este indicador (AGEB's 009A, 030A, 0263, 0117, 0136, 0121 y 0155).

En la figura 57, se muestra que las AGEB's con muy alto y alto grado de exposición de las vías de comunicación son: 009A, 0297, 0117, 0136, 0314, 0102 y 0085 (el 50% del total), esto significa que los tipos de vías que predominan son los caminos pavimentados y la carretera estatal Temoaya-Centro Ceremonial Otomí, con una calidad de rodamiento regular y con un tránsito promedio anual (TDPA) de 2,995 vehículos.

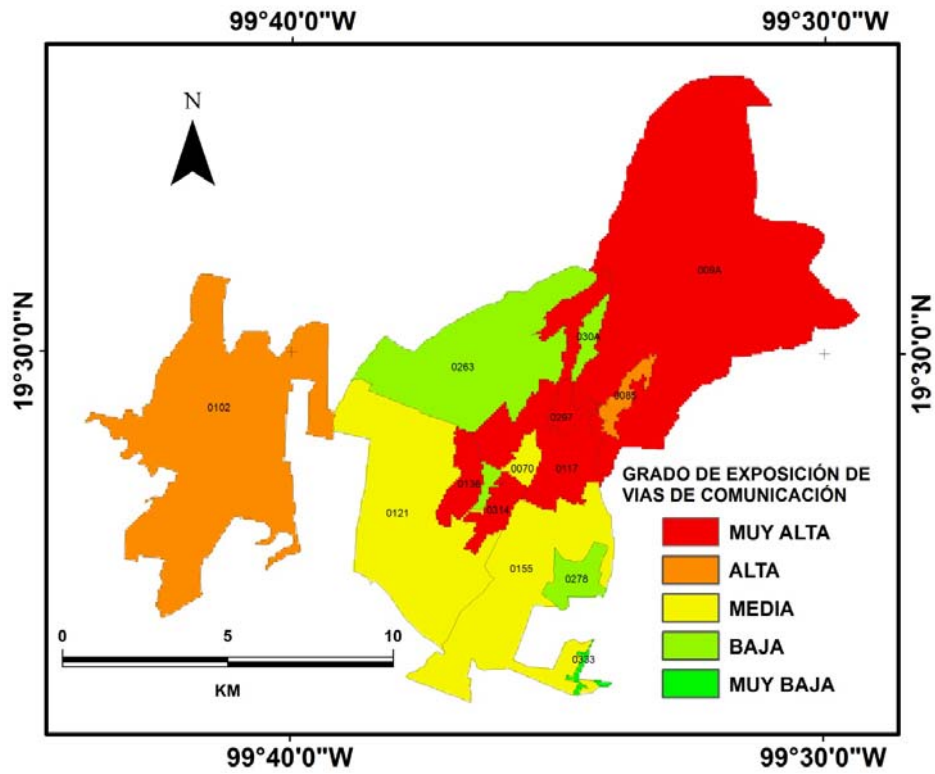


Figura 57. Exposición de las vías de comunicación en el municipio de Temoaya, Estado de México.

Educación

AGEB	Número de escuelas
0121	24
0117	24
009A	23
0263	15
0155	13
0297	9
0102	9
030A	8
0085	8
0136	7
0278	7
0070	4
0314	3
0333	0

Tabla 20. Número de escuelas por AGE B

Uno de los indicadores que se consideraron para el análisis de la exposición fue el número de escuelas que se encuentran en cada AGEB, el municipio cuenta con 150 escuelas en total, de los distintos niveles (preescolar, primaria, secundaria y bachillerato), de los cuales el 46 % (71 escuelas) se encuentran en los AGEB's 0121, 0117 y 009A. Las AGEB's 030A, 0085, 0136, 0278, 0070, 0314 y 0333 tienen entre 0 y 8 escuelas, que representan el 24 % del total (Figura 58).

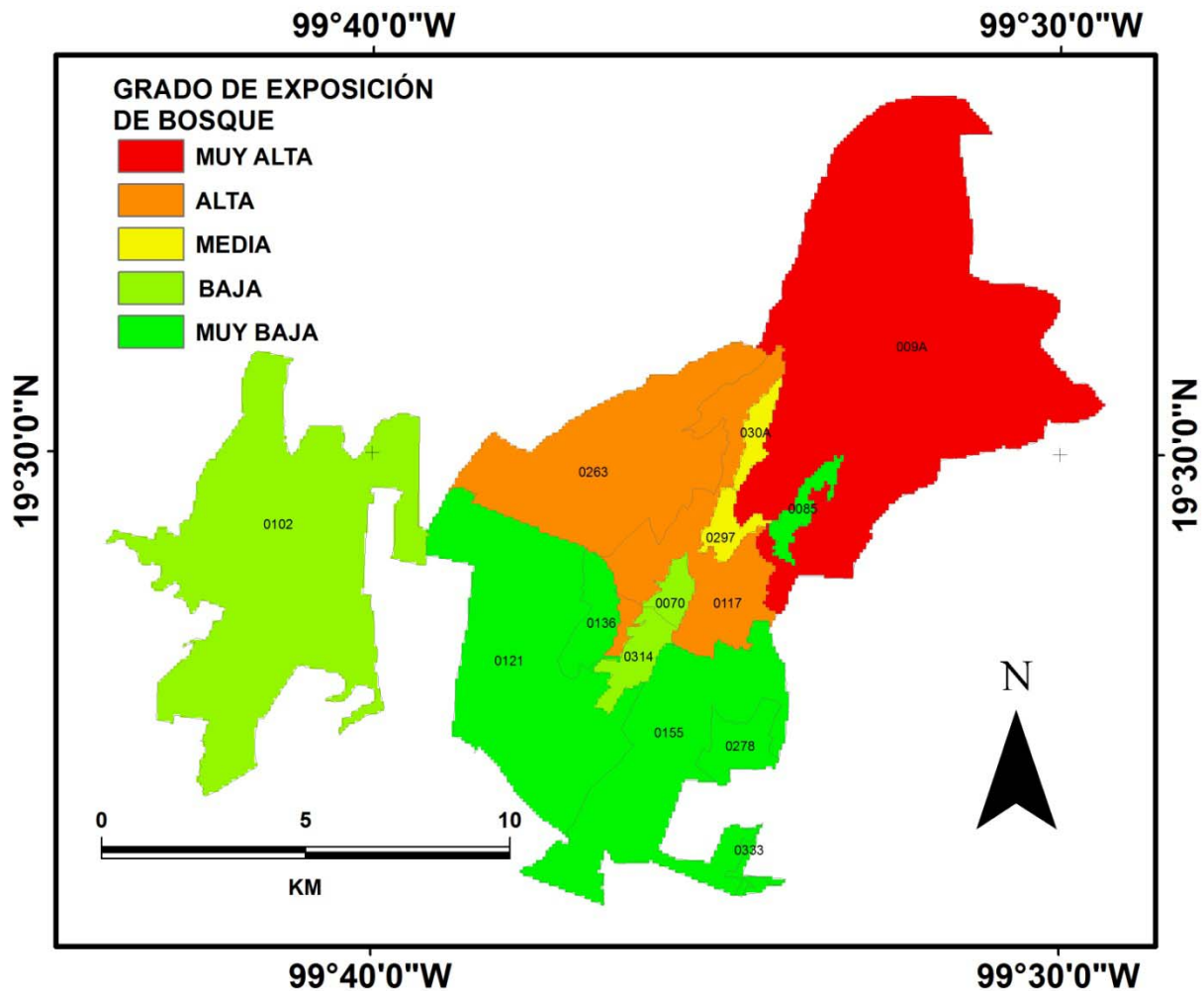


Figura 58. Exposición de los centros educativo en el municipio de Temoaya, Estado de México.

Uso de suelo

AGEB	Superficie por uso de suelo (ha)				
	Bosque	Población	Agricultura de riego	Agricultura de temporal	Pastizales
0121	16.56	400.44	0	519.76	123.15
0117	157.37	489.99	225.2	79.96	139.09
009A	3294.96	935.86	11.15	49.83	1474
0263	233.87	515.8	359.61	257.42	592.71
0155	2.4	308.19	1008.74	377.15	84.61
0297	8.1	77.56	8.98	1.33	2.99
0102	1.55	649.35	1551.97	1088.61	309.25
030A	7.23	98.56	7.3	0.61	7.33
0085	10.82	119.17	7.18	0.77	9.61
0136	1.25	99.01	111.2	30.74	18.48
0278	0	62.44	126.54	53.12	4.01
0070	2.29	66.53	9.84	7.23	8.97
0314	3.06	108	86.63	14.23	15.29
0333	0	7.29	27.35	4.04	2.08

Tabla 21. Superficie en hectáreas por uso de suelo por AGEB.

El principal uso de suelo que por su extensión tiene una mayor exposición es el bosque, en este sentido el AGEB que abarca la mayor parte del bosque es 0098A, 0263 y 0117 (entre 263.78 y 3294.96 ha.). En los AGEB´s 009A, 0102, 0117 y 0121 el uso de suelo de mayor extensión es la ocupada por la poblaciones. Por otra parte, en los AGEB´s 0102, y 0121, el principal uso de suelo que ocupa mayor extensión es la agricultura de temporal (entre 1551.97 y 519.76 ha). Para el caso de los pastizales destacan los AGEB´s 0263, 01020121 y 0117 con superficies de entre 592.71 y 139 ha (Tabla 21).

Hospitales

Otro indicador que se consideró para este análisis fueron los hospitales (incluye el hospital general regional de Temoaya y los centros de salud). Los AGEB´s que tienen un mayor número de unidades hospitalarias son 0102, 0121, entre 4 y 3 unidades (41% del total), y

0263, 0314 y 0333 no tienen, el resto de las áreas tienen entre una y dos unidades (Figura 59).

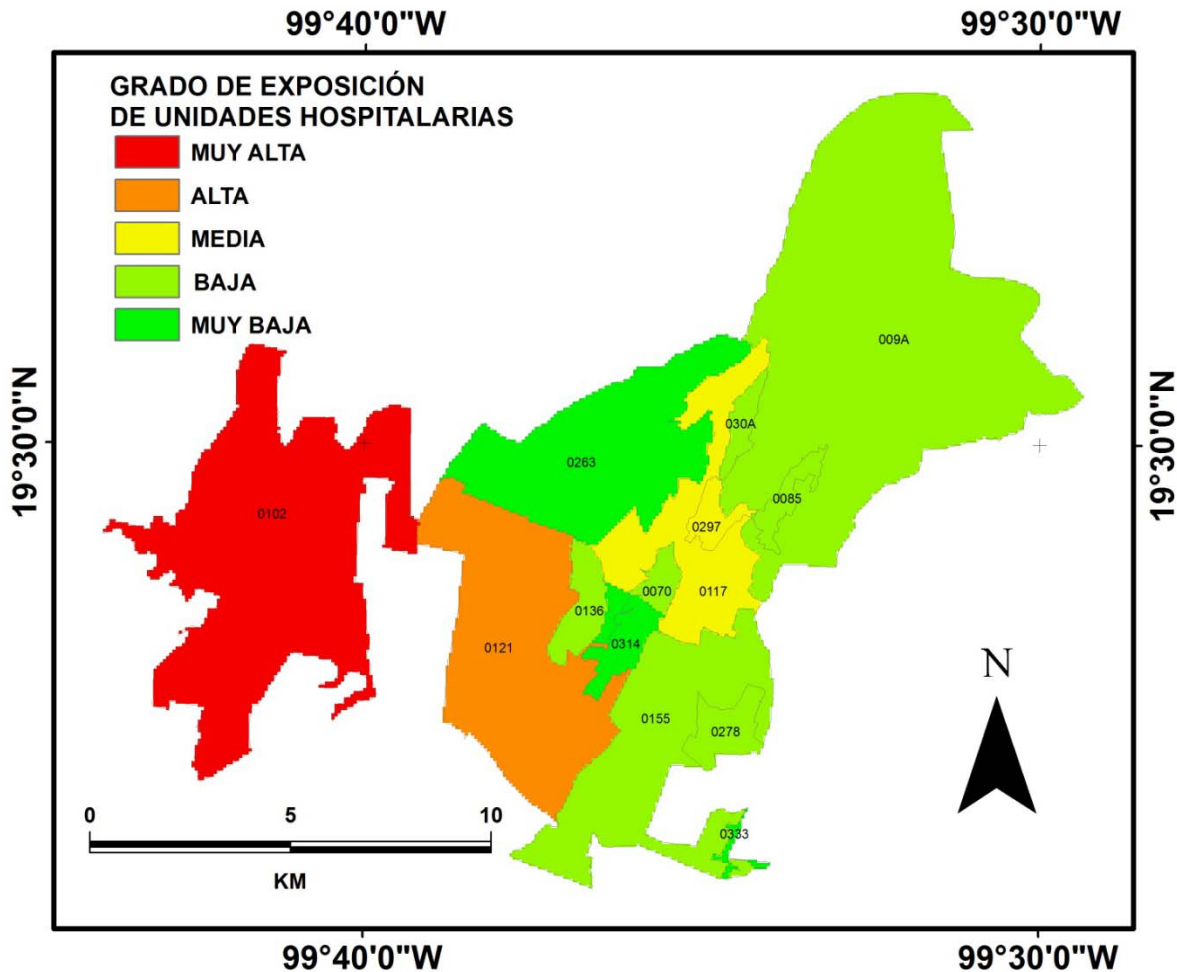


Figura 59. Exposición de unidades hospitalarias en el municipio de Temoaya, Estado de México.

El resultado final de la exposición se muestra en la figura 60, donde los AGEB's con muy alto y alto grado de exposición son: 009A, 0117, 0297, 0121 y 0102 (rurales), ubicados en la zona de montaña y piedemonte, en éstas áreas se presentan el mayor número de población y viviendas habitadas con un alto porcentaje de bienes, cuyas vías de comunicación que predominan son las carreteras estatales y caminos pavimentados, asimismo, tiene un alto número de escuelas y centros de salud (incluye el hospital general del municipio), con una mayor superficie ocupada por bosque, agricultura de temporal y población.

