



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

**SUSCEPTIBILIDAD A FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS EN LA RESERVA
DE LA BIÓSFERA MARIPOSA MONARCA**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
HAZZIEL PADILLA DOVAL

TUTOR:
DR. JOSÉ LÓPEZ GARCÍA
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX., JUNIO 2023



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 familia, todo es gracias a ustedes y para ustedes.

A Paulina y a...

...Teuhtli...

*...en tu nombre llevas mi profesión y pasión,
en tu existencia, mi corazón y mi ser.*

Te amo hijo.

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Programa de Posgrado en Geografía, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y permitirme concluir la presente investigación.

Al entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, ahora CONAHCyT, por haberme otorgado una beca durante mis estudios de maestría (CVU: 489100).

A mi tutor, Dr. José López García, mil gracias por su apoyo y confianza durante todos estos años, por su paciencia en la elaboración de esta tesis, pero sobre todo por brindarme su amistad.

A la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, por otorgarme su confianza y mostrarme el privilegio de trabajar por la justicia y el bien común.

A los miembros del sínodo: Dra. Irasema Alcántara Ayala, Dr. José Ramón Hernández Santana, Dr. Roberto Carlos Borja Baeza, Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez y Mtro. Jorge Enríquez Hernández. Por sus muy valiosos comentarios para con este trabajo.

A mis profesores de posgrado, les estoy profundamente agradecido por su inspiración, enseñanzas y apoyo. Han dejado una huella invaluable en mi vida.

A mis amigos, que la vida ha convertido en parte de mi familia, Pablo, Fabi, Huitzi, Ricardo, Alfonso, y sin duda otros que ahora escapan a mi memoria. Gracias por todos los momentos juntos.

A mis compañeros, Piedad, Andrés, César, Rubí y Karina, gracias por su ayuda y compañerismo. Sin su colaboración y aliento este logro simplemente no sería posible.

Índice

Índice de tablas.....	4
Índice de figuras	6
I. Introducción	8
II. Planteamiento del problema.....	10
III. Justificación	12
IV. Hipótesis	14
V. Objetivos	14
VI. Estructura capitular	15
Capítulo I. Marco conceptual.....	16
1.1 Definiciones y terminología	16
1.2 Los procesos de remoción en masa (PRM).....	18
1.2.1 Conceptualización	19
1.2.2 Factores de inestabilidad.....	20
1.2.3 Clasificación	21
1.2.4 Velocidad de desplazamiento.....	23
1.3 Aproximación a los flujos	24
1.3.1 Factores detonantes de los flujos.....	26
1.3.2 Clasificación de los flujos	26
1.3.3 Morfología de los flujos.....	29
1.4 Evaluación de la susceptibilidad a PRM	30
1.4.1 Aspectos metodológicos de la susceptibilidad a PRM	33
1.4.2 Métodos para la evaluación de la susceptibilidad	36
1.4.3 Métodos basados en datos (<i>Data-driven</i>)	37
1.4.4 Cálculo de valores ponderados	48
Capítulo II. La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	52
2.1 Caracterización del área natural protegida	52
2.2 Subsistema abiótico	54
2.2.1 Geología.....	54
2.2.2 Geomorfología.....	56
2.2.3 Hidrografía.....	63
2.2.4 Clima	65
2.3 Subsistema biótico	68

2.3.1 Edafología	68
2.3.2 Vegetación y usos del suelo.....	70
2.4 Subsistema antrópico.....	73
2.4.1 Demografía.....	74
2.4.2 Red de caminos.....	78
2.4.2 Tenencia de la tierra.....	79
Capítulo III. Materiales y métodos	81
3.1 Preparación de datos.....	81
3.2 Inventario	83
3.2.1 Trabajo de campo: Levantamiento del inventario.....	85
3.3 Parámetros de unidades ambientales, del relieve y antrópicos.....	88
3.3.1 Factores geológicos	88
3.3.2 Factor vegetación y usos de suelo	89
3.3.3 Factor edafología.....	90
3.3.4 Factores topográficos	91
3.3.5 Factores relacionados con el agua.....	92
3.3.6 Factores antrópicos	93
3.4 Geotecnia y otras propiedades de los suelos	94
3.4.1 Resistencia y compactación del suelo.....	95
3.4.2 Granulometría.....	98
3.4.3 Contenido de humedad	102
3.4.4 Límites de plasticidad	103
3.4.5 Conductividad hidráulica	104
3.4.6 Propiedades físicas y químicas	108
3.5 Cálculo de Pesos de Evidencia (WoE)	110
3.5.1 Prueba de independencia condicional (<i>Chi-cuadrada</i>).....	119
3.5.2 Modelado y evaluación mediante Curva ROC	120
Capítulo IV. Resultados y discusión	122
4.1 Análisis de la precipitación.....	122
4.1.1 Lluvias intensas.....	128
4.2 Caracterización de PRM	130
4.3 Análisis y modelación.....	136
4.3.1 Relaciones de la prueba de <i>chi-cuadrada</i>	138

4.3.2 Evaluación de modelos mediante Curva ROC	141
4.3.3 Selección del modelo	143
4.4 Susceptibilidad a flujos de lodo y escombros en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca	144
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	147
Bibliografía.....	149
Anexo 1. Estaciones climatológicas	160
Anexo 2. Fichas de campo	166

Índice de tablas

Tabla 1. Top 10 Países afectados por PRM.....	10
Tabla 2. Top 10 PRM más desastrosos en México	11

Capítulo I. Marco conceptual

Tabla 1. 1 Principales causas de los movimientos del terreno, según Cruden y Varnes (1996)	21
Tabla 1. 2 Clasificación de los PRM Fuente EPOCH (1993), a partir de Varnes (1978) y Hutchinson (1988). Tomado de Alcántara- Ayala, I. 2000.....	22
Tabla 1. 3 Escala de valores de los procesos de remoción en masa según Cruden y Varnes (1996)..	24
Tabla 1. 4 Consideraciones sobre los flujos, según Varnes (1978).	25
Tabla 1. 5 Clasificación de PRM tipo Flujo	29
Tabla 1. 6 Enfoques de análisis en relación con las escalas cartográficas.....	35
Tabla 1. 7 Métodos recomendados para la evaluación de la susceptibilidad basados en datos.....	37
Tabla 1. 8 Métodos recomendados para el análisis de susceptibilidad a diferentes escalas. Corominas et al., (2014).	40
Tabla 1. 9 Descripción general de las técnicas para la recopilación de información sobre PRM.....	42
Tabla 1. 10 Actividades requeridas para preparar un inventario de PRM	43
Tabla 1. 11 Fuentes y significados de los factores utilizados en el análisis	49
Tabla 1. 12 Descripción general de los factores que controlan la ocurrencia de PRM y su relevancia en la evaluación de la susceptibilidad y peligro para diferentes procesos	51

Capítulo II. La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

Tabla 2. 1 Unidades Geomorfológicas en la RBMM.....	58
Tabla 2. 2 Orden de corrientes que componen la hidrografía.	64
Tabla 2. 3 Clasificación climática de la RBMM, según sistema de modificación climática de Köppen modificado por Garcia.	67
Tabla 2. 4 Principales asociaciones de vegetación y uso de suelo.....	72
Tabla 2. 5 Población total de los municipios que integran la RBMM.....	74
Tabla 2. 6 Población por tipo de localidad en la RBMM.....	74
Tabla 2. 7 Crecimiento poblacional por tipo de localidad	75
Tabla 2. 8 Proporción de población por nivel de vulnerabilidad en cada municipio y estado	77

Capítulo III. Materiales y métodos

Tabla 3. 1 Capas de información utilizadas en el análisis, agrupadas por factores.	82
Tabla 3. 2 Clasificación de la densidad forestal respecto del porcentaje de cobertura.	89
Tabla 3. 3 Sondeos PANDA por cada PRM identificado.	97
Tabla 3. 4 Clasificación de las muestras de suelos de acuerdo a los Sistemas de Clasificación SUCS y AASHTO.	101
Tabla 3. 5 Textura del suelo de acuerdo a método de la Pipeta.	102
Tabla 3. 6 Valores obtenidos a límites de plasticidad en muestras realizadas.	104
Tabla 3. 7 Categorías de medios porosos usados para la estimación de α^* en el análisis del permeámetro de pozo de carga simple de Reynolds <i>et al.</i> , (1985).	107
Tabla 3. 8 Propiedades físicas en sitios seleccionados.	109

Tabla 3. 9 Propiedades químicas en sitios seleccionados.	109
Tabla 3. 10 Pesos calculados y ajustados por clase de factores (capa o variables), de acuerdo con el método de WoE	118
Tabla 3. 11 Tabla de contingencia de frecuencias.	119
Tabla 3. 12 Tabla de contingencia de sensibilidad y especificidad.	120

Capítulo IV. Resultados y discusión

Tabla 4. 1 Estaciones climatológicas con registros durante 2010.....	124
Tabla 4. 2 Propuesta de clasificación de PRM tipo flujo.....	133
Tabla 4. 3 Clasificación de los PRM analizados durante febrero de 2010	134
Tabla 4. 4 PRM totales de acuerdo con la Clasificación de Hungr <i>et al.</i> , (2001).	134
Tabla 4. 5 Estadísticas de <i>chi-cuadrado</i> por pares de 22 factores.....	139
Tabla 4. 6 Capas o variables de información utilizadas por modelo.	140
Tabla 4. 7 Evaluaciones de la precisión de los modelos de susceptibilidad basados en el enfoque del área bajo la curva.	143
Tabla 4. 8 Evaluaciones de la precisión de los modelos de susceptibilidad basados los datos de entrenamiento y validación	144
Tabla 4. 9 Rangos utilizados para representar las categorías de Susceptibilidad	144

Índice de figuras

Capítulo I. Marco conceptual

Figura 1. 1 Factores condicionantes y desencadenantes	19
Figura 1. 2 Flujos	24
Figura 1. 3 Flujo de escombros en Khumbu Himalaya, Nepal	27
Figura 1. 4 Un grupo de avalanchas de escombros provocadas por la tala y la construcción de carreteras en la costa oeste de la isla de Vancouver, Canadá	28
Figura 1. 5 Rasgos morfológicos de un flujo	30
Figura 1. 6 Representación esquemática de la metodología de evaluación espacial de riesgo a PRM	34
Figura 1. 7 Métodos para la evaluación de la susceptibilidad a PRM	35
Figura 1. 8 Tipos de modelos de susceptibilidad.....	39
Figura 1. 9 Relaciones entre PRM y factores utilizados en WoE	44

Capítulo II. La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

Figura 2. 1 Localización de la RBMM en el contexto nacional.	52
Figura 2. 2 Relieve y vegetación en la RBMM.....	53
Figura 2. 3 Unidades litológicas en la RBMM.....	55
Figura 2. 4 Unidades geomorfológicas de la RBMM.	59
Figura 2. 5 Hidrografía de la RBMM.	64
Figura 2. 6 Estaciones Climatológicas del SMN.....	65
Figura 2. 7 Climas en la RBMM.....	66
Figura 2. 8 Principales tipos de Suelo en la RBMM.	69
Figura 2. 9 Vegetación uso de Suelo en la RBMM.....	71
Figura 2. 10 Distribución de la Población en la RBMM.	73
Figura 2. 11 Grado de Vulnerabilidad Social por municipio en la RBMM.....	76
Figura 2. 12 Vialidades en la RBMM	78
Figura 2. 13 Propiedad o tenencia de la tierra en la RBMM.....	80

Capítulo III. Materiales y métodos

Figura 3. 1 Procesamiento de la información.	81
Figura 3. 2 Tipos de ubicaciones utilizadas para la elaboración de inventarios.	83
Figura 3. 3 Definición de los flujos a partir de fotografías aéreas orto-rectificadas.	84
Figura 3. 4 Procesos de remoción en masa de tipo flujos identificados a partir de fotografías aéreas orto-rectificadas.	85
Figura 3. 5 Ejemplo de ficha utilizada para el trabajo de campo.	86
Figura 3. 6 Recorridos de verificación en campo.	87
Figura 3. 7 Frecuencia de registros en Factores Geológicos	89
Figura 3. 8 Frecuencia de registros el Factor de vegetación y uso de suelo	90
Figura 3. 9 Frecuencia de registros en Factor Edafología.....	90
Figura 3. 10 Frecuencia de registros en Factores topográficos	92
Figura 3. 11 Frecuencia de registros en Factores relacionados con el agua	93
Figura 3. 12 Frecuencia de registros en Factores Antrópicos	94
Figura 3. 13 Esquema del equipo PANDA	95
Figura 3. 14 Ubicación de sondeos con Penetrómetro PANDA.	96
Figura 3. 15 Ejemplos de penetrogramas resultado de los sondeos PANDA.	98
Figura 3. 16 Sitios de colecta de muestras para pruebas de Geotécnica.	99

Figura 3. 17 Granulometría por muestra colectada en microcuenca río El Charco.....	101
Figura 3. 18 Relación entre infiltración y conductividad hidráulica.	105
Figura 3. 19 Ubicación de las pruebas de conductividad hidráulica.....	106
Figura 3. 20 Valores de conductividad hidráulica en microcuenca experimental, de acuerdo con su ubicación en los PRM.	107
Figura 3. 21 Ubicación de los sitios de colecta de las muestras de suelo para análisis químicos.	108

Capítulo IV. Resultados y discusión

Figura 4. 1 Sistemas meteorológicos que afectaron al país durante febrero de 2010	122
Figura 4. 2 Estaciones Climatológicas seleccionadas.....	125
Figura 4. 3 Periodos de observación por Estaciones Climatológicas seleccionadas.	126
Figura 4. 4 Precipitación promedio anual (PPA) de las Estaciones Climatológicas seleccionadas.	126
Figura 4. 5 a) Granizo en zona montañosa El Rosario, RBMM; b) Influencia del temporal como factor climático en la ocurrencia de PRM.	127
Figura 4. 6 Comparación entre precipitación promedio anual (PPA) y precipitación registrada durante febrero de 2010 en las Estaciones Climatológicas seleccionadas.....	127
Figura 4. 7 Precipitación acumulada del 31 de enero al 05 de febrero de 2010	128
Figura 4. 8 Precipitación promedio del 31 de enero al 05 de febrero de 2010.....	129
Figura 4. 9 Morfología de flujos identificados	131
Figura 4. 10 Porcentaje de materiales contenidos por sección del cauce en microcuenca experimental.	132
Figura 4. 11 Contenido de desechos orgánicos (madera) arrastrados por los flujos.	133
Figura 4. 12 Distribución de pesos de contraste (W_c) por clases de cada categoría (factores).	137
Figura 4. 13 Mapas de pesos de contraste (W_c) y distribución de frecuencias por Modelo.	141
Figura 4. 14 Evaluación de la exactitud de los modelos mediante Curvas ROC.	142
Figura 4. 15 Susceptibilidad a flujos de lodo y escombros en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.....	145

I. Introducción

La frecuencia con la que se presentan los fenómenos naturales en el planeta parece haber ido en aumento durante las últimas décadas, sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, ciclones, sequías, procesos de remoción en masa, entre otros, han dejado a su paso consecuencias negativas en las comunidades donde ocurren, sin embargo la explicación del incremento continuo en las pérdidas y su impacto en las economías puede encontrarse no necesariamente en el aumento del número de eventos naturales extremos, sino quizá en el crecimiento del número de pobladores, la infraestructura y los modos de producción, ubicados en zonas amenazadas y en condiciones de vulnerabilidad que los hace susceptibles a sufrir daños y pérdidas (CEPRENAC-PNUD, 2003), aunado al mayor monitoreo que existe sobre los fenómenos potencialmente destructivos, así como la mayor conectividad de la población a medios digitales, lo cual ha hecho posible contar con un amplio registro de la ocurrencia de estos eventos en todo el mundo.

Uno de los fenómenos naturales que parece presentarse con mayor frecuencia en muchas partes del mundo son los denominados procesos de remoción en masa (PRM), también conocidos como procesos gravitacionales, procesos de ladera, de inestabilidad de taludes y comúnmente denominados deslizamientos (Alcántara-Ayala, 1999), consistentes en el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra pendiente abajo, ocasionado por la influencia de la gravedad. Entre los tipos de PRM se encuentran los deslizamientos, caídas y flujos; Los flujos destacan respecto de otros tipos de procesos, por la velocidad de desplazamiento que pueden alcanzar, la cual puede llegar a ser de hasta decenas de kilómetros por hora (Cruden y Varnes, 1996). Estos fenómenos pueden clasificarse, en función del tipo de material transportado, en flujos de rocas, escombros y suelos, presentándose generalmente sobre laderas ubicadas en pendientes pronunciadas, y desencadenados por actividad sísmica y/o eventos de intensa precipitación. Volviendo prácticamente nula la capacidad de respuesta de las localidades, específicamente de sus habitantes y en la mayoría de los casos de sus autoridades.

Los efectos que causan estos fenómenos son comúnmente evaluados bajo distintos criterios, entre los que destacan las pérdidas humanas y las económicas, las cuales se ajustan en función de los daños ocasionados y el costo de la reconstrucción de las comunidades afectadas (Sanahuja-Rodríguez, 1999; Bitrán, 2001; Alcántara-Ayala, 2010; De la Cruz-Reyna, 2011). Otra aproximación para evaluar el efecto de los fenómenos naturales sobre las comunidades o territorios, es a través del impacto ambiental, cuyo método en el análisis del riesgo, no ha sido tan ampliamente desarrollado como los criterios socioeconómicos (UNISDR, 2005; Restrepo *et al.*, 2009; Alcántara-Ayala *et al.*, 2012).

La presente investigación analiza las condiciones medioambientales del área natural protegida denominada Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM), particularmente las ocurridas en año 2010, fecha en la que tuvieron lugar flujos de lodo y escombros que dejaron un gran número de afectaciones naturales, daños materiales, económicos, así como sensiblemente las pérdidas humanas en la región.

Algunos de los objetivos del estudio consisten en la identificación de la relación existente entre las variables ambientales y los factores detonantes que dieron lugar a dichos eventos; así como la necesidad de identificar áreas con condiciones naturales similares a las que presentaron esos fenómenos, y donde puedan tener lugar en el futuro, como una acción de sensibilización y prevención para la población, así como para las autoridades responsables de su atención.

De manera complementaria, tanto los datos, como los métodos de análisis utilizados en la presente investigación, integran un enfoque que pudiera resultar de interés para subsecuentes estudios a esta escala, en áreas donde tienen o pudieran tener lugar los procesos de remoción en masa tipo flujos.

II. Planteamiento del problema

En muchas regiones del planeta, los procesos de remoción en masa (PRM) son eventos poco frecuentes, o su ocurrencia es tan baja comparada con el tiempo de la vida humana, que los habitantes de esas zonas alcanzan una falsa sensación de seguridad ante estos fenómenos (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

De acuerdo con Alcántara-Ayala *et al.*, (2006), a lo largo del siglo XX, los PRM provocaron más de 50.000 víctimas, afectando a casi 10 millones de habitantes, lo cual implicó pérdidas económicas que ascendieron a más de 3,500 millones de dólares estadounidenses. Con la excepción de África, Australia y la Antártida, entre 1903 y 2003, varios países de los continentes americano, asiático y europeo, sufrieron gran cantidad de pérdidas, incluso humanas, a casusa de estos procesos (Tabla 1).

Base de Datos EM-DAT: OFDA/CRED		
País	Fecha	Descensos
Unión Soviética	1949	12,000
Perú	1941	5,000
Honduras	1973	2,800
Perú	1962	2,000
Italia	1963	1,189
India	1968	1,000
Colombia	1987	640
Perú	1971	600
Rep. Pop. China	1934	500
India	1948	500
País	Fecha	Afectados
Brasil	1966	4,000,000
India	1986	2,500,000
India	1995	1,100,000
Nepal	2002	265,865
Indonesia	2003	229,548
Filipinas	2003	217,988
India	1998	200,000
Bolivia	1994	165,000
Brasil	2000	143,000
Chile	1991	82,811

Tabla 1. Top 10 Países afectados por PRM. Fuente: Alcántara-Ayala *et al.*, (2006)

Los PRM no son ajenos al territorio mexicano, el cual se caracteriza por contar con grandes extensiones de relieve montañoso, sobre los cuales se encuentran algunos de las ciudades más pobladas del país, así como diversas localidades. De acuerdo con Alcántara-Ayala (2008), entre 1935 y 2006, los desastres por PRM en México causaron más de 3,500 muertes (Tabla 2). Tales desastres se han asociado principalmente a eventos de precipitación intensa derivados de huracanes, tormentas tropicales y sus interacciones con

frentes fríos, aunque la actividad sísmica también ha provocado PRM, estos se han relacionado en menor medida.