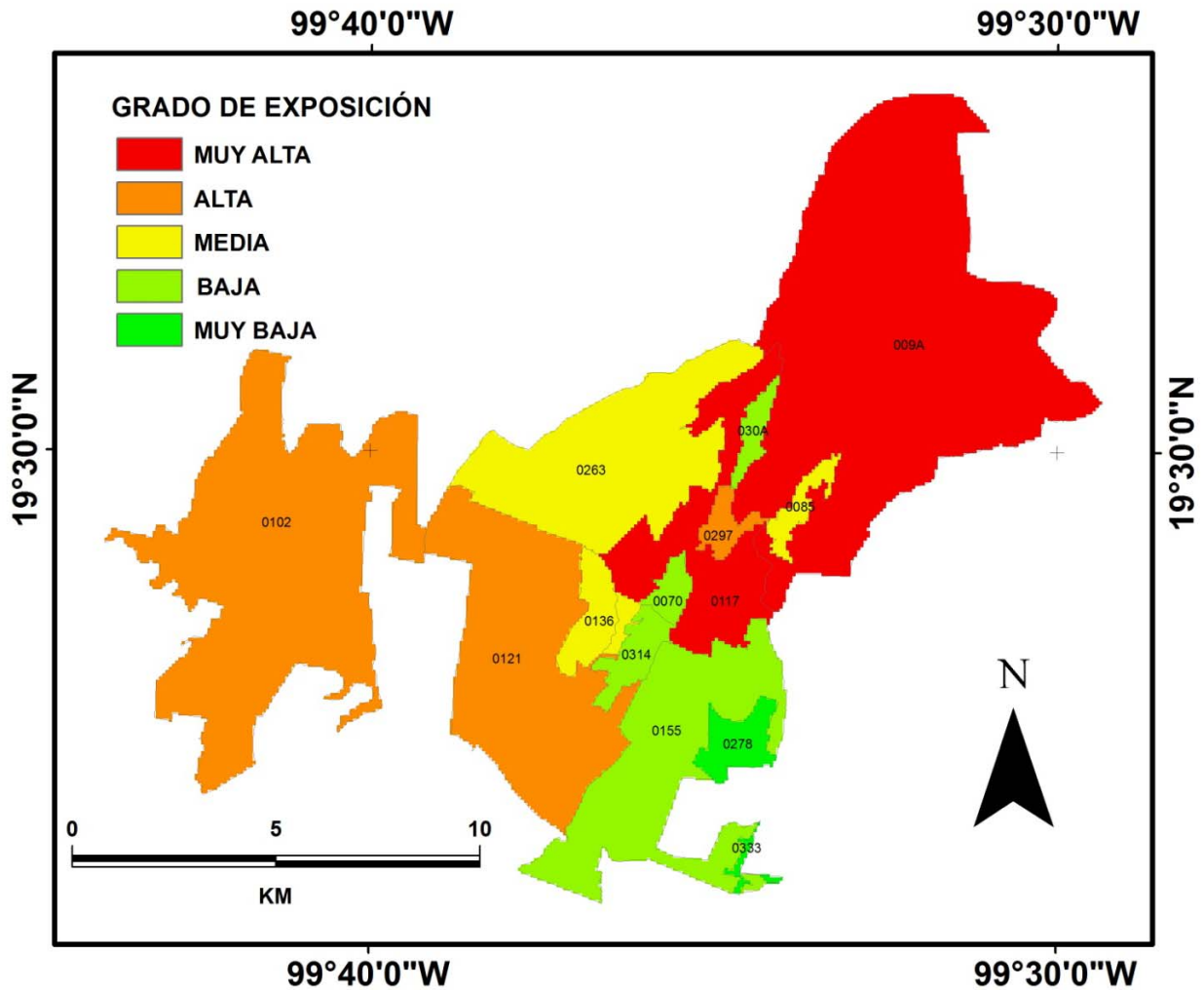


Figura 60. Exposición total del municipio de Temoaya, Estado de México.

B. Análisis de la Fragilidad

En el análisis de la fragilidad se consideró las variables de población (grupos de edad de entre 0 a 14 años y mayor de 65 años y población económicamente activa e inactiva), educación (población que no sabe leer ni escribir, y población que no habla español) y salud (habitantes con derechohabiencia y sin derechohabiencia).

Población

AGEB	GRUPOS DE EDAD			
	0 a 5 años	6 a 14	18 a 24	60 y más
0121	1509	2152	1522	592
0117	1858	2637	1748	739
009A	1644	2266	1491	557
0263	747	1125	0	268
0155	1178	1724	1160	414
0297	788	1171	748	277
0102	1230	1375	1003	488
030A	742	1148	657	218
0085	1113	1547	1016	442
0136	441	675	521	305
0278	765	1283	854	289
0070	381	619	439	280
0314	593	945	623	231
0333	392	458	165	63

Tabla 22. Distribución de los grupos de edad por AGEB.

Grupos de edad. La población total del municipio de Temoaya es de 90,010 habitantes, donde 12,232 son del grupo de 0 a 5 años de edad son 12,232. El mayor porcentaje (entre el 14 y 15 % de la población total de cada AGEB) se encuentra en los AGEB's 009A, 0102, 0263, 0117, 0297, 030A, 0085, las tres últimas áreas son urbanas. En contraste con la cabecera municipal (0314) y las AGEB's aledañas que son 0136, 0070, tienen un porcentaje de 11%, es decir entre 381 y 593 habitantes (Tabla 22).

Para el caso del grupo de 6 a 14 años, la mayoría de las áreas tienen un alto porcentaje, que va del 21 a 24% (0263,030A, 009A, 0085, 0297, 0117, 0314 y 0278), en el grupo de 18 a 24 años el porcentaje mayor (13 a 14% en relación a la población total de cada área) se presenta en las AGEB's 0121, 0155, 0178, 0314, 0117, 0297, 0085, 009A, esto es, el 57% del total de las áreas geostatísticas básicas. Finalmente, el grupo de 60 años a más, se

concentra en el centro del municipio (0136, 0070, 00017 y 00085), así como en el AGEB 0102 (rural), con porcentajes que oscilan entre 6 y 8% con respecto a su población total.

Lo anterior indica que los grupos frágiles de 0 a 5 años y más de 60 años representan un porcentaje de entre el 6 y 15 %, le sigue el grupo de edad de 6 a 14 años, con un promedio de 24%, lo que corrobora que son los más frágiles debido entre otras razones a sus limitaciones y habilidades físicas, así como a sus condiciones fisiológicas para resistir enfermedades y rehabilitación, incluye también las condiciones psicológicas para responder ante un peligro y la recuperación.

Población económicamente activa e inactiva (PEA y PEI). Del total de la población del municipio solo el 36% es económicamente activa. Considerando la población total por AGEB, se identifica que las áreas con mayor porcentaje de PEA son principalmente urbanas (0136, 0314, 0070, 0085 y 0333) y una rural (0121) aledaña a las anteriores (entre el 37% y 43% de su población total). Las AGEB's con el menor porcentaje son 0263 y 0102, con el 32%.

En cuanto a la PEI, la gran parte de las AGEB's, excepto 0121, 0314, 0117, 0085 y 0333, el porcentaje es mayor (entre 35% y 39%). Estos datos reflejan que la población es frágil debido a que cerca del 50% de ella no tiene un ingreso, y no contaría los medios para enfrentar una situación de desastre derivado de un deslizamiento de tierras (Tabla 23).

AGEB	Población total	PEA	PEI
0121	10619	4061	3489
0117	12111	4357	4046
009A	10099	3503	3408
0263	4793	1608	1663
0155	8193	2970	2804
0297	5120	1713	1806
0102	7537	2396	2916
030A	4744	1542	1671
0085	7040	2640	2181
0136	3766	1549	1311
0278	5753	2041	2025
0070	3301	1235	1272
0314	4330	1661	1396
0333	2604	1132	689

Tabla 23. Distribución de la PEA y PEI por AGEB.

Con base en lo anterior, el grado de fragilidad de la población muy alto y alto se identifica en solo dos AGEB's 0070 y 0136, que corresponden a las localidades urbanas de Temoaya y San Diego Alcalá, lo que significa que tiene el mayor porcentaje de los grupos de edad de 0 a 5, 6 a 14 y más de 60 años, debido su distribución, asimismo la población económicamente inactiva cuyo porcentaje es en promedio del 50%. Lo que refleja que la fragilidad de la mayor parte de la población del municipio (Figura 61) es baja, y posiblemente estas condiciones no agravarían los efectos directos si se presentara un deslizamiento de suelo de tipo traslacional superficiales (DSST).

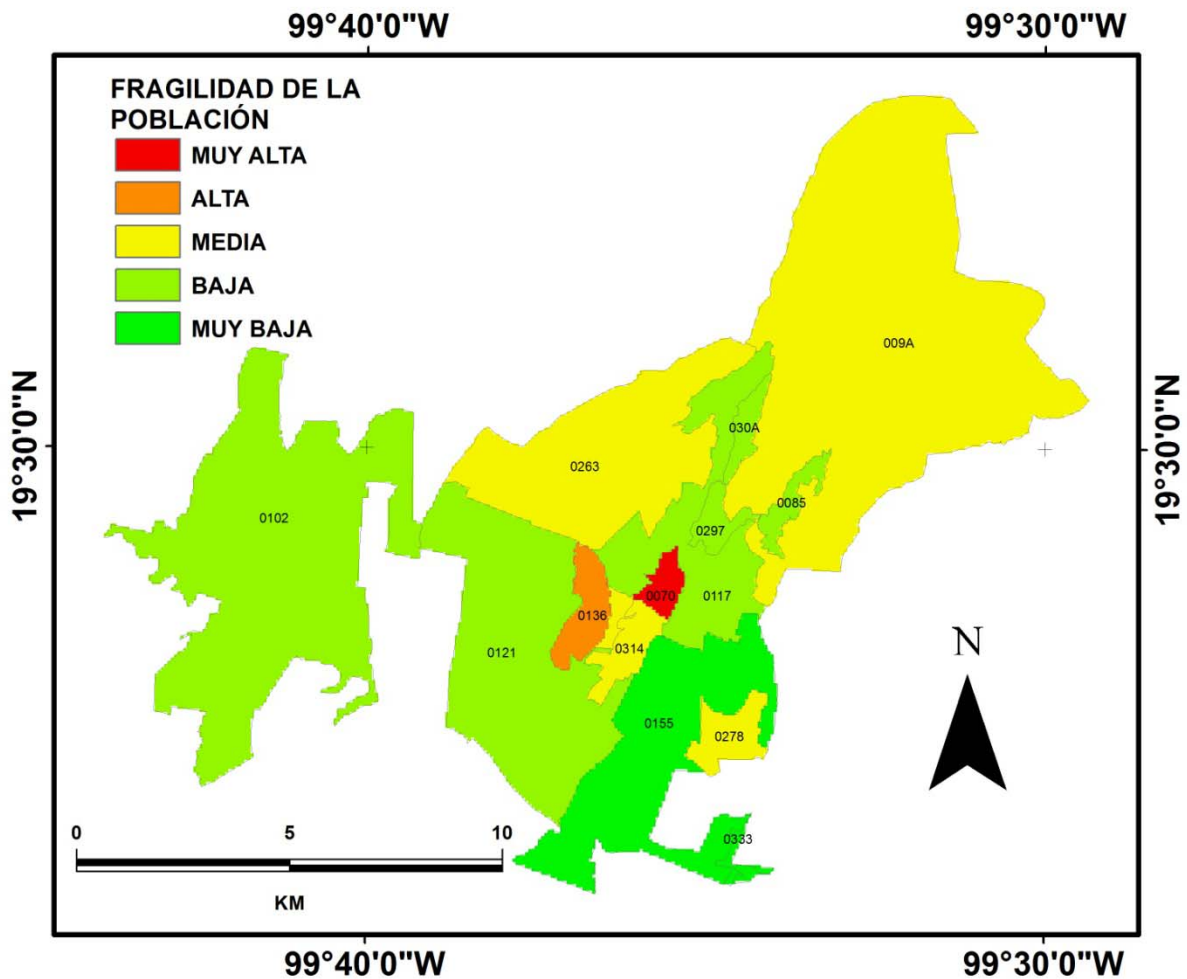


Figura 61. Fragilidad de la población, considerando los grupos de edad de entre 0 a 5 años, 5 a 14 años y más de 60 años, así como la población económicamente activa e inactiva.

Educación

Se consideró a la población analfabeta y la que no habla español; en el tabla 24, los datos muestran que tan solo el 6% de la población no sabe leer ni escribir, sin embargo, resalta las AGEB's 0117 y 009A (entre 1041 y 1099 habitantes, es decir, el 8 y 10%) cuyo porcentaje es alto en relación a su población. Para el caso de la población indígena otomí que no habla español, que es un sector muy reducido, destacan las AGEB's 0117, 009A y 0085, lo que implica que sea considerado como un grupo frágil.

AGEB	Población analfabeta	Población que no habla español
0121	581	9
0117	1041	55
009A	1099	64
0263	373	8
0155	481	1
0297	499	36
0102	342	0
030A	501	32
0085	456	62
0136	128	0
0278	336	3
0070	137	0
0314	213	4
0333	5	0

Tabla 24. Distribución de la población analfabeta y que no habla español por AGEB.

El grado de fragilidad educativa es muy alto y alto en las AGEB's 009A, 0085, 030A, 0297, ubicados al noreste, indica que el 90% de la población total del municipio sabe leer y escribir y que habla español (con porcentajes en promedio de 10%) (Figura 62), para el caso del área 0333, ubicado en el extremo sureste, corresponde al Fraccionamiento Rinconada del Valle de escasos 2 años de creación, muestra valores altos de analfabetismo, pero hay considerar que aún no está al cien por ciento ocupado.

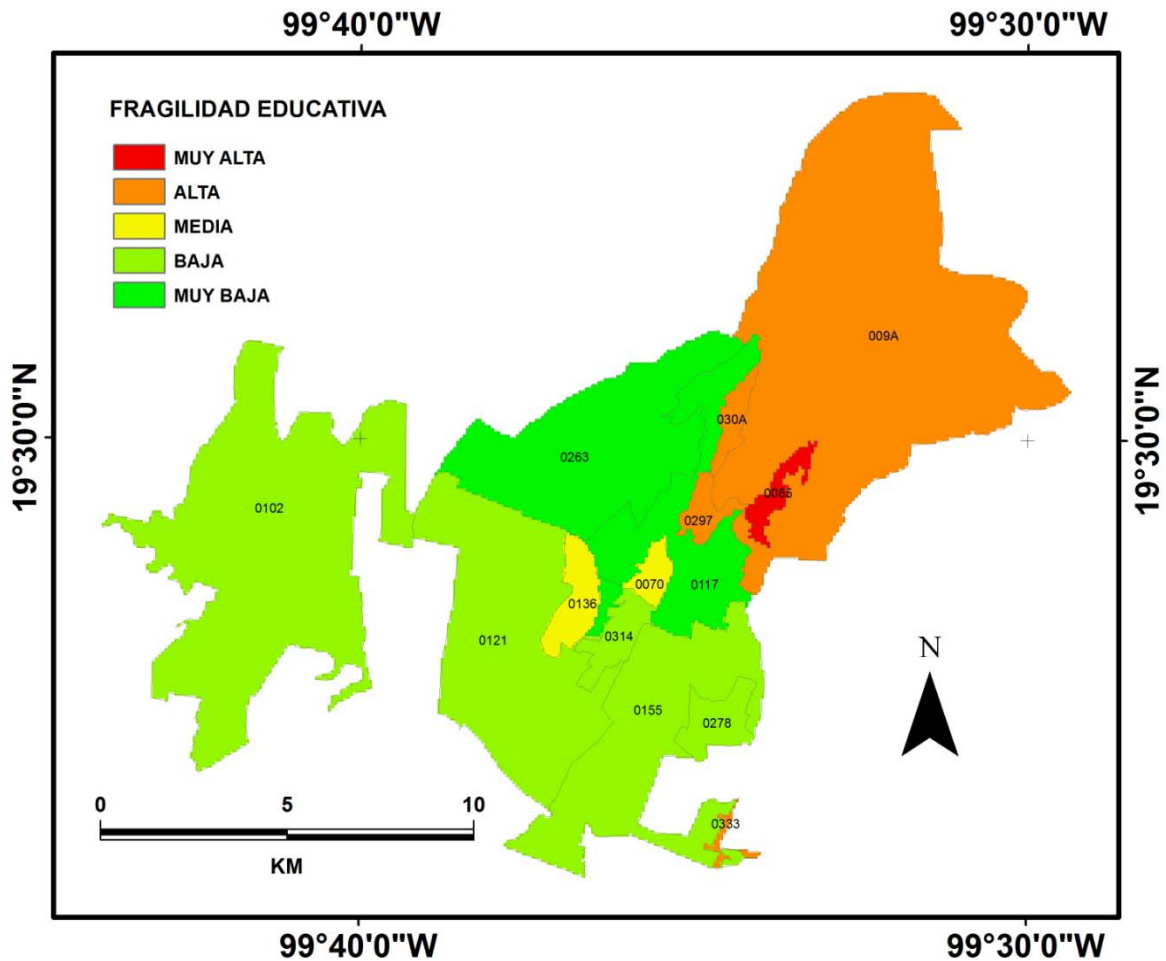


Figura 62. Fragilidad de la población considerando la población de más de 15 años que no sabe leer ni escribir, así como, la que no habla español.