Base de Datos EM-DAT: OFDA/CRED		
Localidad, Estado, Región	Fecha	Descensos
La Paz, Baja California Sur	1976	1,000
Minatitlán, Colima	1959	871
Sierra Norte de Puebla	1999	247
Acapulco, Guerrero	1997	228
Tlalpujahua, Michoacán	1937	176
Motozintla, Chiapas	1998	171
San Pedro Atocpan, CDMX	1935	150
Valdivia, Chiapas	1998	150
Atentique, Jalisco	1995	100
Papantla, Veracruz	1999	60

Tabla 2. Top 10 PRM más desastrosos en México. Fuente: Alcántara-Ayala (2008).

Ejemplo de lo anterior, es lo ocurrido durante el mes de febrero del año 2010, en la región oriente del estado de Michoacán y el occidente del estado de México, donde la intensa y prolongada precipitación desencadenó inundaciones y PRM, que desafortunadamente cobraron la vida de más de 35 personas, dejaron cerca de 20,000 damnificados, y ocasionaron significativas pérdidas materiales y económicas en la región (La Jornada Michoacán, 2010).

De acuerdo con las condiciones del medio natural en la región, así como la importancia de la conservación de los santuarios donde se ubican los sitios de hibernación y reproducción de la Mariposa Monarca, la misma se encuentra catalogada como Área Natural Protegida, en la categoría de Reserva de la Biósfera denominada Mariposa Monarca (RBMM). Por lo que se trata de una importante área biogeográfica a nivel internacional, caracterizada por un ecosistema no alterado significativamente y en el cual habitan especies representativas de la biodiversidad, algunas de ellas, consideradas como endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

Caracterizada por un sistema montañoso discontinuo, compuesto por un conjunto de sierras y lomeríos de relieve accidentado, el predominio de fuertes pendientes y alta permeabilidad del suelo, la zona es una importante área de captación de agua, que alimenta manantiales, presas y cuerpos de agua en los estados de Michoacán y de México, mismos que abastecen a los centros urbanos y localidades de la región, así como a las ciudades de México y Toluca; Por lo que además de tratarse de un sitio de alto valor medioambiental, con un considerable potencial turístico emblemático del país, fuente de recursos y abastecimiento a dos grandes centros de población, diversas localidades y un sinnúmero de habitantes, los cuales están expuestos a condiciones muy similares a las presentadas en el desastre de Angangueo, resulta imprescindible lograr una aproximación de otros sitios de la región, donde pudieran presentarse fenómenos como los ocurridos en febrero de 2010.

III. Justificación

De manera general, el estudio de los fenómenos naturales ha tomado importancia a nivel mundial, principalmente dado el costo de las pérdidas y de la recuperación en las comunidades afectadas. Así mismo, el hecho de que estos fenómenos sean aparentemente más incisivos en los países en vías de desarrollo, truncando o dificultando las condiciones de vida de sus habitantes; hace de este tipo de estudios, una herramienta imprescindible para ahondar en las particularidades de cada fenómeno estudiado, probablemente llegarlo así a comprenderlo mejor y desarrollar medidas o estrategias que disminuyan sus efectos negativos.

La importancia de la presente investigación radica en la zonificación de las áreas susceptibles ante fenómenos de inestabilidad de laderas, específicamente del tipo flujos, como los ocurridos en la región del oriente del estado de Michoacán y poniente del estado de México durante febrero de 2010.

Como referencia, entre los días 2 al 5 de febrero del 2010, se presentó un amplio sistema de tormentas de baja presión provenientes del océano Pacífico, el cual ocasionó lluvias intensas en el centro-occidente de México, afectando particularmente al Estado de Michoacán, y especialmente la cuenca del sistema Cutzamala (Con base en datos del Servicio Meteorológico Nacional). Estos fenómenos meteorológicos provocaron lluvias intensas en las cuencas de los ríos Cutzamala, Lerma-Toluca y Tacámbaro.

La intensidad de la lluvia, aunado a la excepcional fecha en que ocurrieron los hechos, ocasionó la abrupta erosión en las zonas altas de las cuencas hidrográficas, lo que derivó en la formación de procesos de remoción en masa, principalmente en los municipios de Angangueo, Ocampo y Tuxpan, en el estado de Michoacán, y San José del Rincón, estado de México, ocasionando el arrastre de materiales (árboles, rocas, suelo y escombros) pendiente abajo. Cifras del material removido se calculan por encima de medio millón de metros cúbicos, solo para la microcuenca del río Puerco, Angangueo, afectando directamente todo aquello que estuviera a su paso y generando inundaciones en las partes bajas de la cuenca, principalmente en las localidades, ahí asentadas (López-García y Alcántara-Ayala, 2012).

Los reportes oficiales del gobierno del estado de Michoacán reconocieron 5 municipios afectados (Angangueo, Ocampo, Tiquicheo de Nicolás Romero, Tuxpan y Tuzantla), cuantificando en la región medio centenar de hospitalizados, más de 20,000 damnificados, cerca de 4,000 viviendas dañadas y 280 colapsadas, 35 muertos y 50 desaparecidos; así como daños a más de 700 kilómetros de vías rurales, 6 puentes colapsados, la pérdida del 95% de los cultivos de la región (40 mil ha), perjudicando así a más de 3'000 agricultores (La Jornada Michoacán, 2010).

Tan solo en el municipio de Angangueo el 80% de las viviendas resultaron dañadas, mientras que se reportaron decenas de desaparecidos, más de 3,000 damnificados y el número de decesos fue de 19 personas.

Los sectores más dañados se tuvieron en la infraestructura (principalmente las carreteras, el agua potable, drenaje y energía eléctrica), así como los servicios de emergencias, de salud pública y atención médica, y el turismo; igualmente quedaron afectados sectores productivos como la agricultura y la cría de truchas. Cabe resaltar el sector turístico como uno de los más afectados, por ser una región que recibe a miles de personas que visitan los santuarios de hibernación de la mariposa Monarca durante la temporada invernal, que abarca de noviembre a marzo, dado que los accesos quedaron inhabilitados.

Ahora bien, de acuerdo con el enfoque de la gestión integral de riesgos, la generación de información o conocimiento sobre un fenómeno natural, así como la determinación del peligro o la amenaza que representa para una población potencialmente expuesta, es el punto de partida para su aplicación. Por lo anterior, es que la presente investigación plantea determinar la susceptibilidad a flujos de lodo y escombros en la región de la Mariposa Monarca; con base en la información disponible de los eventos ocurridos en febrero de 2010, así como la caracterización de los elementos del medio natural, haciendo uso de técnicas de percepción remota, estadísticas e informáticas, lo anterior, en la identificación de áreas potencialmente sensibles de presentar estos fenómenos naturales.

Es decir, la presente investigación abona al desarrollo de conocimiento sobre el peligro o la amenaza, cuyo análisis encuadra entre una de las estrategias de la prevención, la cual, puede ser de utilidad en futuros trabajos de investigación y servir como referencia en la elaboración de instrumentos o acciones ante estos fenómenos; tales instrumentos como son los de planificación y ordenamiento territorial, reguladores del desarrollo urbano, los usos y aprovechamientos del suelo, así como, los de prevención y atención de emergencias o incluso los sistemas de alertamiento, solo por mencionar algunos de los cuales, toman como referencia la zonificación de la amenaza.

IV. Hipótesis

Dadas las similares condiciones del medio natural en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, es posible, que de presentarse lluvias como las acontecidas durante los primeros días del mes de febrero de 2010, existan otras áreas en el Área Natural Protegida donde pudieran tener origen nuevos procesos de remoción en masa de tipo flujo.

V. Objetivos

General

- Identificar y cartografiar las zonas susceptibles a flujos de lodo y escombros en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.

Particulares

- Determinar la influencia de los fenómenos hidrometeorológicos ocurridos durante la primera semana de febrero de 2010, en la región oriente de Michoacán y poniente del estado de México, como detonante de los procesos de remoción en masa.
- Realizar un inventario de los procesos de remoción en masa y clasificarlos de acuerdo con sus principales características.
- Evaluar la influencia de las unidades ambientales respecto de la ocurrencia de los flujos en la RBMM.
- Determinar la exactitud del método de evaluación de la susceptibilidad a inestabilidad de laderas seleccionado.

VI. Estructura capitular

El presente trabajo denominado “Susceptibilidad a flujos de lodo y escombros en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca: Análisis y modelación”, está compuesto por cinco capítulos, además de la introducción, en donde se plantea la problemática analizada y los objetivos de la investigación.

El **primer capítulo** corresponde al marco teórico-conceptual; en él se enmarcan algunos de los principales términos establecidos para el estudio de riesgos a nivel global, así mismo se abordan aquellos conceptos que definen los procesos de remoción en masa y en particular a los flujos: los factores involucrados en su desarrollo, clasificación y morfología. Por otro lado, se lleva a cabo una aproximación a los materiales y métodos empleados para el análisis de la susceptibilidad a estos fenómenos naturales, con la finalidad de alcanzar los objetivos establecidos en esta investigación.

El **capítulo segundo**, versa sobre la caracterización de cada subsistema que integra el área en estudio; Se abordan las principales características del medio biótico (Edafología y Vegetación), abiótico (Geología, Geomorfología, Hidrografía y Clima), y antrópico (Demografía, red vial y tenencia de la Tierra), cada variable es descrita en correlación con la problemática planteada.

El **capítulo tercero** se desarrolla mediante una descripción alusiva al conjunto de técnicas, insumos y herramientas utilizados para dar cumplimiento a los objetivos de la presente investigación. Partiendo desde la selección de la técnica utilizada, el diseño del trabajo de campo, la definición y compilación de los parámetros a integrar en la evaluación de la susceptibilidad, hasta el cálculo y la interpretación de todos los valores paramétricos; así como la realización de pruebas de laboratorio para identificar de mejor manera los procesos de remoción en masa analizados, y lograr en cierto modo, enfocar dicha información hacia su pronóstico.

El **cuarto capítulo** muestra los resultados obtenidos, se presenta el análisis de las lluvias intensas como mecanismo detonante de la ocurrencia de los procesos de remoción en masa de tipo flujo; se lleva a cabo la identificación y caracterización de los procesos de remoción en masas en función de los materiales que los integran y sus propiedades diagnósticas, a través de las cuales, favorecen la aplicación de análisis estadísticos utilizando las unidades ambientales, del relieve y antrópicas, involucrados en la evaluación de la susceptibilidad. La última parte de este apartado se enfoca en la valoración de los modelos obtenidos.

Finalmente, el **capítulo quinto** se refiere a las conclusiones obtenidas del trabajo realizado, se hace referencia a los objetivos planteados en la investigación y, se plantean algunas líneas de acción a considerar en futuros trabajos relacionados con los fenómenos analizados.

Capítulo I. Marco conceptual

1.1 Definiciones y terminología

Las definiciones de los términos utilizados en el presente trabajo para la zonificación de procesos de remoción en masa (PRM), se basan en las definiciones de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR; Por sus siglas en inglés) del año 2009, tiene como propósito promover un entendimiento y la utilización en común de conceptos relativos a la reducción del riesgo de desastres, al igual que prestar asistencia a los esfuerzos dirigidos a la reducción del riesgo de desastres por parte de las autoridades, los expertos y el público en general (UNISDR, 2009).

Amenaza o peligro. Fenómeno, sustancia, actividad humana o condición perjudicial que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Desastre. Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.

Con frecuencia, se describe a un desastre como el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad presentes, y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas. El impacto de los desastres puede incluir muertes, lesiones, enfermedades y otros efectos negativos en el bienestar físico, mental y social humano, conjuntamente con daños a la propiedad, la destrucción de bienes, la pérdida de servicios, trastornos sociales y económicos, y la degradación ambiental.

Prevención. La evasión absoluta de los impactos adversos de las amenazas y de los desastres conexos. La prevención (de desastres) expresa el concepto y la intención de evitar por completo los posibles impactos adversos mediante diversas acciones que se toman con anticipación. Entre los ejemplos se incluyen la construcción de represas y de muros de contención para eliminar el riesgo de las inundaciones; reglamentaciones sobre el uso de los suelos que no permiten el establecimiento de asentamientos en zonas de alto riesgo.

Pronóstico. Una declaración certera o un cálculo estadístico de la posible ocurrencia de un evento o condiciones futuras en una zona específica. En meteorología, un pronóstico se refiere a una condición futura, en tanto que una alerta se refiere a una condición futura potencialmente peligrosa.

Riesgo. La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas.

Servicios de los ecosistemas. Los beneficios que obtienen de los ecosistemas las personas y las comunidades. Esta definición se extrae de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Entre los beneficios que pueden ofrecer los ecosistemas se encuentran los denominados “servicios de regulación”, tales como la regulación de las inundaciones, las sequías y la degradación de los suelos, al igual que los “servicios de provisión”, tales como los alimentos y el agua; los “servicios de apoyo”, tales como la formación del suelo y el ciclo de nutrientes; y los “servicios culturales”, tales como los beneficios recreativos, espirituales, religiosos y otros que no son materiales. La gestión integral de los suelos, del agua y de los recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible sienta las bases para mantener los servicios de los ecosistemas, incluidos aquellos que contribuyen a reducir el riesgo de desastres.

Sistema de alerta temprana. El conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por una amenaza se preparen y actúen de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños.

Vulnerabilidad. Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Existen diversos aspectos de la vulnerabilidad que surgen de varios factores físicos, sociales, económicos y ambientales. Entre los ejemplos se incluyen el diseño inadecuado y la construcción deficiente de los edificios, la protección inadecuada de los bienes, la falta de información y de concientización pública, un reconocimiento oficial limitado del riesgo y de las medidas de preparación y la desatención a una gestión ambiental sensata o prudente. La vulnerabilidad varía considerablemente dentro de una comunidad y en el transcurso del tiempo.

Ahora bien, debido a los objetivos de la presente investigación, es necesario particularizar en algunos de los conceptos ya mencionados, precisiones a las definiciones retomadas de Robin Fell *et al.*, (2008), adoptadas internacionalmente y propuestas por el Comité Técnico de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (ISSMGE; Por sus siglas en inglés) sobre los siguientes términos:

Amenaza por PRM. Si bien es la condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable. La descripción del peligro debe incluir la ubicación, volumen (o área), clasificación y velocidad de los posibles fenómenos y cualquier material desprendido resultante, y la probabilidad de que ocurran dentro de un período determinado.

Es importante destacar que el presente trabajo únicamente tendrá como objetivo el análisis de la amenaza y las características enunciadas en la definición anterior.

Vulnerabilidad a PRM. El grado de pérdida de un elemento dado o conjunto de elementos dentro del área afectada por el PRM. Para los bienes, la pérdida será el valor del daño relativo al valor de los bienes; para las personas, será la probabilidad de que se pierda una vida en particular.

Zonificación de PRM. La división de la tierra en áreas o dominios homogéneos y su clasificación de acuerdo con los grados de susceptibilidad, peligro o riesgo real o potencial de PRM o la aplicabilidad de ciertas condiciones relacionadas.

Susceptibilidad a PRM. Implica la clasificación, el área o el volumen (magnitud) y la distribución espacial de los PRM existentes y potenciales en el área de estudio. También puede incluir una descripción de la distancia de viaje, la velocidad y la intensidad de los PRM existentes o potenciales. La zonificación de la susceptibilidad a los PRM generalmente involucra el desarrollo de un inventario de los que han ocurrido en el pasado junto con una evaluación de las áreas con potencial para experimentar PRM en el futuro, pero sin una evaluación de la frecuencia (probabilidad anual) de ocurrencia. En algunas situaciones, la zonificación de susceptibilidad deberá extenderse fuera del área de estudio que se está evaluando, derivado de la necesidad de cubrir áreas propensas a fallar, las cuales pueden transportarse o retroceder del área que se está analizando.

1.2 Los procesos de remoción en masa (PRM)

Los procesos de remoción en masa son eventos que pueden presentarse en la mayoría de los países del mundo (Garnica-Peña, 2003), ya que el 80% de la tierra firme consiste en laderas que poseen una inclinación que favorece la remoción de partículas y solo el 20% de la superficie terrestre tiene menos de dos grados de inclinación (Leontiev y Richagov en Lugo-Hubp, 1988).

Los PRM están clasificados entre los fenómenos naturales más frecuentes de nuestro planeta, lo cual representa una de las mayores amenazas para la vida y bienes materiales de la población. Derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos ocurren día con día alrededor del mundo.

Cada año la ocurrencia de estos procesos ocasiona numerosas víctimas, heridos y damnificados, así como cuantiosas pérdidas económicas. El impacto que este tipo de peligros provoca, es de mayor magnitud en países de escasos recursos, debido a su alto grado de vulnerabilidad. Para prevenir futuros desastres asociados a inestabilidad de laderas, es de suma importancia que todos los miembros de la población conozcan este fenómeno y se mantengan atentos a las manifestaciones que lo preceden y los factores que lo generan (Alcántara-Ayala *et al.*, 2001).

En la mayoría de los casos, las causas que detonan la inestabilidad de laderas son las lluvias intensas y prolongadas, los sismos fuertes, la actividad volcánica y, en ocasiones, la combinación de ellas; para que ello suceda, se requiere que los fenómenos que los originan interactúen con las características geológicas, tectónicas y geomorfológicas de la ladera, así como las propiedades mecánicas de los materiales que lo componen, hasta provocar su falla. Sin embargo, también existen causas que desencadenan la inestabilidad, como las que son provocadas por la actividad humana, las denominadas antropogénicas o antrópicas, entre las que destacan la actividad minera, cambios en la geometría de las

laderas por construcciones, la alteración de la cubierta vegetal y la deforestación, también influyen sobre la dinámica de una ladera. Los PRM en México han sido detonados en su mayoría, por lluvias intensas y prolongadas (Alcántara-Ayala, 2008).

1.2.1 Conceptualización

De manera general, los PRM forman parte de los denominados procesos gravitacionales, definidos por Pedraza como: el desplazamiento de materiales en las vertientes, sin intervenir ningún soporte activo o medio para movilizarlos, es decir, impulsados por su propio peso; corresponde, por tanto, a una “*autotraslación*” bajo la acción directa de la gravedad que, en estas circunstancias, deberá considerarse un agente específico más (De-Pedraza, 1996).

Estos procesos gravitacionales han sido nombrados muchas veces como procesos de ladera, inestabilidad de taludes, procesos de remoción en masa y comúnmente como deslizamientos; llegando este último término a manejarse como sinónimo de un tipo de proceso en particular, creando confusiones al definirse y pasar del inglés al castellano (Alcántara-Ayala, 2000).