Salud

Para este caso se utilizó la población con derechohabiencia y sin derechohabiencia, en la figura 63 se muestra que el mayor porcentaje de población (30%) que no tienen derecho a recibir servicios médicos en ninguna institución pública o privada se ubican en los AGEB's 0263, 0297, 0085, 0117, 02768, 0070, 0314, 0155 y 009A, es decir, más del 50% del total del municipio, este dato indica que gran parte de la población más de 70% cuenta con algún servicio médico (particular o privado).

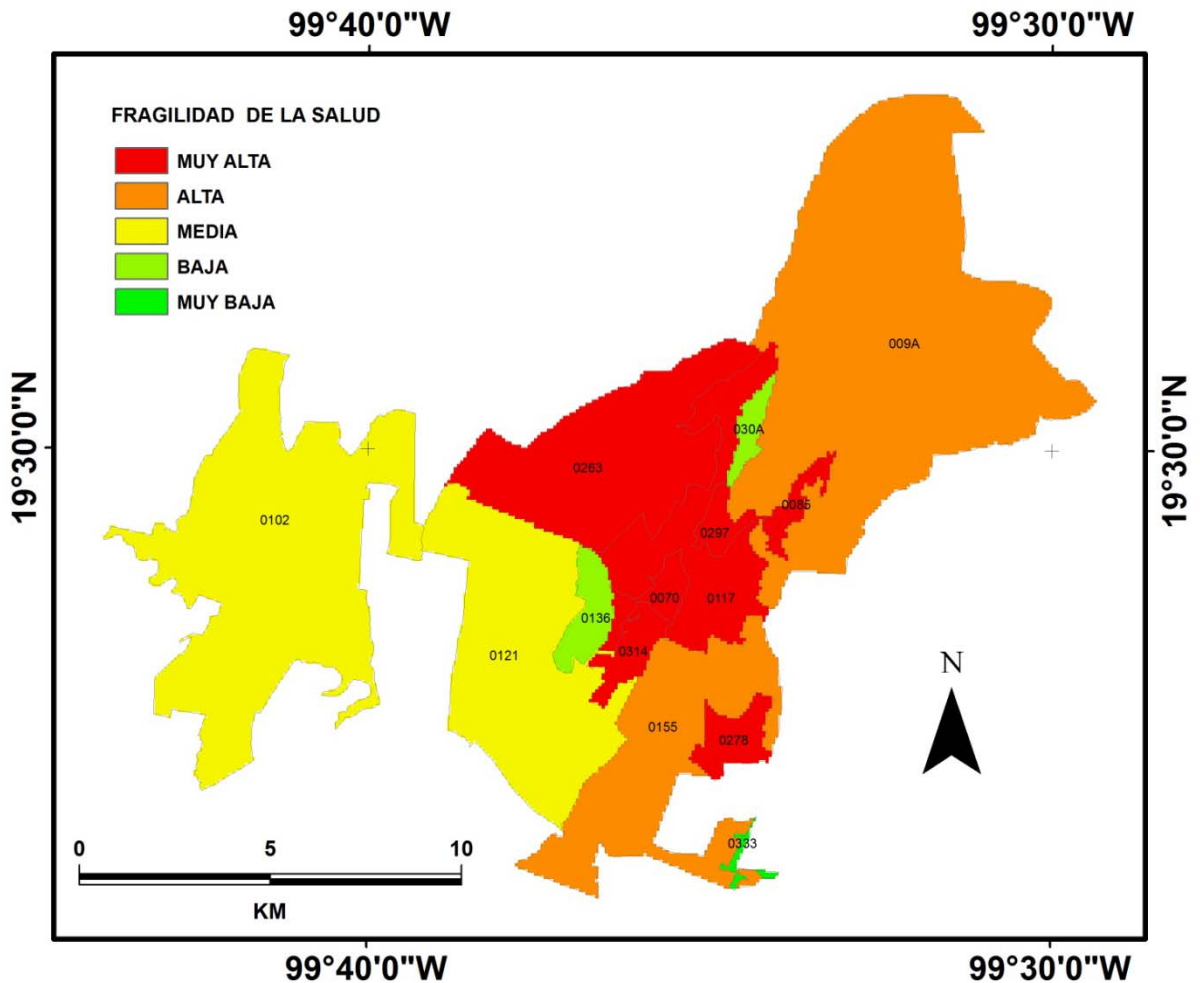


Figura 63. Fragilidad de la población considerando la derechohabiencia.

Para determinar el grado de la fragilidad global del municipio se tomó en cuenta las fragilidades de población, educación y salud, el resultado se observa en la figura 64, donde las áreas con muy alto y alto grado son AGEB's 009A, 0085 y 0070, cuyas condiciones de la población en términos de edad, trabajo, derechohabiencia y educativas representarían un problema para incrementar las pérdidas en caso de un fenómeno como son los deslizamientos, del mismo modo en su capacidad para enfrentarlo y para su recuperación, aunque para aseverar esa idea es necesario llevar a cabo otro tipo de investigación.

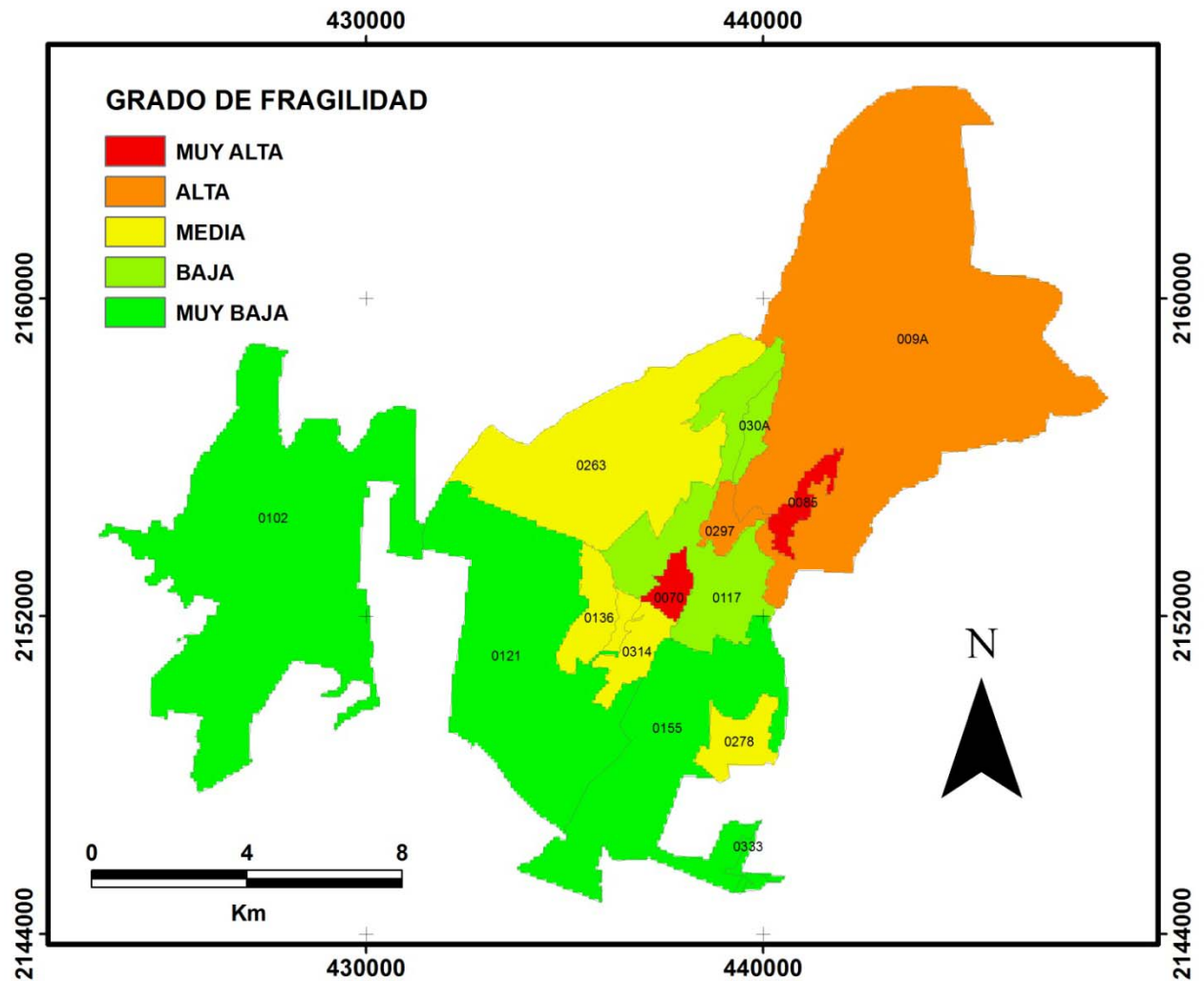


Figura 64. Fragilidad total del municipio de Temoaya, Estado de México, considerando los indicadores de población, educación y salud.

C. Análisis de la Resiliencia

La resiliencia se ha considerado como un factor importante para análisis de la vulnerabilidad, debido a que representa una capacidad la población para hacer frente ante los peligros, recuperarse y volver a su estado original. Para el caso del municipio en estudio, se consideró a las instituciones que proporcionan el apoyo para enfrentar una situación de peligro como es el caso de Protección Civil municipal, así como, la capacidad hospitalaria con la que cuenta el municipio. La unidad de Protección Civil tiene con el

personal suficiente para dar respuesta a las emergencias que ocurren en el municipio, en caso de presentarse un evento que rebase la capacidad de ésta unidad, entra en función el Sistema Estatal de Protección Civil, y si no es suficiente, entonces se involucra al Sistema Nacional de Protección Civil, sin embargo, por lo general, el sistema municipal se apoya de todas las unidades administrativas del H. Ayuntamiento de acuerdo a su función, como son las direcciones municipales: Obras Públicas y Desarrollo Urbano, Servicios Públicos, Seguridad Pública y la Coordinación Forestal Municipal, y de acuerdo con la magnitud del evento, participan con parte de la totalidad de sus recursos humanos y equipamiento.

En cuanto a la operatividad se refiere, se dispone con el personal suficiente con un perfil adecuado para atender los eventos diarios de accidentes (automovilísticos, intoxicaciones, incendios, entre otros), para emergencias asociadas a un deslizamiento no sería suficiente el personal ni con la preparación adecuada porque ninguno cuenta con conocimientos específicos sobre los procedimientos y lineamientos para la atención de un evento natural como son los deslizamientos de tierras. Del mismo modo, no se tiene un programa específico para una situación ante un evento de éste tipo, tampoco Protección Civil tiene un inventario de la cantidad y estado del equipamiento de cada dependencia que puede apoyar como son bomberos, cruz roja y policía municipal.

En lo referente a la capacidad hospitalaria, el municipio tiene 19 centros de salud de consulta externa, en los cuales solo se cuenta con un doctor, una enfermera y en algunos casos con una cama o dos, y sin ambulancias, además no brindan servicio todo el día y no cuentan con el equipamiento necesario para brindar servicio en caso de emergencias. La única unidad con equipamiento suficiente que puede atender ante un evento de deslizamiento de tierras (camas, equipo y personal médico) es el Hospital General del municipio, ubicado en la carretera estatal Temoaya-Jijipilco, al suroeste de la cabecera municipal. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se asignó un valor bajo a la resiliencia en el municipio.

Sin embargo, es importante mencionar que no existe algún documento que permita validar la efectividad de las instituciones ante la presencia de un deslizamiento.

D. Análisis de la Vulnerabilidad

A partir de los resultados obtenidos en las tres dimensiones (exposición, fragilidad y resiliencia), se obtuvo el mapa final de vulnerabilidad (Figura 65). Las localidades más vulnerables se encuentran en las AGEB's 009A, 0085, 0297, 0117 y 0070, que registran un porcentaje alto de población y viviendas ocupadas que cuentan con un alto porcentaje de bienes. En cuanto a las vías de comunicación, el mayor porcentaje corresponde a caminos pavimentados con un estado de bueno a regular, ya que la mayoría son de reciente pavimentación, significan un importante factor para la comunicación y acceso a la cabecera municipal y localidades vecinas; la afectación que pudieran sufrir estas vías en caso de deslizamientos afectaría las actividades de la población como pueden ser: comerciales, educativas, y de salud ubicadas en la cabecera municipal. Para el caso de la carretera estatal Temoaya-Centro Ceremonial Otomí, que es la principal que comunica con los municipios de Nicolás Romero e Isidro Fabela no tiene una buena calidad de rodamiento, la mayor parte se encuentra con baches que impiden un buen tránsito de los vehículos. Sin embargo, es importante destacar que ésta vía tiene un registro de tránsito promedio anual (TPA) de 2995 (dato tomado en febrero de 2011, por la Junta de Caminos del Gobierno del Estado de México), de los cuales el 93% son autos, el 2% autobuses y el 5% por camionetas de 3 toneladas y media, lo que representaría un importante impacto en caso de generarse deslizamientos sobre esta infraestructura.

También en éstas áreas se concentra el mayor número de centros educativos, principalmente de tipo público, la mayoría son de educación preescolar, primaria y en pocos casos secundaria, y de centros de salud. Por otra parte, el mayor porcentaje de niños entre los 0 a 14 años se concentran en estas zonas, además, de los adultos de más de 60 años, que en conjunto son considerados como los grupos de edad más vulnerables; asimismo, existe la mayor cantidad de población que no está afiliado a algún centro de salud ya sea de tipo privado o público, y un porcentaje alto de población de más de 15 años que analfabeta. Cabe mencionar que el municipio está conformado por otomíes, una gran parte de ésta población ya no habla este dialecto, y otra es bilingüe (22%), aún existe un

porcentaje menor (11%) de la población ubicada en estas áreas que no habla español, la mayoría son gente adulta, lo que aumenta el grado de vulnerabilidad de éste grupo de la población.

Finalmente, a pesar de que cuentan con personal y equipamiento para atender las emergencias cotidianas (accidentes automovilísticos o urgencias médicas y de rescate) la inexistencia de un programa específico sobre prevención, atención, mitigación y recuperación de Protección Civil del municipio, así como de personal capacitado para eventos específicos como son los deslizamientos aumenta la vulnerabilidad.

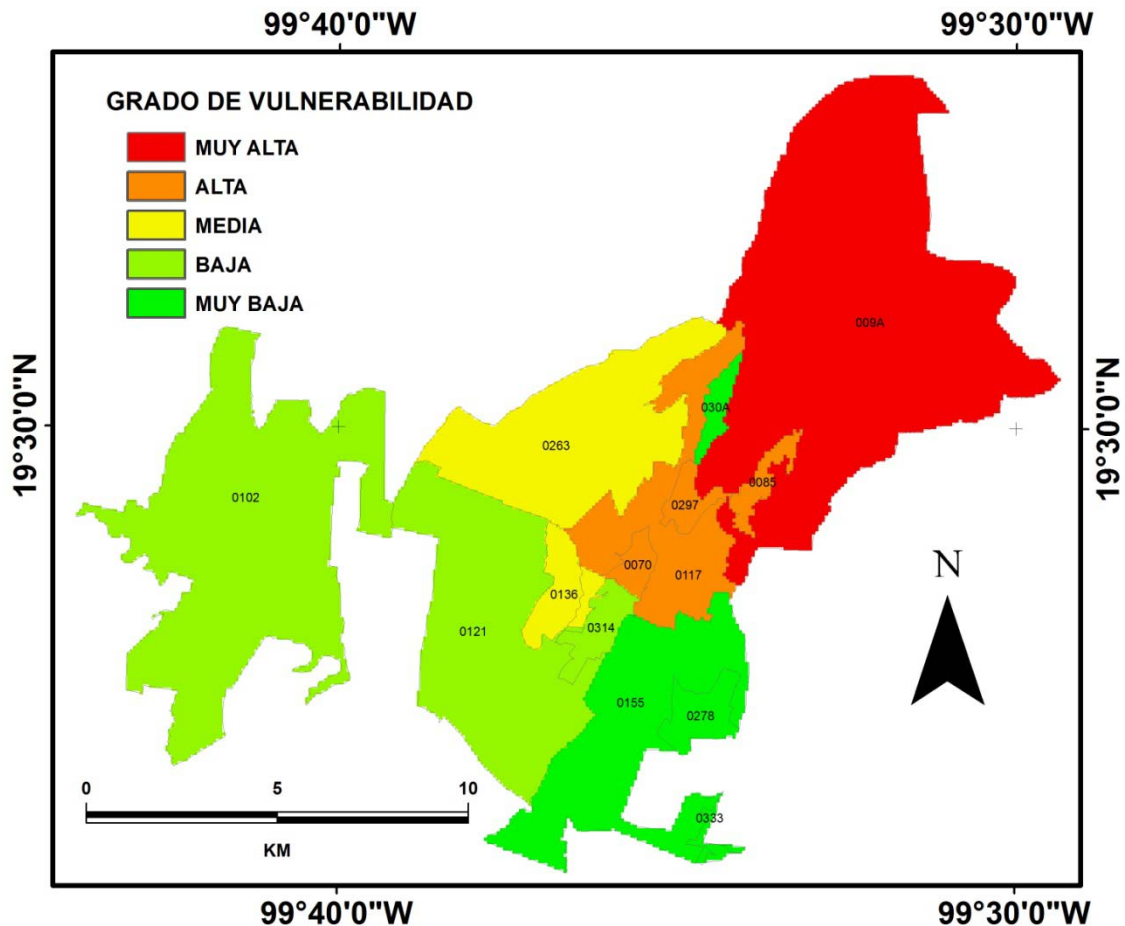


Figura 65. Vulnerabilidad del municipio de Temoaya, Estado de México, considerando la exposición, fragilidad y resiliencia.

IV.4 ANÁLISIS DEL RIESGO EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, ESTADO DE MÉXICO.

Para la evaluación del riesgo por deslizamiento de tierras, a partir de la fórmula de $R = P \times V$, se combinaron los resultados obtenidos con el método de análisis multicriterio para el peligro y la vulnerabilidad.

A. Áreas de muy alto y alto riesgo

El mapa final (Figura 66) muestra que las zonas de muy alto y alto grado de riesgo se localizan al noreste del municipio, caracterizadas por un relieve montañoso y un piedemonte que presenta pendientes superiores a los 35 grados con un sistema de barrancos de configuración subparalela con profundidades 30 a 50 metros en promedio, donde las condiciones geológicas, geomorfológicas y antrópicas hacen de ésta área susceptible a los deslizamientos superficiales de suelo de tipo traslacional (DSST). Las áreas geoestadísticas básicas que presentan ésta categoría son 009A, 0117, 0297, 0085, 0070 y 0263 (Tabla 25). Las localidades que conforman este grupo se muestran en la tabla 26.

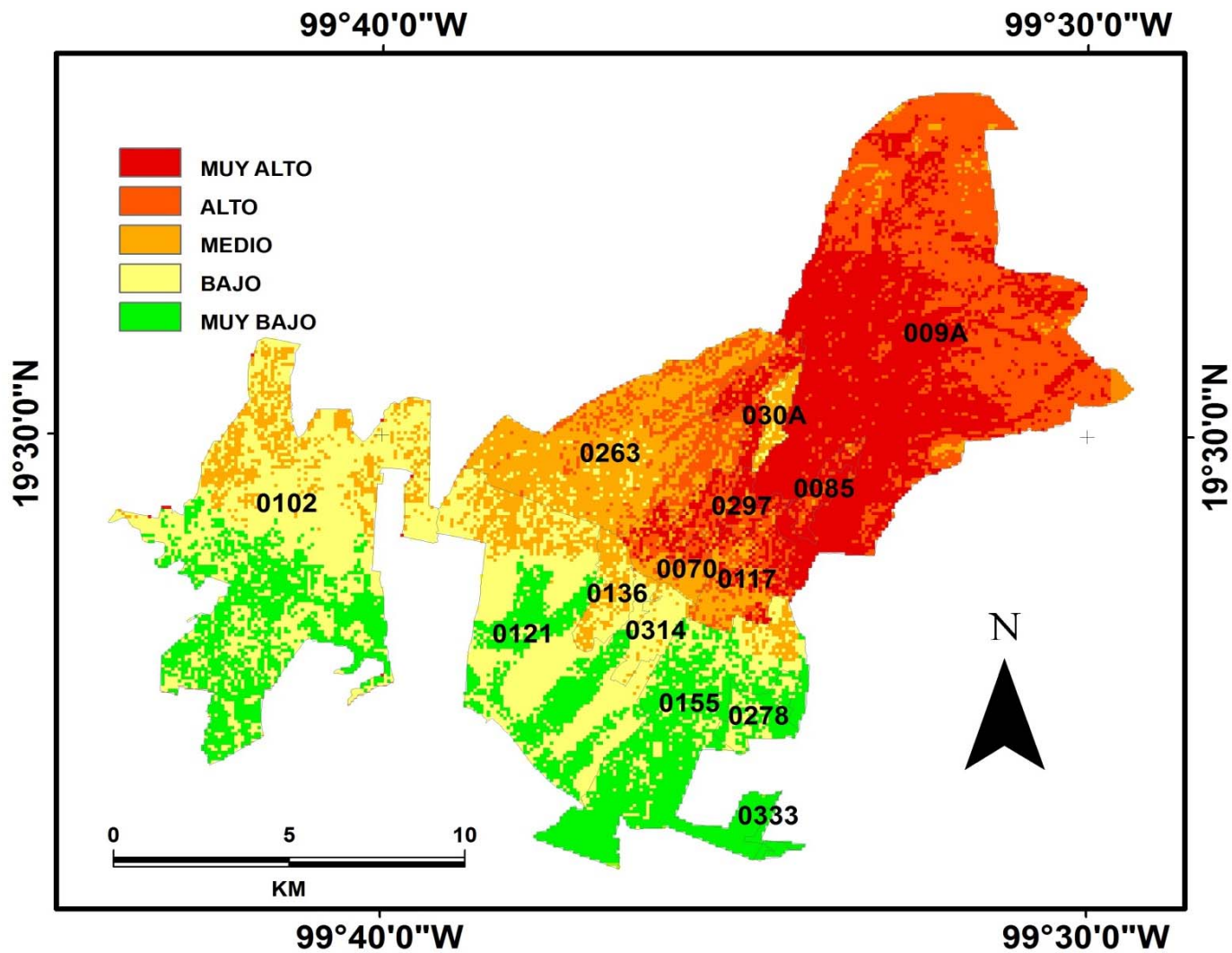


Figura 66. Grado del riesgo por deslizamiento de tierras en el municipio de Temoaya, Estado de México

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, MÉX.

CAPÍTULO VI

Peligro / Vulnerabilidad	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Muy Bajo	0155 0278 0333 0121	0102			
Bajo	0155 0333 0278	0102 0121 0314	0136 0263	0117	
Medio	0278 0155	0102 0121 0314	0136 0263	0297 0117 0070	009A
Alto	0155 0278 030A	0102 0121 0314	0136 0263	0070 0297 0117 0085	009A
Muy Alto	030A 0155		0263	0117 0070 0297 0085	009A

Tabla 25. Relación peligro/vulnerabilidad/riesgo de las AGEB's en los distintos grados de riesgo (riesgo muy bajo  ; riesgo bajo  ; riesgo medio  ; riesgo alto  ; riesgo muy alto ).

CLAVE DE AGEB Y TIPO	NOMBRE DE AGEB	LOCALIDADES Y CLAVE
0085. Urbana	San Pedro Arriba	0030. San Pedro Arriba
0297. Urbana	San Pedro Abajo	0029. San Pedro Abajo
0070. Urbana	Temoaya	0001. Temoaya
0263. Rural	No aplica	003. Calle Real 004. La Cañada 005. Cerrito del Panal 006. Rancho Cordero
0117. Rural	No Aplica	0037. Zanja Vieja 0034. Tlaltenango Arriba 0020. Pothé 0016. La Magdalena Tenexpan 0014. Loma Alta 0069. Tlaltenango Abajo 0063. San Pedro Abajo 1ra. Sección (Loma Del Caracol) 0065. San Pedro Abajo 2da. Sección (Loma Larga) 0011. Jiquipilco El Viejo 0068. Luis Donaldo Colosio Murrieta 0056. Tierra Blanca
009A. Rural	No Aplica	0048. Colonia Centro Ceremonial Otomí 0055. San Pedro Arriba 6ta. Sección 0052. Puente Roto 0067. San Pedro Arriba 2da. Sección 0059. San Pedro Arriba 3ra. Sección 0049. San Pedro Arriba 4ta. Sección (Cinco Reales) 0054. San Pedro Arriba 5ta. Sección (San Lorencito) 0066. San Pedro Arriba 1a. Sección 0046. Colonia Adolfo López Mateos 0075. Enthavi 3ra. Sección Ojo De Agua 0074. Solalpan 1ra. Sección 0060. Solalpan 2da. Sección 0012. Barrio De Laurel 1ra. Sección 0076. Barrio De Laurel 2da. Sección

Tabla 26. Relación de localidades en muy alto y alto riesgo en el municipio de Temoaya, Estado de México.

En el AGEB 009A 1, 910 viviendas se encuentran expuestas, la mayoría de ellas ubicadas en laderas de barrancos, de las cuales el 27% tienen todos los servicios (drenaje, agua entubada, luz eléctrica, radio, televisión, refrigerador, lavadora, automóvil, computadora personal, internet, celular y teléfono). Se encuentran 23 escuelas, lo que representa un número alto. En cuanto a los caminos que podrían ser afectados son caminos pavimentados de reciente construcción que comunican entre sí a las localidades con la cabecera municipal, así como la carretera estatal Temoaya-Centro Ceremonial Otomí, la cual tiene un tránsito promedio anual de 2, 995 vehículos, de los cuales el 93% son autos, 2% son autobuses y 5% camionetas de 3½ toneladas. El grupo vulnerable de 0 a 14 y más de 65 años es ocupado por 4, 467 habitantes (entre el 16 y 22% del total, que representa los valores más altos), y el 50% de su población cuenta con algún tipo de trabajo, y 64 habitantes de ésta área no habla español. En la figura 67, se muestran las localidades que están en un riesgo alto y muy alto.

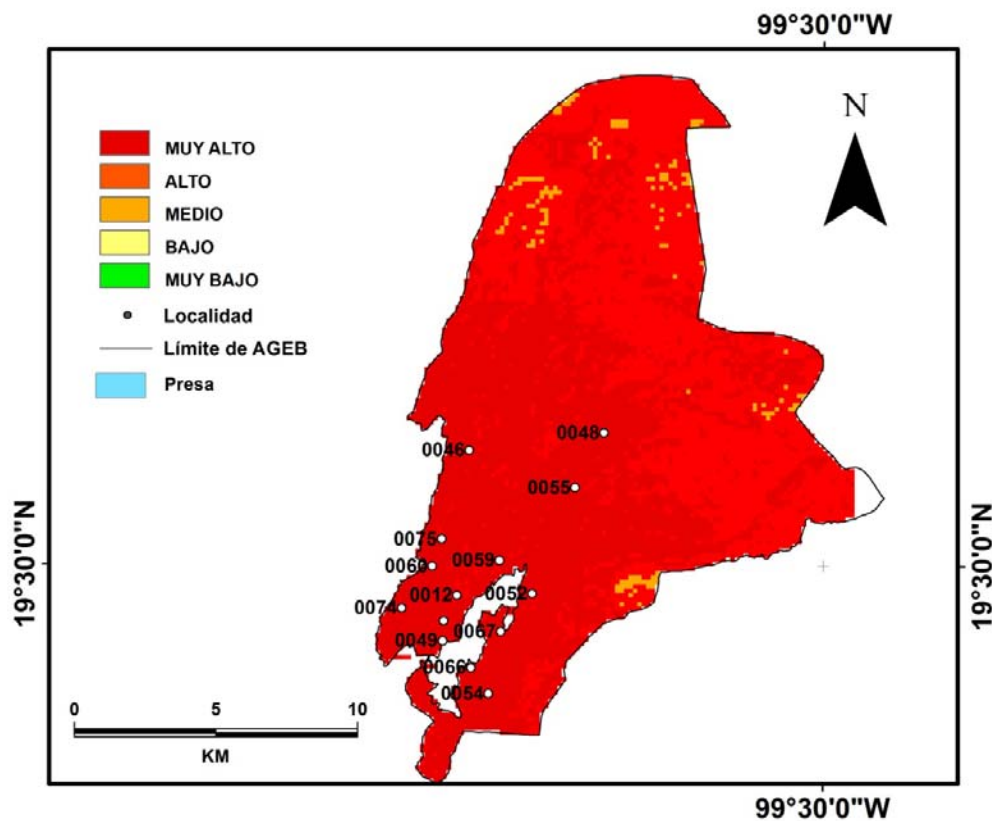


Figura 67. Localidades que se ubican en el AGEB 009A.

Para el caso de la AGEB 0117, tiene 2, 388 viviendas expuestas y de éstas el 35 % cuentan con todos los servicios. De los 12, 111 habitantes, 5, 234 forman parte del grupo de 0 a 14 años y más de 60. Además el 35% de los habitantes conforma la población económicamente activa. En el caso de infraestructura cuenta con 24 escuelas, dos centros de salud y las principales vías de comunicación que pueden ser afectados son los caminos de terracería, cuyos usos de suelo que están en riesgo es la agricultura de temporal y de riesgo, y por supuesto el habitacional. Las localidades que integran ésta área y que están en la categoría de muy alto y alto riesgo se identifican en figura 68.