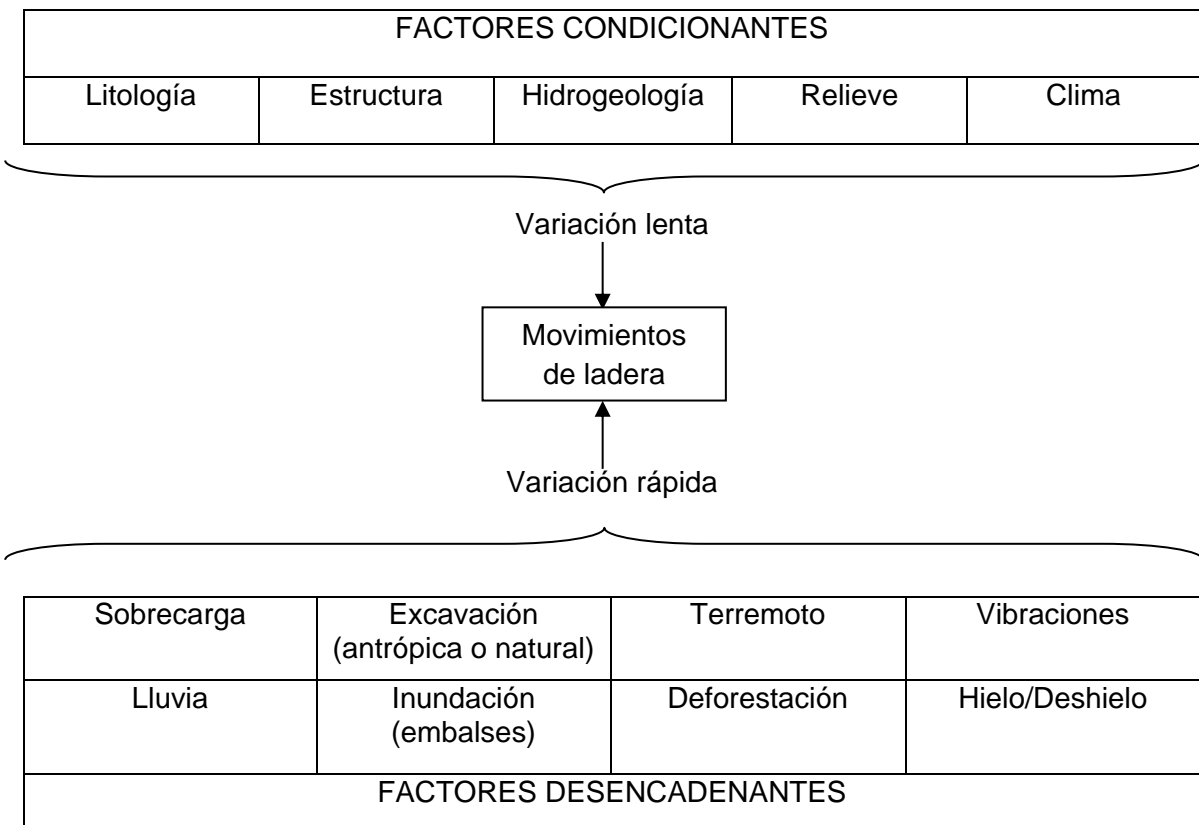


Figura 1. 1 Factores condicionantes y desencadenantes. (Ayala-Carcedo *et al.*, 2002)

Para este trabajo, se utilizó el término proceso de remoción en masa (PRM) que será entendido como todo aquel que se presenta en el terreno, el cual se desliza ladera abajo

y hacia el exterior y puede estar compuesto por una masa de roca, detritos o suelo, bajo la influencia de la fuerza de gravedad (Cruden 1991; Cruden y Varnes 1996; Hutchinson 1988; Varnes 1978; WP/WLI 1990, 1991, 1993a y b).

1.2.2 Factores de inestabilidad

Los PRM ocurren debido a la conjunción de las fuerzas que distintos agentes ejercen sobre el terreno, algunas de estas fuerzas en principio dan cohesión al terreno, pero en algunas ocasiones esas y otras fuerzas pueden desestabilizarlo.

En 1950, Terzaghi diferenció dos fuerzas fundamentales que participan en mayor o menor grado de acuerdo con el medio en que estas favorezcan el proceso gravitacional; Las internas, también llamadas resistentes o motoras y las externas también denominadas condicionantes o desencadenantes (Figura 1.1).

Las fuerzas internas son las que evolucionan lentamente y disminuyen la resistencia de los materiales sin cambiar la tensión o esfuerzos, en tanto que las fuerzas externas varían con más rapidez y producen un incremento en la tensión o esfuerzos, pero no en la resistencia de los materiales (Terzaghi, 1950). Lo que indica que las causas internas alteran la resistencia de los materiales del terreno y las causas externas aumentan la tensión, ocasionando debilidad del mismo (Alcántara-Ayala *et al.*, 2001).

Los factores internos son: principalmente la litología ya que a partir de ésta se definen otros rasgos del terreno, cambios en las características de los materiales, como en su composición, textura, grado de intemperismo y las características físico-químicas.

Los factores externos que funcionan como promotores del proceso son: la geometría de la ladera, el cambio de peso por actividades humanas, vibraciones naturales o artificiales, variación en el régimen hidrológico y cambios de uso de suelo o urbanización, por mencionar algunos.

De modo tal, estos factores externos son alterados fuertemente por el ser humano, ya que éste transforma rápidamente el equilibrio natural del entorno, lo que deriva activamente en la modificación de la estabilidad de las laderas. Por ejemplo, la actividad minera mal planeada o las excavaciones en zonas inadecuadas para la construcción, modifican sustancialmente la forma de la ladera y ocasiona inestabilidad.

Por otro lado, los procesos de deforestación modifican la estructura e hidrología del suelo, y un ambiente altamente modificado por la actividad humana es más susceptible a la ocurrencia de procesos de remoción (Alcántara-Ayala *et al.*, 2001).

Cruden y Varnes (1996) agrupan una serie de factores que intervienen en la inestabilidad de laderas, los cuales se muestran en la tabla 1.1.

Los procesos de remoción en masa ocurren por la combinación de este tipo de factores, ya que contribuyen en diferentes grados en la inestabilidad, sin embargo, según ciertas circunstancias, algunos de estos elementos pueden ser considerados como desencadenantes; por ejemplo, la presencia de lluvias extraordinarias en materiales permeables (Alcántara Ayala, 2000).

Causas de índole geológica	Causas por procesos físicos
Materiales débiles Materiales sensibles Materiales intemperizados Materiales sujetos a cizallamiento Materiales con fisuras y diaclasas Discontinuidades orientadas adversamente (esquistosidad, planos de inclinación) Discontinuidades estructurales (fallas, discordancias, contactos) Permeabilidad contrastante Contraste de materiales con diferente plasticidad	Precipitación intensa Derretimiento de nieve o hielo Eventos de precipitación extraordinarios Actividad sísmica Erupciones volcánicas Gelifracción Expansión e hidratación de arcillas
Causas morfológicas	Causas Antrópicas
Levantamientos tectónicos o volcánicos Erosión glacial Erosión fluvial al pie de las laderas Erosión marina al pie de los acantilados Erosión glacial al pie de las laderas Erosión en márgenes laterales Erosión subterránea Remoción de la vegetación (por incendios y sequías)	Excavación de laderas o del pie de las laderas Incremento de peso en las laderas Deseccación de cuerpos de agua (presas) Deforestación Irrigación Actividad minera Vibraciones artificiales

Tabla 1. 1 Principales causas de los movimientos del terreno, según Cruden y Varnes (1996).

Fuente: (Alcántara- Ayala, I., 2000)

1.2.3 Clasificación

De los diversos tipos de PRM, hay algunos que por su magnitud y velocidad resultan catastróficos. Estos últimos ocurren de forma esporádica, a diferencia de otros permanentes en la superficie de la Tierra (Lugo-Hubp, 1992).

El llevar a cabo una clasificación de estos procesos facilita su estudio, el cual incluye diagnosticar las propiedades de los materiales, la influencia que dichos materiales guardan entre sí, y su influencia en la estabilidad o inestabilidad; destacando con ello, la importancia de prever la magnitud, el alcance y la velocidad del material en caso de ser removido.

Diversos autores han basado sus investigaciones, en la clasificación de los procesos mediante aspectos como: los atributos morfológicos de los movimientos, tanto de la superficie de ruptura como del área de depósito (Skempton, 1953; Blong, 1973; Brunsdén, 1973; Crozier, 1973); en el tipo de velocidad y movimiento (Sharpe, 1938; Ward, 1945; Hutchinson, 1968; Coates, 1977; Varnes, 1978).

Mecanismos de movimiento	Tipo de material involucrado		
	Tipo	Roca (<i>rock</i>)	Derrubios (<i>debris</i>)
Desprendimientos o caída (<i>fall</i>)	Caída o desprendimiento de rocas (<i>rockfall</i>)	Caída o desprendimiento de derrubios (<i>debris fall</i>)	Caída 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>sucesive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>múltiple</i>) Sucesivo (<i>sucesive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>múltiple</i>) Sucesivo (<i>sucesive</i>)
Deslizamiento translacional o de bloques-no rotacional (<i>translational slide, non-rotational</i>)	Deslizamiento de roca en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento de derrubios en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento translacional de 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>)	Flujo de rocas (<i>rock flow</i>)	Flujo de escombros o Corriente 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 spre ad</i>)	Expansiones laterales en suelos (<i>soil spreading</i>)
Complejo (<i>complex</i>)	Alud de rocas (<i>rock avalanche</i>)	Flujo deslizante (<i>flow slide</i>)	Rotación con flujo de tierras (<i>slump-earthflow</i>)

Tabla 1. 2 Clasificación de los PRM Fuente EPOCH (1993), a partir de Varnes (1978) y Hutchinson (1988). Tomado de Alcántara- Ayala, I. 2000.

Otros autores lo han hecho por el tamaño y tipo de los materiales involucrados (Zaruba y Mencl, 1969; Coates, 1977; Varnes, 1978); antigüedad de movimiento (Zaruba y Mencl, 1969); grado de actividad (Erskine, 1973); y tipo climático (Sharpe, 1938; Hutchinson, 1968).

La clasificación elaborada por el programa EPOCH (European Community Programme, 1993) ha sido aceptada a nivel mundial y traducida al castellano por Alcántara Ayala (2000). Esta categorización utiliza la clasificación hecha por Varnes (1978), basada en el mecanismo de movimiento, y se complementa con la hecha por Hutchinson (1968), apoyada en el tipo de material involucrado.

De acuerdo con esta clasificación (Tabla 1.2), se cuenta con los diferentes tipos de movimientos; caída, vuelco, deslizamiento, flujo, expansión lateral, y los movimientos complejos; que en conjunto se subdividen de acuerdo con los materiales asociados al terreno que pueden ser de roca, detritos o derrubios y suelo.

1.2.4 Velocidad de desplazamiento

Un elemento de relevante importancia en el estudio de los PRM es la velocidad con la cual se desplaza cada proceso (Tabla 1.3), puesto que no todos actúan de la misma forma, ni transportan la misma cantidad de material. Esta característica permite deducir a través de monitoreo, el tipo de impacto que puede tener sobre el territorio en que se desarrolle, es decir que mientras más adecuada sea la clasificación del proceso que se presenta, mejor puede ser el pronóstico del alcance del proceso.

Velocidad	Clasificación de la Velocidad	Límites de velocidad	Descripción de la velocidad	Naturaleza del impacto
3 m/s	7	5 m/s	Extremadamente rápido	Catástrofe de gran violencia, edificios totalmente destrozados y descenso de la población por el impacto del material desplazado, o por la disgregación del material desplazado
0.3 m/min	6	3m/min	Muy rápido	Pérdida de algunas vidas debido a que la velocidad del movimiento es muy rápida para permitir que las personas escapen, gran destrucción
1.5 m/día	5	1.8 m/hora	Rápido	Posible escape y evacuación, estructura, posesiones y equipo destruido por la masa desplazada
1.5m/mes	4	13m/mes	Moderado	Las estructuras pueden ser mantenidas si están localizadas a una distancia considerable de la masa desplazada
1.5/año	3	1.6/año	Lento	Carreteras y estructuras poco sensibles pueden ser mantenidas a través de frecuente trabajo de mantenimiento, si el movimiento no es de larga duración y los movimientos diferenciales a lo largo de las márgenes del movimiento están distribuidos a lo largo de una zona ancha
0.06m/año	2	0.016m/año	Muy lento	Algunas estructuras permanentes no son dañadas y si son agrietadas por el movimiento, pueden ser reparadas

>0.06m/año	1	Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con precaución
------------	---	-----------------------------	--

Tabla 1. 3 Escala de valores de los procesos de remoción en masa según Cruden y Varnes (1996).
Fuente: Alcántara Ayala (2000).

1.3 Aproximación a los flujos

Una de las primeras monografías dedicadas a este tipo específico de PRM es la referida en el libro austriaco Die Muren de Stiny (1910), en donde define al flujo de escombros como una inundación en el cauce de las montañas, que transporta cargas suspendidas y en el fondo, fluyendo como lava hacia el valle. En los Estados Unidos, Sharpe (1938) hizo una distinción entre flujos de escombros y avalanchas de escombros. En el caso del primero, la definición es muy similar a la de Stiny, como un flujo rápido de escombros saturados sin clasificar en un canal empinado, y respecto al segundo, como un deslizamiento de tierra rápido y poco profundo desde una pendiente pronunciada, cuya morfología se asemeja a la de una avalancha de nieve (no menciona ningún canal o flujo de inundación). Varnes mantuvo la misma división básica en sus influyentes trabajos sobre la clasificación de deslizamientos (Varnes, 1954, 1978) y, por lo tanto, quedó bastante bien establecido en el uso norteamericano (Tabla 1.4).

Varnes definió a los flujos (Figura 1.2) como movimientos continuos, donde las partículas viajan de manera independiente sobre la masa en movimiento. El movimiento de los flujos es muy parecido al de un líquido viscoso, razón por la que la distribución de las velocidades no es homogénea (Fuente: EPOCH, 1993. a partir de Varnes (1978) Tomado de Alcántara-Ayala, 2000).

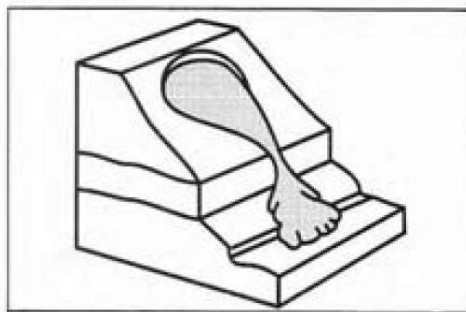


Figura 1. 2 Flujos (WP/WLI, 1990).

De acuerdo con Varnes (1978), los flujos envuelven todos los tipos de materiales disponibles y se clasifican con base en su contenido, por tanto, se dividen en flujos de rocas (*rocks flows*), son producidos por el acomodo de bloques rocosos que componen la ladera por efecto de gravedad.

Tasa de movimiento	Rocas	Escombros (<80 % de arena y más finos)	Tierra (>80 % de arena y más finos)
Rápido y muy rápido (>1.5 m/día)	Flujo de rocas (arrastre, por pendiente)	Flujo de escombros	Flujo húmedo de arena y limo
		Avalancha de escombros	Flujo rápido de tierra
			Flujo de Loess Flujo de arena seca
Menos rápido (<1.5 m/día)		Soliflucción	Flujo de tierra
		Deslizamiento del suelo Corriente de bloques	

Tabla 1. 4 Consideraciones sobre los flujos, según Varnes (1978).

Los flujos de escombros (*debris flows*) son uno de los PRM más frecuentes y juegan un papel importante en el movimiento de sedimentos en relieves montañosos hacia los sistemas fluviales (Rapp, 1960). Son movimiento de materiales extremadamente rápidos, similares a un torrente, que viaja a través de un canal empinado y establecido, e involucra una mezcla saturada y sin clasificar de suelos granulares, orgánicos y otros escombros (Miccadei *et al.*, 2022), y finalmente están los flujos de arena o suelo (*soil flows*) que suelen ocurrir en arenas con alto contenido de limos y arcillas, donde las arcillas se remodelan con agua formando un licue-fluido, donde su estructura de cohesión colapsa y se comporta como un fluido (Dikau *et al.*, 1996; New Zeland, 2005).

En Inglaterra, Hutchinson (1968) también reconoció el flujo de detritos, dividiéndolo luego en variedades canalizadas y de ladera (Hutchinson, 1988) correspondientes respectivamente al flujo de detritos y la avalancha de detritos de Varnes. Al mismo tiempo, algunos autores prefirieron el término flujo de lodo (Blackwelder, 1928; Crandell, 1957 y Bull, 1964), refiriéndose presumiblemente a flujos de escombros de grano relativamente fino que ocurren en laderas semiáridas. Broscoe y Thomson (1969) se refirieron a un flujo de lodo alpino, describiendo un fenómeno esencialmente similar a un flujo de escombros. El término flujo de lodo también se aplicó una vez a los flujos de tierra arcillosa de movimiento lento en Inglaterra (Skempton y Hutchinson, 1969).

Dado que la mayoría de los flujos de escombros transportan alguna cantidad de materia orgánica, los que se originan en terrenos empinados boscosos pueden contener hasta un 60% en volumen de desechos orgánicos grandes (restos de madera). Swanston (1974) describió tales deslizamientos de tierra ricos en materia orgánica de la costa noroeste del Pacífico de América del Norte y acuñó un término torrente de escombros para ellos, que todavía se usa en el oeste de EE. UU. y Canadá. Este término es lingüísticamente cuestionable y su uso está disminuyendo (Slaymaker, 1988).

Una vez consideradas las definiciones anteriores, y para el presente documento, se utilizará término flujo de escombros (Figura 1.3) como una palabra clave establecida que representa todo el fenómeno, incluido un deslizamiento inicial en una pendiente empinada, un flujo rápido a lo largo de un canal confinado empinado y la deposición en un abanico de escombros (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

Dada su alta velocidad de desplazamiento, (Tabla 1.4), fuerzas de impacto y largo recorrido, combinados con poca previsibilidad temporal, los flujos se ubican como uno de los tipos de PRM más peligrosos (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

1.3.1 Factores detonantes de los flujos

De manera muy similar al resto de los otros tipos de PRM, los flujos de escombros se ven influenciados o pueden ser desencadenados por vibraciones, deforestación y deshielo, más comúnmente son producto de eventos sísmicos y lluvias intensas o prolongadas (Jakob, M., y Hungr, O., 2005), especial mención requieren aquellos que pueden ser provocados por flujos piroclásticos (Pierson *et al.*, 1990) y agua acumulada (Takahashi, 1978, 1991).

Campbell (1975) observó, por primera vez, la relación de las lluvias intensas en el desencadenamiento de deslizamientos superficiales que se transforman en flujos de escombros en las montañas de Santa Mónica, en el sur de California. En el trabajo de Wieczorek y Glade (2005), identifican a las lluvias intensas como el principal factor meteorológico reconocido, directamente asociado con el desencadenamiento de flujos de escombros, así como a la precipitación acumulada como un desencadenante secundario.

Aunque los efectos de la intensidad y duración de la lluvia en la inestabilidad dependen del espesor, la porosidad y la permeabilidad de la litología, la combinación de intensidad-duración de la lluvia, es útil para comparar la activación regional de flujos de escombros (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

1.3.2 Clasificación de los flujos

Si bien es cierto, el sistema de clasificación de Varnes (1978) y su modificación por Cruden y Varnes (1996), distinguen a los flujos en función del tamaño de los materiales transportados, Hungr *et al.*, (2001) propusieron reemplazar estas definiciones por otras derivadas de sus propiedades geotécnicas.

- Flujo de tierra (*Earth flow*)

Se refiere al coluvio arcilloso (plástico) no clasificado derivado de arcillas o rocas erosionadas ricas en arcilla, con una consistencia más cercana al límite plástico que al límite líquido. Estos materiales ricos en arcilla de baja sensibilidad y consistencia intermedia

producen movimientos de deslizamiento lentos a rápidos a lo largo de distintas superficies de corte (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

- Flujo de lodo (*Mud flow*)

Geológicamente, el término se refiere a material arcilloso líquido o semilíquido (Bates y Jackson, 1984). Algunos flujos de lodo derivados de fuentes volcánicas pueden tener contenidos de arcilla e índices de plasticidad superiores al 10% (Jordan, 1994; Scott *et al.*, 1992). Por ejemplo, los flujos de lodo derivados de las lutitas montmorilloníticas pueden tener contenidos de arcilla superiores al 50% (Bull, 1964). Hungr *et al.*, (2001) propusieron que el término lodo sea usado para suelos arcillosos remodelados blandos cuya matriz (arena y otros más finos) sea significativamente plástica (índice de plasticidad >5%) y cuyo índice líquido durante el movimiento sea mayor a 0.5. Para convertir el material de tierra arcillosa seca o rígida insensible en una fuente de deslizamiento de tierra en lodo, se requiere una mezcla rápida con agua superficial para elevar el contenido de agua hasta el límite líquido o por encima de él.