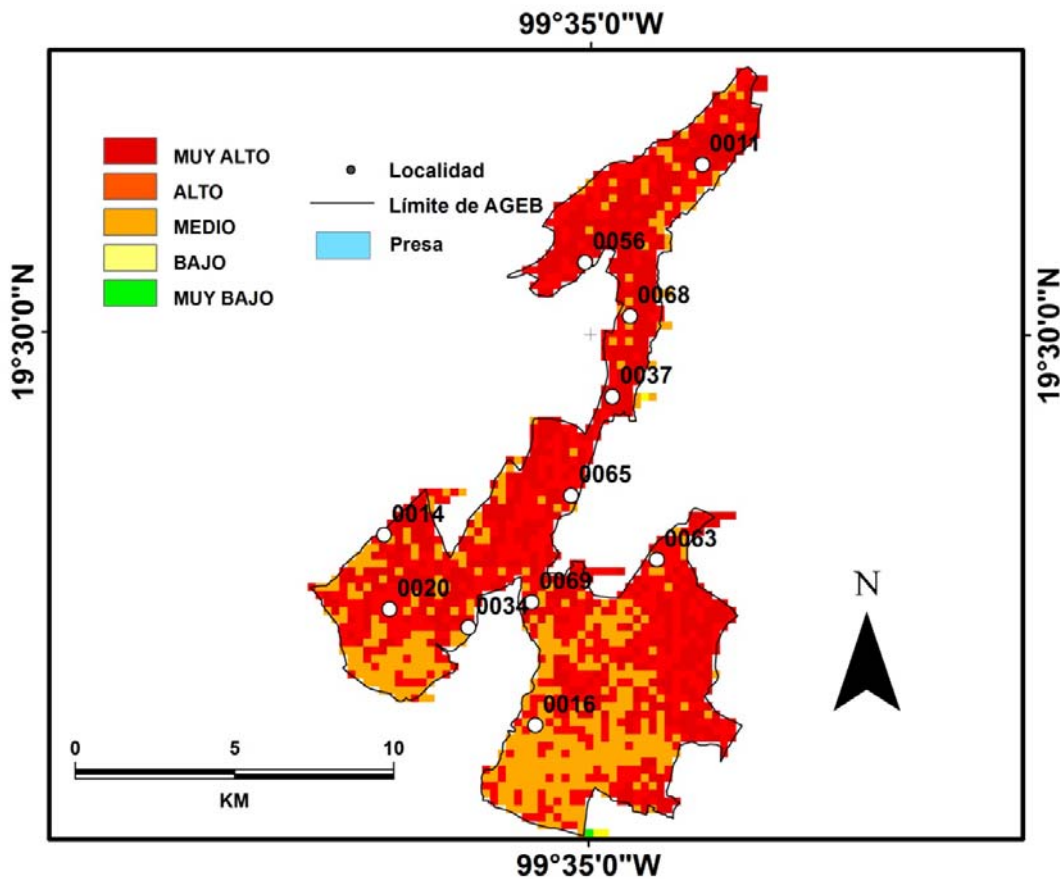


Figura 68. Localidades que se ubican en el AGEB 0117.

Por otra parte, en el AGEB tiene una población baja (5, 120), de la cual 2, 236 (más del 43%, lo que representa un valor alto) son del grupo de 0 a 14 años y más de 60, y la población económicamente activa representa el 33%. Por otro lado, el 35% de las 950 viviendas ocupadas tienen todos los servicios. En lo que refiere a escuelas, se localizan 9 y

para el caso de unidades de salud son dos, mientras que para el caso de las vías de comunicación, las que están en riesgo son los caminos pavimentados que comunican con la cabecera municipal. Los usos de suelo en riesgo son las áreas de agricultura de riego y habitacional.

El AGEB 0085 tiene una población de 7, 040 habitantes, de la cual 3, 102 forman parte del grupo de 0 a 14 años y más de 60, lo que representa el 44%, y 35% representa el PEA. El total de viviendas es de 1, 343 de las cuales el 34% cuentan con todos los servicios. El uso de suelo habitacional abarca el 80% de superficie, y los caminos pavimentados son lo que caracterizan a ésta área. Finalmente, son ocho escuelas y dos unidades de salud que se localizan en ésta AGEB (Figura 69).

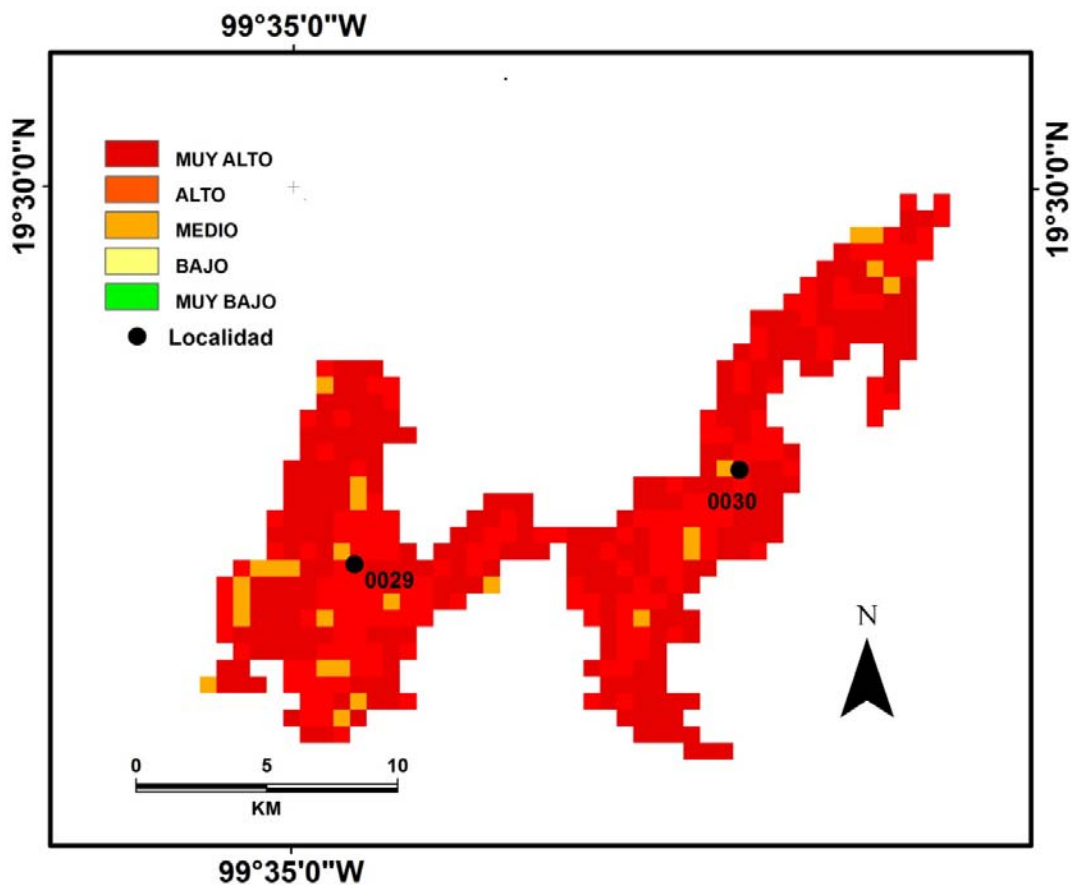


Figura 69. Localidades de las AGEB's 029 y 0085 en muy alto y alto riesgo:(San Pedro Abajo (0029) y San Pedro Arriba (0030).

En las AGEB 0070 y 0263, solo el 35% de su superficie ocupa esta categoría de riesgo, y se localizan principalmente en laderas de barrancos, en la figura 70 se muestran las localidades que están en muy alto y alto riesgo. Es importante destacar que en el AGEB 0070, corresponde a la cabecera municipal, sin embargo, solo una porción está en riesgo muy alto y alto, que corresponden a las colonias ubicadas al norte, mientras que para el AGEB 0263, solo existen dos localidades que son Tlaltenanguito y Vistahermosa, la primera con 1,168 habitantes, donde el 80% de la viviendas cuentan con todos los servicios y el 50% de su población está conformada por niños de 0 a 14 años y población de más de 60 años y solo el 30% es económicamente activa y la segunda localidad solo tiene 12 habitantes. El tipo de vía de comunicación que predomina es de terracería y solo existen 3 escuelas en Tlaltenanguito y el principal uso de suelo es agricultura de temporal.

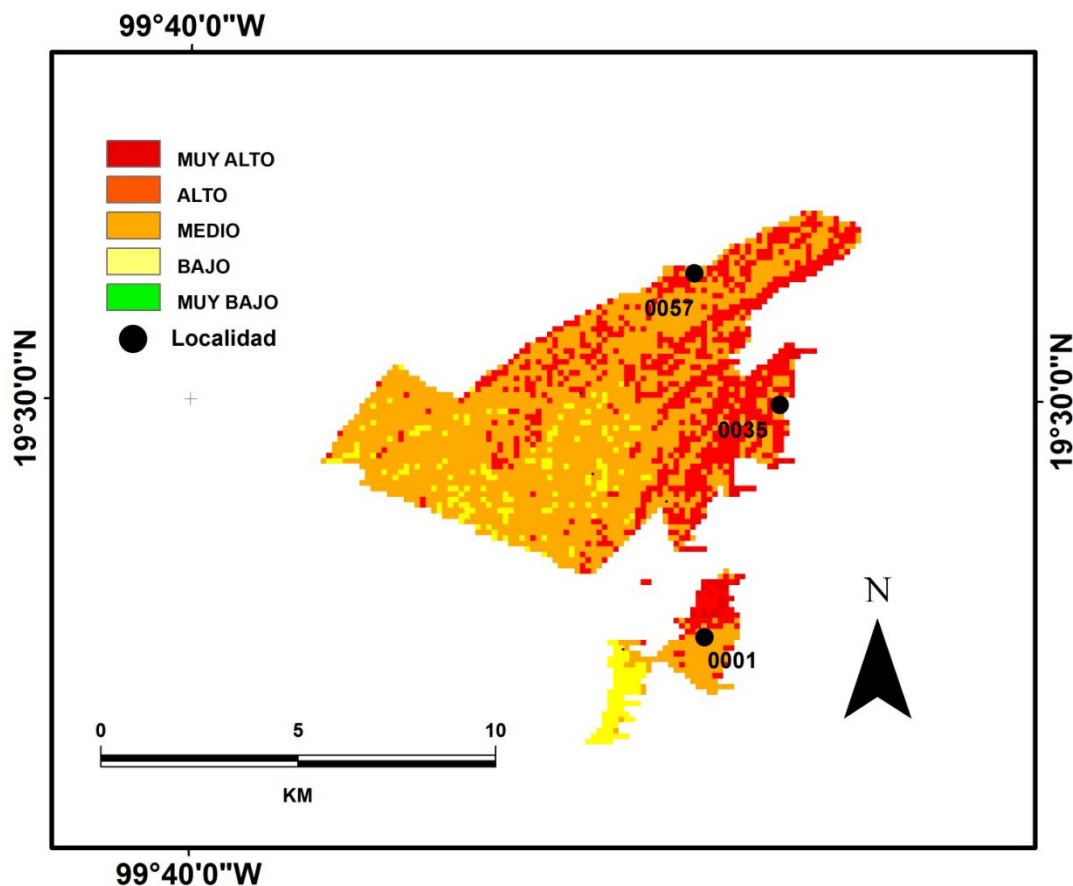


Figura 70. Localización de las localidades de Temoaya, Tlaltenanguito y Vistahermosa (0001, 0035 y 0057 respectivamente).

B. Áreas de riesgo medio

Las áreas que se encuentran en un riesgo medio, corresponden a los AGEB's 0070, 0121, 0155, 0314, 0102, 0136, 0263 (Figura 71). Las viviendas se ubican en pendientes mayores a los 25% o en laderas de barrancos, en la tabla 27 se listan las localidades en esta categoría.

En el caso de la localidad de Temoaya, el 80% de las viviendas cuentan con bienes, el porcentaje de población económicamente activa es mayor de 38%, mientras que para la población económicamente inactiva es de 36%. En relación con de los grupos de edad, cuenta con el menor porcentaje para las edades de 0 a 5, 6 a 12, 18 a 24, pero con mayor número de población de edad de mayor de 60 años; por otra parte solo el 4% de la población total es analfabeta; y para el caso de la infraestructura educativa son 4 escuelas las que se encuentran en esta categoría de riesgo. Para las localidades de las AGEB's 102 y 263, las condiciones son distintas ya que los resultados de la vulnerabilidad, indican un valor bajo, y la susceptibilidad al fenómeno es media a alta (Tabla 27).

Existen otras AGEB's que se caracterizan por presentar esta categoría en una mínima porción de su territorio (10 a 20%, excepto la 0117 que ocupa el 40%) y que no existe alguna localidad, pero el principal uso de suelo que está en riesgo medio es la agricultura de riego y de temporal, y son 0117, 0314, 0136, 0297, 0121.

CLAVE DE AGEB Y TIPO	NOMBRE DE AGEB	LOCALIDADES Y CLAVE
0070.Urbana	Temoaya	001. Temoaya
030A.Urbana	Enthavi	0010. Enthavi
0155. Rural	No Aplica	0047. Campamento Kilómetro 48
0117. Rural	No Aplica	0016. La Magdalena Tenexpan
0102.Rural	No Aplica	0073. Rancho Maruca Del Río 0039. Ranchería Las Lomas
0263.Rural	No Aplica	003. Calle Real 004. La Cañada 005. Cerrito Del Panal
0314. Urbana	Molino Abajo	No existen localidades en riesgo
0136.Urbana	San Diego Alcalá	No existen localidades en riesgo
0297. Urbana	San Pedro Abajo	No existen localidades en riesgo
0121. Rural	No Aplica	No existen localidades en riesgo

Tabla 27. Localidades en riesgo medio.

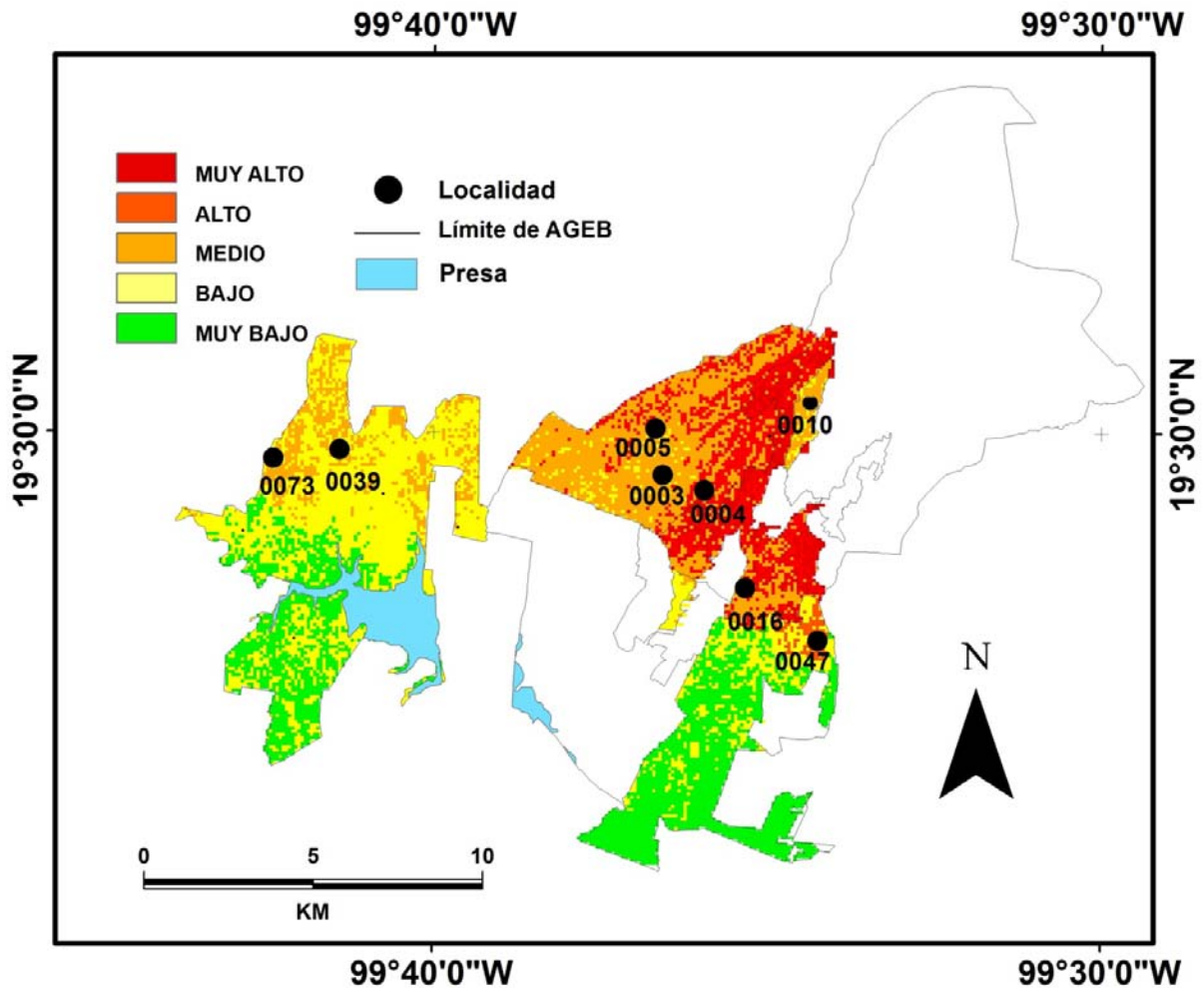


Figura 71. Localidades en riesgo medio en el municipio de Temoaya, Estado de México.