Figura 1. 3 Flujo de escombros en Khumbu Himalaya, Nepal. (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

- Flujo de escombros (*Debris flow*)

Definido como material suelto sin clasificar de baja plasticidad, producto de procesos erosivos masivos (coluvión), meteorización (suelo residual), transporte de glaciares (depósitos de contacto con hielo), vulcanismo explosivo (depósitos piroclásticos granulares) o actividad humana (Por ej., residuos de minas). Textualmente, los escombros son una mezcla de arena, grava, guijarros y cantos rodados, a menudo con proporciones variables

de limo y un rastro de arcilla. Los escombros también pueden contener una proporción significativa de material orgánico, incluidos troncos, tocones de árboles y mantillo orgánico (Swanston, 1974). Los flujos de escombros no son generalmente plásticos o son débilmente plásticos (Índice de plasticidad inferior al 5%), y se caracterizan por no clasificarse (*diamicton*). Muchas descripciones hacen referencia a clastos y matriz gruesos, aunque aún no se ha establecido una separación establecida entre estas dos fases. Muy a menudo, se considera que la matriz es un material del tamaño de arena o más fino, aunque a veces se incluyen tamaños de grava (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

- PRM similares a flujos

- La inundación de escombros (*Debris flood*); es un flujo de agua muy rápido y creciente, muy cargado de escombros, en un canal empinado.

- La avalancha de escombros (*Debris avalanche*); es un flujo poco profundo de muy rápido a extremadamente rápido de escombros, total o parcialmente saturado en una pendiente empinada, sin confinamiento en un canal establecido (Figura 1.4).



Figura 1. 4 Un grupo de avalanchas de escombros provocadas por la tala y la construcción de carreteras en la costa oeste de la isla de Vancouver, Canadá. (Jakob, M., y Hungr, O., 2005).

Conforme a las características de los materiales mencionados anteriormente Hungr et al., (2001), propusieron la siguiente clasificación, así como sus definiciones (Tabla 1.5).

Material	Contenido de agua	Condición especial	Velocidad	Nombre
Limo, arena, grava, y escombros (talud)	Seco, húmedo, o saturado	No excede la presión de poro. Volumen limitado	Variada	Flujo de arena no licuada (limo, grava, escombros)
Limo, arena, escombros, y rocas porosas	Saturado en superficie de ruptura	Material licuable Constante contenido de agua	Extremadamente rápido	Deslizamiento de flujo de arena (limo, escombros, roca)
Arcilla sensible	En o por encima del límite líquido	Licuefacción <i>in situ</i> Constante contenido de agua	Extremadamente rápido	Deslizamiento de flujo de arcilla
Turba	Saturado	Exceso de presión de poro	Lento a muy rápido	Flujo de Turba
Arcilla o tierra	Cerca del límite plástico	Movimiento Lento Flujo de tapón (deslizante)	Menos que rápido	Flujo de Tierra
Escombros	Saturado	En canal establecido Incremento del contenido de agua	Extremadamente rápido	Flujo de Escombros
Lodo	En o por encima del límite líquido	De grano más fino que el flujo de escombros	Mayor que muy rápido	Flujo de Lodo
Escombros	Agua libre presente	inundación	Extremadamente rápido	Inundación de Escombros
Escombros	Parcialmente o completamente saturado	Sin canal establecido Relativamente superficial, fuerte pendiente	Extremadamente rápido	Avalancha de Escombros
Roca fragmentada	Varios, principalmente seco	Roca madre de gran volumen	Extremadamente rápido	Avalancha de Rocas

Tabla 1. 5 Clasificación de PRM tipo Flujo

1.3.3 Morfología de los flujos

De acuerdo con Dikau (1996), los flujos de escombros poseen tres elementos distintivos: el área de erosión, el conducto principal y un área de depósito. En la figura 1.5 se representan los atributos morfológicos idealizados de un movimiento así (Jakob, M., y Hungr, O., 2005), el cual consta de:

Escarpe. Es la superficie escarpada localizada en la arista superior resultado del movimiento.

Superficie de ruptura. Es la superficie que forma o que ha formado el límite más bajo del material desplazado debajo de la superficie original.

Canal de erosión. Es el conducto por donde fluye y se incrementa el material que ha sido desplazado de su posición original en la ladera, ya que conecta el escarpe con el área de acumulación.

Dique. Corresponde a los residuos gruesos desplazados que se amontonan en los flancos del cauce, también se denominan como crestas laterales.

Área de depósito o acumulación. Es el área del movimiento dentro de la cual el material desplazado descansa debajo de la superficie original del terreno.

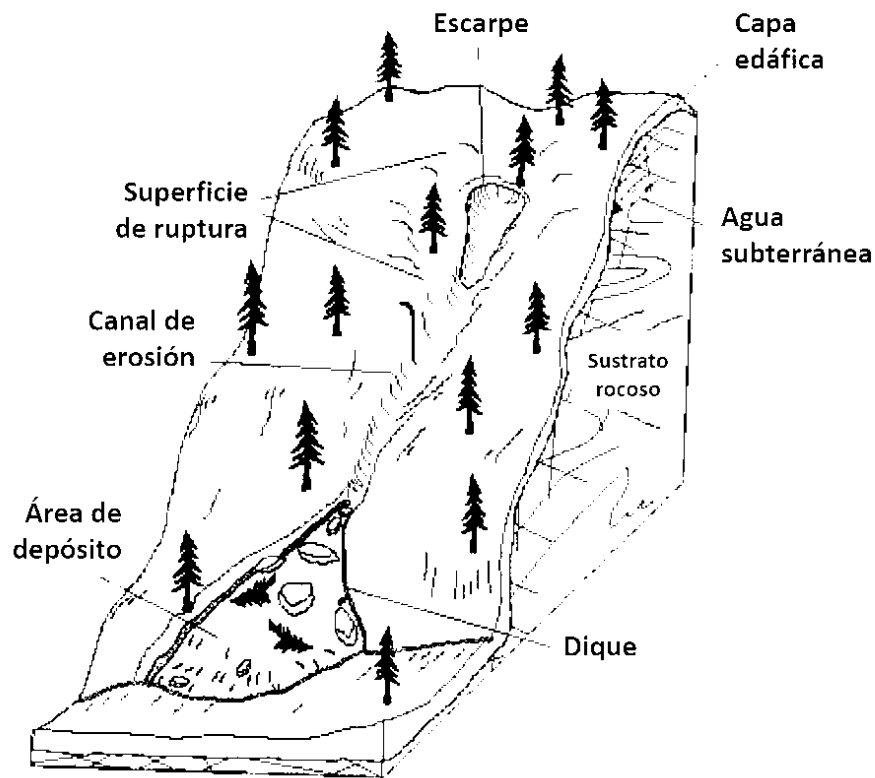


Figura 1. 5 Rasgos morfológicos de un flujo. (Dikau, R., 1996).

1.4 Evaluación de la susceptibilidad a PRM

El concepto básico de susceptibilidad a PRM (Radbruch 1970; Dobrovolny 1971; Brabb y Pampeyan, 1972) se trata de la distribución espacial de factores relacionados con los procesos de inestabilidad para determinar áreas propensas sin ninguna implicación temporal (Chacón *et al.*, 2006).

Este enfoque es útil para áreas donde es difícil obtener suficiente información sobre el registro histórico de eventos, faltan o son escasos los registros meteorológicos relacionados a la precipitación, y se desconoce la magnitud/intensidad de la actividad sísmica, y su correlación con los PRM. Un mapa de susceptibilidad a deslizamientos, clasifica la estabilidad de taludes de un área en categorías, que van desde estables hasta inestables. Los mapas de susceptibilidad muestran dónde pueden o no ocurrir PRM. Muchos mapas de susceptibilidad utilizan un esquema de colores que relaciona colores más fuertes (rojo, naranja y amarillo) con áreas inestables y marginalmente inestables y colores fríos (azul y verde) con áreas más estables (Spieker y Gori 2000 y 2003). La susceptibilidad a PRM también se ha considerado como una expresión de peligro relativo (Einstein 1988; Hartlen y Viberg 1988), densidad total de deslizamientos de tierra o frecuencia probable (Evans y King 1998; Evans *et al.*, 1997).

La susceptibilidad a PRM es una medida de cuán propensas son las unidades ambientales del terreno a los procesos de ladera, y fue abordada cuantitativamente por Brabb *et al.*, (1972). El término describe de manera amplia la condición de estabilidad de taludes de una región en particular, que puede aumentar considerablemente cuando "*nuevos cortes y rellenos y otras actividades del hombre... alteran las condiciones topográficas e hidrológicas naturales...*" (Varnes 1984). Este concepto ha sido adoptado en las últimas décadas por muchos autores en varios trabajos y proyectos sobre mapas de deslizamientos, incluyendo diferentes enfoques GIS y considerando tanto condiciones estáticas como dinámicas (Chacón *et al.*, 2006).

La evaluación de la susceptibilidad se basó, en primer lugar, en el reconocimiento de campo de los factores de inestabilidad que producen un nivel de susceptibilidad dado para un área o zona de campo en particular, siendo el inventario de deslizamientos un paso básico hacia el análisis y el mapeo. El método se basó en la experiencia subjetiva de cada autor. El análisis básico fue un reconocimiento geológico de campo de los factores de inestabilidad alrededor de los deslizamientos observados para hacer una zonificación de la presencia de estos factores dentro de las zonas de susceptibilidad (Chacón *et al.*, 2006). También se incluyeron indicaciones sobre los niveles de actividad de deslizamientos de tierra (Scott 1972).

Fueron Brabb *et al.*, (1972) quienes introdujeron un método semicuantitativo que consiste en un análisis bivariado de porcentajes de área de deslizamiento en intervalos de ángulo de pendiente, expresado por números de susceptibilidad relativa, a partir del cual se obtuvo una zonificación de susceptibilidad (Chacón *et al.*, 2006).

Este documento ofreció una definición formal de la susceptibilidad a PRM como una referencia de cuán propensos puede ser cada una de las unidades ambientales. También ofreció un método para clasificar las unidades de terreno con un número de susceptibilidad relativa basado en la unidad geológica, el ángulo de la pendiente y el porcentaje de deslizamiento en la unidad, que era difícil de aplicar en ese momento. Veinte años más tarde, con el poder de las computadoras y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), hace este tipo de análisis más fáciles de realizar y se ha convertido en la base de muchos desarrollos SIG de mapeo de susceptibilidad a PRM (Chacón *et al.*, 2006).