C. ÁREAS DE RIESGO BAJO Y MUY BAJO

Las AGEB's que por las características que están condicionando la generación de deslizamientos en el municipio son bajas o nulas hacen de ellas estar en un riesgo bajo a muy bajo, se enlistan en la tabla 28 y figura 72.

EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRAS EN EL MUNICIPIO DE TEMOAYA, MÉX.

CAPÍTULO VI

CLAVE DE AGE Y TIPO	NOMBRE DE AGE	LOCALIDADES Y CLAVE
0278.Urbana	San Lorenzo Oyamel	0027. San Lorenzo Oyamel
0314.Urbana	Molino Abajo	0017. Molino Abajo
0333. Urbana	Fraccionamiento Rinconada Del Valle	0079. Fraccionamiento Rinconada del Valle
0102.Rural	No Aplica	0002. Ejido De Allende 0025. San José Las Lomas 0032. Ejido de Taborda 0045. San Lucas
0121.Rural	No Aplica	0008. Ejido de Dolores 0015. Loma de San Nicolás 0019. Colonia Morelos 0024. San José Comalco 0026. San José Pathé 0028. San Mateo Alcalá 0044. San Antonio del Puente 0050. Loma de Progreso 0061. Colonia Emiliano Zapata (Ejido Santiago Temoaya) 0064. Silverio Galicia García
0155.Rural	No Aplica	0023. Silverio Galicia García 0036. Ranchería de Trojes (San Antonio Del Puente) 0040. Llano De La Y 0041. Ejido De Mimbres 0062. Ejido Bordo del Capulín 0077. La Magdalena Tenexpan 3ra. Sección 0078. La Magdalena Tenexpan 3ra. Sección 0080. Hacienda Las Trojes

Tabla 28. Localidades en riesgo bajo y muy bajo en el municipio de Temoaya, Estado de México.

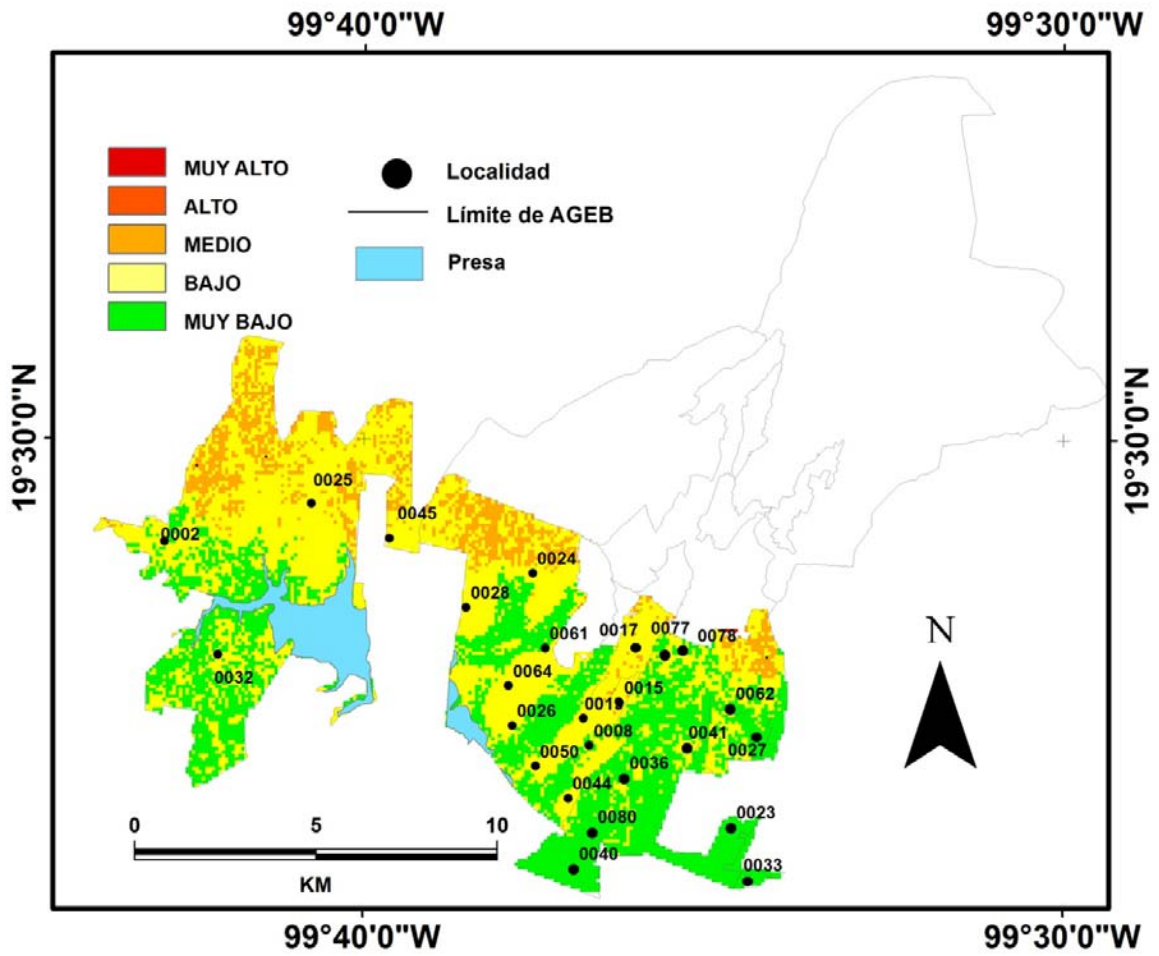


Figura 72. Localidades en riesgo bajo y muy bajo en el municipio de Temoaya, Estado de México.

CONCLUSIONES

En varias partes del mundo existe una gran cantidad de asentamientos en zonas de riesgo por deslizamientos, o bien, se han visto afectadas por la inestabilidad de laderas. Sin embargo, pocas son las acciones de mitigación que se ponen en marcha debido a la dimensión que pueden tener las áreas inestables en cuanto a la superficie afectada. Por ello, resulta importante contar con herramientas no estructurales que contribuyan a la disminución de la vulnerabilidad de las poblaciones, en función de la identificación de sitios potencialmente inestables, los cuales se pueden representar de manera adecuada en los mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, o concretamente a deslizamientos de tierra.

El 50% territorio del municipio de Temoaya, Estado de México, presenta muy alta y alta susceptibilidad a deslizamientos superficiales de suelo de tipo traslacional (DSST), condicionados por el contacto litológico entre los suelos y los depósitos volcánicos y aluviales (la mayoría de los movimientos registrados se presentan en material volcánico como son los flujos piroclásticos y cenizas), así como a los factores de morfología, fallas y uso de suelo. La mayoría de los movimientos registrados se presentan en cortes de ladera, lo que puede significar que son un factor externo importante en la zona en estudio ya que incrementan los esfuerzos preexistentes en la ladera.

La gestión de riesgo y por ende, la prevención de desastres se nutren de diferentes tipos de análisis o evaluaciones, entre las que destacan los análisis de vulnerabilidad de las comunidades expuestas, pues solamente a partir del entendimiento de las interacciones entre peligro o amenaza y vulnerabilidad es posible entender el riesgo; éste último es ingrediente fundamental para la gestión y prevención de desastres.

En dicho tenor, en el presente trabajo se efectuó un análisis de vulnerabilidad considerando tres dimensiones: exposición, fragilidad y resiliencia. Para ello se tomaron en cuenta a la población, las vías de comunicación, la educación, la salud y el organismo de Protección Civil municipal. Para la representación espacial de la información se utilizaron las unidades geoestadísticas básicas (AGEB) establecidas por INEGI.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que el 35% de las AGEB's (009A, 0085, 0297, 0117 y 0070) tiene una categoría de vulnerabilidad muy alta y alta, en las cuales existen 28,581 habitantes de un total de 90,010, 7,325 viviendas habitadas, de las cuales 2,155 tienen todos los servicios, además se concentran el mayor número de centros de salud, escuelas y habitantes de los grupos vulnerables (niños y adultos mayores).

Los resultados del análisis de riesgo muestran que el 50% del municipio tiene un grado muy alto y alto (AGEB's 009A, 0117, 0297, 0085, 0070 y 0263). La evaluación del riesgo representa un insumo fundamental para las autoridades de protección civil correspondientes, ya que proporciona elementos para mitigar y prever posibles efectos en la infraestructura, las zonas habitacionales y las actividades económicas. Asimismo, da a conocer las poblaciones ubicadas en las áreas de mayor riesgo, con la finalidad de que de ser posible puedan ser reubicadas, o bien, puedan delinear estrategias no estructurales que impliquen el conocimiento de los procesos de remoción en masa, del peligro existente y estimulen la organización de acciones concretas durante eventos de precipitación intensa o continua, mismos que se caracterizan por ser el principal mecanismo detonador de inestabilidad en el área de estudio.

El método empleado para realizar dicho estudio fue el análisis multicriterio (análisis jerárquico), el cual permitió realizar análisis generales a escala regional para posteriormente identificar zonas críticas, en donde se requiere atención detallada. Cabe señalar que de manera general, este tipo de análisis es asimismo de gran utilidad para efectuar evaluaciones específicas bajo circunstancias en la que no se cuenta con mucho tiempo, o bien los recursos humanos y/o materiales disponibles no son suficientes.

Este trabajo de investigación representa una propuesta metodológica para medir el riesgo por deslizamientos de tierra a nivel municipal. No obstante, es importante hacer mención que siempre es de suma relevancia poder realizar estudios a detalle que complementen este tipo de resultados. De manera particular, para el análisis de susceptibilidad, el cual va ligado a las evaluaciones del peligro, se requiere profundizar en cuanto a la influencia de diferentes factores determinantes tales como las fallas, así como la incluir un análisis a detalle de la variable suelo que incluya parámetros geotécnicos que permitan determinar su

CONCLUSIONES

influencia en la susceptibilidad a deslizamientos, ya que se carece de ésta información. Muy especialmente, para casos críticos o que requieren mayor atención, la medición de parámetros puntuales de la resistencia de los materiales es de vital importancia. En el caso de la vulnerabilidad, que resulta un componente complejo del riesgo, sería igualmente importante medir otros indicadores de carácter económico, social o ambiental, cuya inclusión, en muchas ocasiones se ve limitada por la falta de información o bien el tiempo que se requiere para generar dicha información.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aceves-Quesada, F., López-Blanco, J y Martin del Pozzo, A. (2006), “Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 23, núm. 2, pp. 113-124.
2. Aceves-Quesada, F., Díaz-Salgado, J and López-Blanco, J. (2007), “Vulnerability assessment in a volcanic risk evaluation in Central Mexico through a multi-criteria-GIS approach”, *Natural Hazards*, vol.40, no. 2, pp. 339–356.
3. Adger, N. W. (2006), “Vulnerability”. *Global Environmental Change*, vol. 16, issue 3, pp. 268–281.
4. Akgun, A., Dag, S., and Bulut, F. (2008), “Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models”, *Environmental Geology*, vol. 54, no. 6, pp. 1127-1143.
5. Akgun, A., and Türk, N. (2008), “Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis, *Environmental Earth Science*, vol. 61, no. 3, pp. 595-611.
6. Alcántara-Ayala, I. (2000a), “¿Landslides: deslizamientos o movimientos del terreno? “, *Investigaciones Geográficas. Boletín*, núm.41, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-25.
7. Alcántara-Ayala, I. (2000b), “Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol.17, núm. 1. México.
8. Alcántara-Ayala, I. (2002), “Geomorphology Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in developing countries”, *Geomorphology*, vol. 47, issues 2-4, pp. 107-124.
9. Alcántara-Ayala, I., Esteban-Chávez, O., and Parrot J. F. (2006), “Landsliding related to land-cover change: A diachronic analysis of hillslope instability distribution in the Sierra Norte, Puebla, and Mexico”. *Catena*, vol. 65, issue 2, pp. 152-165.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

10. Alcántara-Ayala, I. (2010), "Geomorphology and Disasters Prevention", in Alcántara-Ayala I and Andrew G (eds), *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention* Cambridge University Press, pp. 205-218.
11. Alexander, D. (2004), "Vulnerability to Landslides" in Glade, T., Anderson, M and Crozier, M. J. (eds), *Landslide Hazard and Risk*, John Wiley and Sons, pp. 175-198.
12. Aleotti, P and Chowdhury R. (1999), "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 58, num.1, pp. 21-44.
13. Alvarado-López, G. (2008), *Análisis de las variaciones climáticas de la Cuenca Alta del río Lerma, México de 1960 a 2000*, tesis de Maestría, Facultad de Química, UAEM.
14. Anbalagan, R. (1992). "Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain". *Engineering Geology*, vol. 32, issue 4, pp. 269–277.
15. Aneas de Castro, S. (2000), "Riesgos y Peligros: Una visión desde la Geografía", *Scripta Nova*, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, núm. 60.
16. Ayalew, L and Yamagishi, H. (2005), "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan". *Geomorphology*, vol. 65, issues 1-2, pp. 15–31.
17. Aysan, Y.F. (1993), "Vulnerability assessment" in. Merriman, P.A., and Browitt C.W.A. (eds.), *Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities*, Thomas Telford, London, pp. 1–14.
18. Baeza, C. (1994), *Evaluación de las condiciones de rotura y de la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante*. tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya.
19. Baeza, C. and Corominas, J. (2001), "Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques". *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 26, pp. 1251–1263.
20. Barredo, J. I. (1996), *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Edit. RA-MA, primera edición. España.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

21. Becerra-Pineda, A. P y Cortés-Ortiz M. A. (2006), *Geografía de los riesgos: una propuesta pedagógica para el municipio de Yumbo*, tesis de Licenciatura, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
22. Bernard, P.L., Owen, L.A., Sharma, M. C and Finkel, R. C. (2001), “Natural and human-induced landsliding in the Garhwal Himalaya of northern India”, *Geomorphology*, vol. 40, issues 1-2, pp. 21–35.
23. Birkmann, J. (2006), “Indicators and Criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements” in Birkmann J, (ed.), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disasters Resilient Societies*, Nueva York, pp. 55-77.
24. Bitrán D (2000). *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-1990*. CENAPRED. México.
25. Blaikie, P., Cannon T., Davis, I., y Wisner, B. (1996), *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*. Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. La Red, primera edición. Colombia.
26. Borja-Baeza, R y Alcántara-Ayala, I. (2004), “Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla Puebla”. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 53, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-26.
27. Bogdanovich (1911), En Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. (2006). Tipología de movimientos de masa desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, vol. 22, issue 1, pp. 16.
28. Borja-Baeza, R, Esteban-Chávez, O, Marcos-López, J., Peña-Garnica, R.J., y Alcántara-Ayala, I. (2006), “Slope Instability on Pyroclastic Deposits: Landslide Distribution and Risk Mapping in Zacapoaxtla, Sierra Norte De Puebla, Mexico”, *Journal of Mountain Science*, vol. 3, no. 1, pp.1-19.
29. Borja, M., Tonelli, F., Fontana, G. D and Cazorzi, F. (2005), “Evaluating the influence of forest roads on shallow landsliding”, *Ecological Modelling*, vol. 187, issue 1, pp. 85–98.
30. Bohle, H.-G. (2001), “Vulnerability and criticality: perspectives from social geography”, [http://www.ihdp.unibonn.de/html/publications/update/IHDPUpdate01_02.html].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

31. Brabb, E. E. (1984), "Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping", *IV International Symposium on Landslides*, vol. 1, Toronto, pp. 307–323.
32. Brunsten, D. (1979), "Mass movements", in Embleton, C.E. y J. B. Thornes (eds), *Progress in Geomorphology*, Arnold, pp. 130-186.
33. Brunsten, D. (1973), "The application of systems theory to the study of mass movement", *Geologia Applicata e idrogeologia*, University of Bari, 8, 1, pp. 185-207.
34. Calderón-Aragón, G. (2001), *Construcción y reconstrucción del desastre*, Plaza y Valdés, México. D.F.
35. Calvo García-Tornel, F. (1984), "La geografía de los riesgos". *Geocrítica*, núm. 54, pp. 5-40.
36. Cannon, T. (2003), *Vulnerability Analysis, Livelihoods and Disasters Components and Variables of Vulnerability: Modelling and Analysis for Disaster Risk Management*, IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management, Manizales: National University of Colombia, [<http://www.unalmz.edu.co/>].
37. Capra, L., Lugo-Hubp, J. y Dávila-Hernández N. (2003), "Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 20, núm. 2, pp. 95-106.
38. Cardona O. D. (1996), "Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados", en Fernández, M. A (ed.), *Ciudades en riesgo*, La RED, USAID.
39. Cardona, O. M. (2001), *Estimación Holística del Riesgo Sísmico. Utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*, tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona [<http://www.desenredando.org/public/varios/2001/ehrisusd/index.html>].
40. Cardona O M (2006). "A System of indicators for disaster risk management in the Americas" in Birkmann J (ed). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disasters Resilient Societies*. Terri Press.
41. Carrara, A., Catalano, E., Sorriso-Valvo, M., Reali, C., and Osso, I. (1978), "Digital terrain analysis for land evaluation", *Geologia Applicata e Idrologia*, 13, pp. 69-127.
42. Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M and Reichenbach, P. (1999), "Use Gis Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard". *Natural Hazard*, vol. 20, no. 2-3, pp. 117-135.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

43. Carson, A. M and Fisher, J. C. (1991), "Management of landslides within Shropshire" in The Institution Civil Engineers (ed.) *Slope Stability Engineering*. London, pp. 95-98
44. Castellanos-Abella, E. A y Van Westen, C. J. (2008), "Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba". *Geomorphology*, vol. 94, issues 3-4, pp. 453-466.
45. Centro Nacional de Prevención de Desastres (2006), *Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*. Secretaría de Gobernación. México, D.F.
46. Centro Nacional de Prevención de Desastres (2004), *Guía básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de peligros y riesgos*. México. D.F.
47. Cevik, E and Topal, T. (2003), "GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of natural gas pipeline, Hendek (Turkey)". *Environmental Geology*, vol. 44, no. 8, pp. 949-962.
48. Champati, R. (2004), "Landslide Hazard Zonation Using Spatial Models in GIS", in Nagarajan R (ed.), *Landslide Disaster Assessment and Monitoring*, Anmol Publications, New Delhi, pp. 81-90.
49. Chang, J. C and Slaymaker, O. (2002). "Frequency and spatial distribution of landslides in a mountainous drainage basin: Western Foothills, Taiwan". *Catena*, vol. 46, no. 4, pp.285-307.
50. Chen, K., Blong, R and Jacobson, C. (2001), "MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards". *Environmental modeling and software*, vol. 16, no. 4, pp 387-397.
51. Chung, C. F and Fabbri, A. G. (2003), Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping, *Natural Hazards*, vol. 30, no. 3, pp. 451-472.
52. Clerici, A., Perego, S., Telli, C and Vescovi, P. (2002), "A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method". *Geomorphology*, vol. 48, issue 4, pp.349-369.
53. Coates, D. R. (1977), "Landslides perspectives" in Coates, D. R. (ed), *Landslides*, Geological Society of America.
54. Cooper, M.G. (1985), *RISK, Man-made Hazards to Man*, Clarendon Press, Oxford.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

55. Cruden, D. M and Varnes, D. J. (1996), “Landslide Types and Processes”, in Turner K. A and Schuster R. L (eds.), *Landslides-Investigation and Mitigation*, Special Report 247, National Research Council, USA, pp 36–75.
56. Cuanalo-Campos, O. A y Melgarejo-Palafox, G. (2002), “Inestabilidad de laderas Sierra Norte y Nororiental del estado de Puebla”. *Elementos: Ciencia y Cultura*, vol.9, núm. 47, pp.51-55.
57. Cutter, S. L. (1996). “Vulnerability to environmental hazards”. *Progress in Human Geography*, vol. 20, issue 4, pp. 529–539.
58. Cutter, S. L., J. T. Mitchell, and M. S. Scott, (2000), “Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown county, South Carolina”. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90, issue 4, pp. 713–737.
59. Cutter, L. S (ed). (2001). *American hazardscapes: The regionalization of hazards and disasters*. Washington, DC: The Joseph Henry Press.
60. Cutter, L. S., Boruff, J. B and Shirley, L. W. (2003), “Social Vulnerability to Environmental Hazards”, *Social Science Quarterly*, vol. 84, no. 2, pp. 242-261.
61. Cutter, L. S. (2003), “The Vulnerability of Science and the Science of Vulnerability”, *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 93, issue 1, pp. 1–12.
62. Crozier, M. J. (1973), “Techiques for the morohometric analysis of landslips”, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 17, pp.78-101.
63. Dai, F. C., Lee, C.F and Ngai, Y.Y. (2002), “Landslide risk assessment and management: an overview”. *Engineering Geology*, vol.64, issue 1, pp. 65–87.
64. Das, I., Sahoo. S., Van Westen. C., Stein, A., and Hack, R. (2010), “Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India)” *Geomorphology*, vol. 114, issue 4, pp. 627–637.
65. Dávila I (2010), “Aludes de lodo y tierra en la vía Toluca-Temascaltepec; 10 muertos” en La Jornada, sábado 6 de febrero de 2010. México, D.F., año 26, no. 9156, pp.23.
66. Davis, I. (2003), *The Effectiveness of Current Tools for the Identification, Measurement, Analysis and Synthesis of Vulnerability and Disaster Risk*, IDB/IDEA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Program of Indicators for Risk Management, Manizales: National University of Colombia, [<http://www.unalmzl.edu.co/>].
67. De Cserna, Z., Fries, C. Jr., Rincón-Orta, C., Silver, L.T., Westley, H., Solorio-Munguía, J and Schmitter. (1974), “Datos geocronométricos terciarios de los estados de México, Morelos y Guerrero”. *Boletín de la Asociación Geológica Mexicana*, vol. XXVI, núm. 4-6, pp. 263-273.
68. De La Ville, N., Chumaceiro-Díaz A and Ramírez, D. (2002), “Remote sensing and GIS technologies as tools to support sustainable management of areas devastated by landslides”. *Environment, Development and Sustainability*, vol. 4, núm. 2, pp. 221–229.
69. Delgado, G. H and Martín del Pozzo, A. L. (1992), “Pliocene to Holocene volcanic geology and junction of Las Cruces, Chichinautzin and Ajusco ranges, southwest of México City”. *Geofísica Internacional*, vol. 32, núm. 2, p.p. 511-522.
70. Díaz Pérez, G. S. (2001), *Cartografía morfogenética de la cuenca de Toluca, escala 1:100.000*, tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
71. Dikau, R., Brunsten, D and Schrott, L. (1996), *Landslide Recognition, Identification, Movement and Cause*, Wiley and Son, Chichester, U. K.
72. Donati, L and Turrini, M. C. (2002), “An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy)”. *Engineering Geology*, vol. 63, issues 1-3, 277–289.
73. Dymond, J. R, Ausseil, A. G., Shepherd, J. D and Buettner, L. (2006), “Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu-Wanganui of New Zealand”. *Geomorphology*, vol. 74, issues 1-2, pp. 70-79.
74. EPOCH (European Community Programme, (1993), *Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community*, Flageollet, J.C. (ed), 3 volumes, Contract no.90 0025.
75. FAO. (2006), *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Roma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

76. Fekete, A., Damm, M., and Birkmann, J. (2010). “Scales as a challenge for vulnerability assessment”, *Natural Hazards*, vol. 55, no.3, pp. 729–747.
77. Fournier d’Albe, M. (1985), “The quantification of seismic hazard for the purposes of risk assessment”, *International Conference on Reconstruction, Restauration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas*, Skopje, Yugoslavia.
78. Fraustro, M. O. (1999), “Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuatepec: Región sur de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México”. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 30, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp.15-29.
79. Fries, C. Jr. (1960), Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. *Boletín del Instituto de Geología*, UNAM, vol. 60, issues 59-60, pp. 236.
80. Gallopin, G. C. (1997), “Indicators and their Use: Information for Decision Making. Part One: Introduction”, in Moldan, B and Billharz, S (eds), *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development SCOPE* (Scientific Committee on Problems of the Environment), New York, John Wiley, [<http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope58/ch01-introd.html>].
81. Gallopin, G. C. (2006), “Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity”, *Global Environmental Change*, vol. 16, issue 3, pp. 293–303.
82. García-Mora, T. J y 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*, núm. 67, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-19.
83. García-Palomo, A., Carlos-Valerio, V., López-Miguel, C., Galván-García, A., and Concha-Dimas, A. (2006), “Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico basin”. *Boletín de la Sociedad Mexicana, Número Especial de Geología Urbana*, tomo LVIII, núm., 2, pp. 195-204.
84. García-Palomo, A., Zamorano, J. J., López-Miguel, C., Ortega, R y Macías, J. L. (2008), “El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central”. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 25, núm. 1, pp. 158-178.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

85. García-Romero, A. (2002), “An evaluation of forest deterioration in the disturbed mountains of western Mexico City”, *Mountain Research and Development*, vol. 22, no. 3, pp. 270-277.
86. Gares, P. A., Sherman, D. J and Nordstrom, K. F. (1994), “Geomorphology and natural hazards”. *Geomorphology* 10, issues 1-4, pp. 1– 18.
87. Gobierno del Estado de México. (1998), *Los municipios del Estado de México*, Colección: Enciclopedia de los municipios de México, México.
88. Gobierno del Estado de México-CAEM. (2003), *Programa Hidráulico Integral del Estado de México*, México.
89. Greenway, D. R. (1987), ‘Vegetation and slope stability’, in: Anderson and Richards (eds), *Slope Stability*, John Wiley & Sons, pp. 187–231.
90. Guzzetti, F., Galli, M.; Reichenbach, P.; Ardizzone, F.; Cardinali. (2006), Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria Italy”, *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 6, issue 6, pp. 115-131.
91. Hernández-Mena, Z. (2008), *Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa con base en análisis Multivariado: la región de Zapotitlán de Méndez, Puebla*, tesis de Maestría, Centro de Geociencias. UNAM.
92. Hervás, D. D y Barredo, C. (2001), “Evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación al barranco de Tirajana (Gran Canaria). V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables”, [eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/.../Hervas_Barredo_2001_Madrid.pdf].
93. Hewitt, K. (1995), “Excluded Perspectives in the Social Construction of Disaster”, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, vol. 13, no. 3, pp.317-339.
94. Holling, C.S. (1973), “Resilience and stability of ecological systems”. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol.4, pp. 1–23.
95. Horton, R. E. (1945), “Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology”, *Bulletin of the Geological Society of America*, vol.56, pp. 275-370.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

96. Huma, I., and Radulescu. (1978), “Automatic production of thematic maps of slope instability”, *Bulletin of the International Association of Engineering Geologists*, 17, pp.95-99.
97. -Hutchinson, J. N. (1968), “Mass movement” in Fairbridge, R. W. (ed), *Encyclopedia of Earth Sciences*, Reinhold, New York, pp. 688-695.
98. Hutchinson, J. N. (1988), “General report morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrology” in Bornnard, C. (ed), *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherland, vol. 1, pp. 3-35.
99. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. México.
100. IPCC. (2012), “Summary for Policymakers”, in Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M., and Midgley, P.M. (eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.
101. Janssen, M., Schoon, M. L., Kee, W and Börner, K. (2006), “Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change”. *Global Environmental Change* 16, issue 3, pp. 240–252.
102. Jones, J. A., Swanson, F. J., Wemple, B., C and Snyder, K.U. (2000), “Effect of road on Hidrology, Geomorphology, and Disturbance Datches in stream Networks”, *Conservation Biology*, vol. 14, no.1, pp. 76-85.
103. Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., Owen, L. A.(2008), “GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region”, *Geomorphology*, vol.101, issue 4, pp. 631–642.
104. Kasperson, J.X., Kasperson, R.E., Turner II., B.L., Schiller, A., Hsiel, W.-H. (2005), “Vulnerability to global environmental change”. in: Kasperson, J.X., Kasperson, R.E. (eds.), *Social Contours of Risk, vol. II*. Earthscan, London, pp. 245–285.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

105. Kates, R.W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., McCarthy, J., Schellnhuber, H. J., Bolin, B., Dickson, N. M., Faucheux, S., Gallopin, G. C., Gruebler, A., Huntley, B., Jäger, J., Jodha, N. S., Kasperson, R. E., Mabogunje, P., Matson, P., Mooney III, H., Moore, B., O’Riordan, T., and Svedin, U. (2001), “Sustainability science”. *Science*, vol. 292, pp. 641–642.
106. Kienholz, H., Mani, P., and Kly, M. (1988), “Rigi Nordlene. Beurteilung der Naturgefahren und Waldbauliche Prioritätenfestlegung” in *Proceedings INTERPREAVENT 1988*, Graz, Austria, 1, pp.161-174.
107. Komac, M. (2006), “A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia”. *Geomorphology*, vol. 74, issue 1-4, pp 17–28.
108. Kovach, R. L. (1995), *Earth Fury. An Introduction to natural hazards and disasters*. Prentice Hall, New Jersey.
109. Lavell, Allan. (1996), “Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano: problemas y conceptos”, en Fernández, M. A (ed), *Ciudades en riesgo*. LA RED. USAID. Lima, Perú.
110. Lavell, A. (2003), *La Gestión Local del Riesgo. Nociones y Precisiones en torno al concepto y la práctica. Programa para la Gestión del Riesgo en América Latina*. CEPREDENAC – PNUD.
111. Liu, J. G., Mason, P. J., Clerici, N., Chen, S., Davis, A., Miao, F., Deng H and Liang L. (2004), “Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui–Badong”. *Geomorphology*, vol, 61, issues 1-2, pp. 171–187.
112. López-Blanco, J. (2005), “Sistemas de información geográfica en estudios de geomorfología ambiental y recursos naturales”. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Serie Seminarios.
113. Lugo-Hubp, J. (1988), *Elementos de Geomorfología Aplicada*. Instituto de Geografía. UNAM, México.
114. Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J., Capra, L., Inbar, M and Alcántara-Ayala, I. (2005), “Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1999: Causa y efectos”. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 22, núm. 2, pp. 212-228.
115. Macías, J. M. (1992), “Perspectivas de los estudios de desastre en México”, en García Acosta V (coord.), *Estudios históricos sobre desastres naturales en México: balances y perspectivas*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México.
116. Mansilla, E. (1996). “Notas para una reinterpretación de los desastres”, en E. Mansilla (edit.), *Desastres modelo para armar*. LA RED. Lima.
117. Mansilla, E. (2000), *Riesgo y Ciudad*, tesis de Doctorado, Facultad de Arquitectura. UNAM. México.
118. Maskrey, A. (1993), *Los desastres no son naturales*. La Red: red de estudios sociales en prevención de desastres naturales en América Latina, Ed. Tercer Mundo, Colombia, pp. 61-74. Colombia.
119. Maskrey A. (1998). *Navegando entre brumas*. La Red –ITDG. Tercer Mundo Editores, Bogotá.
120. Mantovani, F., Soeters, R., Van Westen, C. J. (1996), “Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe”. *Geomorphology*, vol. 15, issues 3-4, pp. 213-225.
121. Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., and Zanchi, A. (2008), “Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation”, *Geomorphology*, vol. 94, issues 3-4, pp. 379–400.
122. Mileti, D. (1999). *Disasters by design. A reassessment of natural hazards in the United States*. Washington, DC: The Joseph Henry Press.
123. Montero, W. y Rodríguez, H. (1998). *Metodología de análisis del riesgo sísmico. Informe final*, Instituto de Investigación del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica. Universidad Nacional, San José, Costa Rica.
124. Montz, B. E., Cross, J. A. and Cutter, S. L. (2003). “Hazards,” in Gaile, G., and Willmott, C. (eds.), *Geography in America II*. Oxford: Oxford University Press, pp. 481-491.

125. Mooser, F., Nair, A.E.M., Negendank, J. F.W. (1974), "Paleomagnetic investigations of Tertiary and Quaternary igneous rocks: VII a paleomegnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico", *Geologische Rundschau*, vol. 63, no. 2, pp. 451–483.
126. Mooser, F., Montiel, A y Zúñiga, A. (1996), *Nuevo Atlas Geológico de las cuencas de Toluca, México y Puebla. Estratigrafía, Tectónica regional y Aspectos Geotérmicos (1937-1996)*. Comisión Federal de Electricidad, México, D, F.
127. Mora-Álvarez, G., Caballero, C., Urrutia-Fucugauchi, J and Uchiumi, S. (1991). "Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of Mexico? A preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study", *Geofísica Internacional*, vol. 30, no. 2, 61-70.
128. Moreiras, S. M. (2006), "Frequency of debris flows and rockfall along the Mendoza river valley (Central Andes), Argentina: Associated risk and future scenario", *Quaternary International*, vol. 158, issue 1, pp. 110–121.
129. Muñiz-Jáuregui, J.A. (2009), *Inestabilidad de laderas en la zona de montaña de la Ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco: caracterización, susceptibilidad e implicaciones relacionadas con el crecimiento urbano*, tesis de Maestría, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
130. Murillo-García, F. G. (2007), *Elaboración de un inventario de procesos de remoción en masa: Aplicación en la porción Sureste de la Sierra Norte de Puebla*, tesis de Licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
131. Mustafa, D., Ahmed, S., Saroch, E., and The Risk to Resilience Study Team (2008), *Pinning Down Vulnerability: From Narratives to Numbers*, ProVention Consortium, Institute for Social and Environmental Transition Institute for Social and Environmental Transition-Nepal.
132. Nifantov (1935), En Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. (2006). Tipología de movimientos de masa desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, vol. 22, issue 1, pp. 16.
133. National Research Council. (1999), *Our common journey: A transition toward sustainability*, Washington, DC: National Academy Press.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

134. Nilsen, T. H., Wright, R. H., Vlasic, T. C., and Spangle, W. E. (1979), "Relative slope stability and land use planning in the San Francisco Bay region, California", *U.S. Geological Survey Professional Paper 944*, pp. 96.
135. NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Agency) and Organization of American States (OAS). (2002), *Vulnerability Assessment Techniques and Applications*, [<http://www.csc.noaa.gov/vata/>].
136. Ochoa-Tejeda, V. y Parrot, J. F. (2007), "Extracción automática de trazas de deslizamientos utilizando un modelo digital de terreno e imágenes de satélite de alta resolución IKONOS. Ejemplo en la Sierra Norte de Puebla, México", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24, núm. 3, pp. 354-367.
137. Ochoa-Tejeda, V. (2009), *Control estructural de la inestabilidad de laderas: modelo tridimensional de los rasgos geológicos*, tesis Doctoral. Instituto de Geofísica. UNAM.
138. Ochoa-Tejeda, V. (2004), *Propuesta metodológica para el estudio de la inestabilidad de laderas a partir de los MDT y la Percepción Remota, Sierra Norte de Puebla, México*, Facultad de Filosofía y Letras, Tesis Maestría, UNAM.
139. Osete, M.L., Ruiz-Martínez, V. C., Caballero, C., Galindo, C., Urrutia-Fucugauchi, J. and Tarling, D. H. (2000), "Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, Mexico: paleomagnetic and radiometric evidence", *Tectonophysics*, vol. 318, issues 1-4, pp. 201-215.
140. Ordoñez, E. (1895), "Las rocas eruptivas del suroeste de la cuenca de México", *Boletín del Instituto de Geología*, núm. 1, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 5-45
141. Owens, P. N. and Slaymaker, O. (2004), *Mountain Geomorphology*, Oxford University Press Inc.
142. Penck, A. (1894), *Morphologie der Erdoberfläche*, vol. 1, pp. 471 and 696.
143. Petley, D. (2010), "Landslide hazard. In Geomorphology and Disasters Prevention" in Alcántara Ayala and Goudie Andrew (eds.), *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*, Cambridge University Press. pp. 205-218.

144. Parrot, J. F. (2009), “Los Modelos Digitales de Terreno. Descripción e interpolación”, en Aguirre-Díaz, R. (coordinador), *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*, Instituto de Geografía, UNAM, pp.61-86.
145. Popov (1939), En Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. (2006). Tipología de movimientos de masa desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, vol. 22, issue 1, pp. 16.
146. Quintero-Pérez, J. A. (2009), “Definición y origen de los sistemas de información geográfica” en Aguirre-Díaz, R. (coordinador), *Conceptos de Geomática y estudios de caso en México*, Instituto de Geografía, UNAM, pp. 115-147.
147. Radbruch-Hall, D.H.; Edwards, K. and Batson, R.M. (1979), “Experimental engineering geological maps of the conterminous United States prepared using computer techniques”. *Bulletin International Association of Engineering Geologist*, 19, pp. 358-363.
148. Ranjan, K. D., Shuichi, H., Atsuk, N., Santosh, Y and Pradeep, P (2008), “Predictive modeling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence”. *Geomorphology*, vol. 102, issues 3-4, pp. 496-506.
149. Regmi, N.R., Giardino, J.R and Vitek, J.D. (2010), Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes, *Geomorphology*, vol. 122, issues 3-4, issues 1-2, pp. 25-38.
150. Remondo, J., González-Díez, A., Díaz de Terán, J.R., and Cendrero, A. (2003a), “Landslide Susceptibility Models Utilising Spatial Data Analysis Techniques. A Case Study from the Lower Deba Valley, Guipúzcoa (Spain)”, *Natural Hazards*, vol. 30, no. 3, pp. 267–279.
151. Remondo, J., González-Díez, A., Díaz de Terán, J.R., and Cendrero, A., Fabbri, A., and Chung, C.F. (2003b), “Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications from a Case Study in Northern Spain”, *Natural Hazards*, vol. 30, no: 3, pp. 437–449.
152. Rodionov (1939), En Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. (2006). Tipología de movimientos de masa desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, vol. 22, issue 1, pp. 16.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

153. Ruff, M., and Czurda, K. (2008). "Landslide susceptibility analysis with a heuristic approach in the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria)", *Geomorphology*, vol. 94, issues 3-4, pp. 314-324
154. Sanahuja-Rodríguez, H. E. (1999), *El daño y la evaluación del riesgo en América Central: Una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica*, tesis de maestría. Universidad de Costa Rica.
155. Sánchez-Rubio, G. (1978), "Notas sobre la volcanología cenozoica de la región entre Temascaltepec y La Marquesa, Estado de México" en *Libro Guía, excursión a Tierra Caliente Estados de Guerrero y México*, México, D.F, Sociedad Geológica Mexicana pp. 26-36.
156. Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A and Marturiá, J. (2003), "A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain)", *Natural Hazards*, vol. 30, no.3, pp. 281-295.
157. Saaty, T. (1977), A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of mathematical Psychology*, no.15, pp. 234-281.
158. Savariens Kii (1940), En Almaguer-Carmenates, Y., Guardado-Lacaba, R. (2006). Tipología de movimientos de masa desarrollados en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, vol. 22, issue 1, pp. 16.
159. Schlaepfer, C. J. (1968), *Geología de la Hoja México D.F y los Estados de México y Morelos*. Instituto de Geología, UNAM., Serie 1:100,000. Mapa con texto.
160. Sharpe, C.F.S (1938). *Landslides and Related Phenomena*, New York, Columbia University Press,
161. Smith, K. (2004), *Environmental hazards. Assessing risk and reducing disasters*, Routledge Tylor and Group London. New York.
162. Soeters, R., Van Westen, C.J. (1996). "Slope instability recognition, analysis y zonation", in Turner A.K and Schuster R.L (eds), *Landslide Investigation, Mitigation, Transportation Research Board, Special Report 247*, National Academy Press. Washington, pp. 19-177.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

163. Sotelo, E., Gutiérrez, M. C., Cruz, G., Ortiz, C.A., y Segura M.A. (2008), "Historia y desarrollo de la clasificación de vertisoles en el Sistema FAO y la taxonomía". *Terra Latinoamericana*, vol. 26, núm. 4, pp.325-332.
164. Skempton, A. W. (1953), "Soil mechanics in relation to Geology", *Proceeding of the Yorkshire Geological Society*, 29, pp.33-62.
165. Temesgen, B., Mohammed, M. U., and Korme T. (2001), "Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to the Landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia", *Physics and Chemistry of the Earth, Part C*, vol. 26, no. 9, pp. 665-615.
166. Terlien, M.T.J., van Westen, C.J., van Asch, T. W. J. (1995), "Deterministic modeling in GIS-based landslide hazard assessment", in Carrara, A., Guzzetti, F. (eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 57-78.
167. Therhaile A (2010). *Geomorphology. A Canadian Perspective*. Fourth Edition. Oxford University Press.
168. Twigg, J. (1998), "Understanding Vulnerability and Introduction" in Twigg, J and Bhatt, M. R. *Understanding Vulnerability South Asian Perspective*, Intermediale Technology Publications. Sri Lanka, pp. 1-79.
169. United Nations Development Programme (UNDP). (2003), *World Vulnerability Report*, New York.
170. United Nations Development Programme. (2004), *Reducing Disaster Risk: a Challenge for Development a Global Report*, New York: UNDP-Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BRCP), [<http://www.andp.or/bcpr/disred/rdr.htm>].
171. United Nations Disaster Relief Organization. (1979), *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, Report of Experts Group Meeting, Geneva.
172. Van Westen, C. J. (1994), "GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia" in Price, M and Heywood, I. (eds.), *Mountain Environments and Geographical Information*. Taylor and Francis, London, pp. 135-165.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

173. Van Westen, C. J., Rengers, N., and Soeters, R. (2003), "Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment", *Natural Hazards*, vol. 30, no.3, pp. 399–419.
174. Varnes, D. J. (1958). "Landslide type and processes", in Eckel, E. B. (ed.), *Landslides and engineering practice*. Special report no. 29. Highway Research Board, pp. 20-47.
175. Vázquez-Sánchez E. y Jaimes-Palomera, L. R. (1989), "Geología de la Cuenca de México", *Geofísica Internacional*, vol.28, núm. 2, p.p. 133-190.
176. Voogd, H. (1983), *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*, Pion, Londres.
177. Vries, D. H. (2007), "Being Temporal and Vulnerability to Natural Disasters" in Warner K (ed), *Perspectives on Social Vulnerability*. UNU Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS). Germany, pp.
178. Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R., Kinzig, A. (2004), "Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems". *Ecology and Society*, vol. 9, issue 2, [<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>].
179. Walter, J. (2004), *From risk to resilience helping communities cope with crisis in World Disasters Report. Focus and community resilient*, International Federation of Red Cross and Crescent Societies, pp. 11-35.
180. Westgate, K.N., O'Keefe, P. (1976). *Some Definitions of Disaster. Disaster Research Unit Occasional Paper No. 4*. Department of Geography, University of Bradford.
181. Wilches-Chaux. (1988), "La vulnerabilidad global", en Maskrey A (compilador), *Los Desastres no son naturales*, La RED. Estudios en Prevención de Desastres en América Latina. Tercer Mundo Editores. Colombia.
182. Wilches Chaux, G. (1989). *Desastres, Ecologismo y Formación Profesional*. SENA, Popayán. Colombia.
183. Wisner, B., Blaike, P., Cannon, T., and Davis I. (2004), *At Risk: Natural Hazards people's vulnerability and disaster*, Routledge. Taylor and Francis Group. London and New York.
184. Wisner, B.(2003), *Turning Knowledge into timely and Appropriate Action: Reflections on IADB/IDEA, Program of Indicators for Risk Management*, IDB/IDEA Program of

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Indicators for Risk Management, Manizales: National University of Colombia, [http://www.unalmz.edu.co/].
185. Whitman, R., Reed, J. W., and Hong, S. T. (1975), "Earthquake damage probability matrices", *Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering*, Roma.
186. WP/WLI, (1990), "A suggested method for reporting a landslide", *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, vol. 41, pp. 5-12.
187. Wu, C.H., Chen, S.C. (2009), "Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method", *Geomorphology*, vol. 112, issues 3-4, pp. 190–204.
188. Zaragoza-Zúñiga, N. (2006). *Procesos de ladera en la región de Cuetzalan: un enfoque geomorfológico*, tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
189. Zézere, J. L., Ferreira, A. B., Rodrigues, M. L. (1999), "Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering Factors". *Physics Chemistry of the Earth (A)*, vol. 24, no. 10, pp. 925-934.
190. Zinck, A. J. (1988), *Physiography and soils*. International Institute for Aerospace survey and Earth Sciences (ITC). Enschede. 156 p.
191. Zaruba, Q., and Mencl, V. (1969), *Landslides and their control*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Material cartográfico

1. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Cartas geológicas E14A38, A14A27 y E14A28, escala 1:50 000, del año 1975.
2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Cartas edafológicas E14A38, A14A27 y E14A28, escala 1:50 000 del año 1970.