De acuerdo con Fell *et al.*, (2008) La susceptibilidad a PRM se define como: *Una evaluación cuantitativa o cualitativa de la clasificación, volumen (o área) y distribución espacial de los PRM que existen o potencialmente pueden ocurrir en un área. Aunque se espera que los PRM ocurran con mayor probabilidad en las áreas más susceptibles, en el análisis de susceptibilidad, el marco temporal no se tiene precisamente en cuenta. De manera complementaria menciona que la susceptibilidad también puede incluir una descripción de la velocidad e intensidad del deslizamiento existente o potencia.*

En la literatura existe confusión entre la "susceptibilidad" y el "peligro o amenaza" a PRM (Chacón *et al.*, 2006; Guzzetti, 2006). Los términos se utilizan a menudo como sinónimos a pesar de que las dos palabras expresan conceptos diferentes (Reichenbach *et al.*, 2018),

por lo que se considera necesario aclarar de los conceptos siguientes mencionados por Fell *et al.*, (2008):

- **La zonificación de la susceptibilidad** generalmente involucra el desarrollo de un inventario de procesos que han ocurrido en el pasado junto con una evaluación de las áreas con potencial para experimentar estos fenómenos en el futuro, pero sin una evaluación de la frecuencia (probabilidad anual) de ocurrencia. En algunas situaciones, la zonificación de susceptibilidad deberá extenderse fuera del área de estudio que se está evaluando, derivado de la necesidad de cubrir áreas propensas a fallar, las cuales pueden transportarse o retroceder del área que se está analizando.
- **La zonificación del peligro** puede expresarse como la frecuencia de un tipo particular de PRM con cierto volumen, o de un tipo específico de PRM, en función de su velocidad en particular (que pueden variar con la distancia desde la fuente), o en algunos casos como la frecuencia de los procesos, con una intensidad particular, donde la intensidad puede medirse en términos de energía cinética. Las medidas de intensidad son más útiles para caídas de rocas y flujos de escombros (por ej. profundidad x velocidad).
- **La zonificación del riesgo** toma los resultados del mapeo de peligros y evalúa el daño potencial a las personas (probabilidad anual de pérdida de vidas), a la propiedad (valor anual de la pérdida de propiedad) y ambiental, así como características (valor anual de la pérdida) para los elementos en riesgo, contabilizando probabilidad temporal, espacial y vulnerabilidad.

Una vez aclarado que para el presente estudio se desarrollará la evaluación de la susceptibilidad, vale la pena precisar lo mencionado por Reichenbach *et al.*, (2018) respecto a la susceptibilidad a PRM, como la probabilidad de que ocurra un proceso en un área sobre el terreno, dadas las condiciones ambientales (Brabb, 1984). La susceptibilidad mide el grado en que un terreno puede verse afectado por futuros movimientos de ladera. En otras palabras, es una estimación de “dónde” es probable que ocurran deslizamientos de tierra (Guzzetti, 2006). En lenguaje matemático, la susceptibilidad se puede definir como la probabilidad de ocurrencia espacial de falla de taludes, dado un conjunto de condiciones geoambientales (Guzzetti *et al.*, 2005). Esto fue llamado "análisis de deslizamientos" por Vandine *et al.*, (2004). La susceptibilidad no considera el tamaño, por ejemplo, la longitud, el ancho, la profundidad, el área o el volumen de los deslizamientos de tierra, pero se pueden preparar evaluaciones de susceptibilidad para deslizamientos de diferentes tamaños (Carrara *et al.*, 1995).

También es necesario precisar que el “peligro” o la “amenaza” a PRM, se trata de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno con una determinada magnitud, en un período determinado y en una zona determinada. Además de predecir “dónde” ocurrirá un proceso, el peligro a PRM predice “cuándo” o “con qué frecuencia” ocurrirá y “cuán grande” será (Guzzetti *et al.*, 2005).

1.4.1 Aspectos metodológicos de la susceptibilidad a PRM

En investigaciones como las de Carrara *et al.*, (1999), Guzzetti *et al.*, (1999), Aleotti y Chowdhury (1999), Dai *et al.*, (2002), Chacón *et al.*, (2006) y Fell *et al.*, (2008), se pueden disponer de métodos para la evaluación de la susceptibilidad a PRM, sin embargo, la mayoría reconocen el trabajo realizado por Soeters y Van Western (1996), los cuales sentaron las bases para la evaluación de la susceptibilidad a PRM, mismos que fueron afinados por Van Western *et al.*, (2006).

En el caso de Soeters y Van Western (1996), enuncian algunos aspectos metodológicos de la zonificación del riesgo, define los pasos necesarios para la evaluación de peligros, da una visión general de la práctica actual, teniendo en cuenta las técnicas de mapeo directas e indirectas, hace énfasis en la aplicación y uso de las diferentes características de la teledetección, considerando la resolución espacial, espectral y temporal en el estudio de los PRM y la zonificación de peligros; también se mencionan las capacidades de los SIG para el análisis de los factores del terreno que conducen a la inestabilidad de laderas.

En el caso de Van Western *et al.*, (2006), revisa el problema de intentar cuantificar el riesgo a PRM en áreas más grandes, discute una serie de dificultades relacionadas con la generación de mapas inventario que incluye información sobre la fecha, el tipo y el volumen de los procesos, la determinación de su probabilidad espacial y temporal, el modelado y evaluación de la vulnerabilidad, brinda una descripción general de los diferentes enfoques para la zonificación del peligro y el riesgo a PRM a escalas medianas, y concluye con una serie de avances y desafíos para el futuro, como el uso de datos topográficos muy detallados, la generación de mapas de inventario de deslizamientos basados en eventos, el uso de estos mapas en el modelado probabilístico espacio-temporal y el uso de escenarios de uso del suelo y cambio climático en la modelización determinista (Tabla 1.6).

Ahora bien, ambos trabajos coinciden en el uso combinado de técnicas de recopilación de datos, para su posterior análisis e integración en la zonificación de los PRM a diferentes escalas.

Teniendo en cuenta la diversidad de factores del medio natural involucrados en la inestabilidad de laderas, Soeters y Van Western (1996) plantean los insumos que su zonificación requiere (Figura 1.6):

1. Inventario detallado de los procesos de inestabilidad de taludes,
2. El estudio de estos procesos en relación con su entorno ambiental,
3. El análisis de los factores condicionantes y desencadenantes, y
4. La representación de la distribución espacial de estos factores.

Describen también lo que parece ser un consenso general, respecto a cuatro enfoques de la evaluación de la susceptibilidad con respecto a las escalas recomendadas para su análisis.

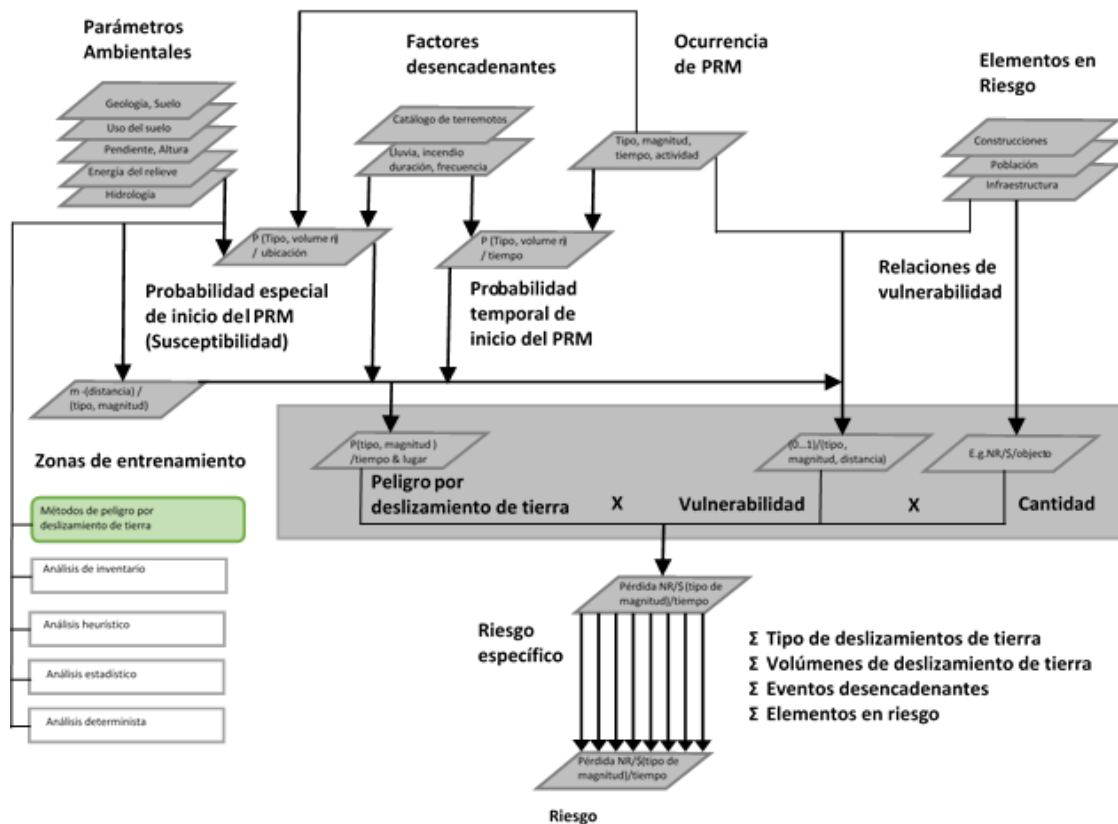


Figura 1. 6 Representación esquemática de la metodología de evaluación espacial de riesgo a PRM. (Van Westen *et al.*, 2006).

TIPO DE ANÁLISIS	TÉCNICA	CARACTERÍSTICAS	ESCALA DE USO RECOMENDADA		
			REGIONAL (1:100,000)	MEDIO (1:25,000)	GRANDE (1:10,000)
Inventario	Análisis de la distribución de deslizamientos de tierra.	Analizar la distribución y clasificación de los deslizamientos de tierra	Si ^b	Si	Si
	Análisis de la actividad de deslizamientos de tierra.	Analizar cambios temporales en el patrón de deslizamientos	No	Si	Si
	Análisis de la densidad de deslizamientos de tierra	Calcular la densidad de deslizamientos en unidades de terreno o como mapa de isopleas	Si ^b	No	No
Análisis heurístico	Análisis Geomorfológico	Utilice la opinión de expertos en la zonificación de campo	Si	Si ^c	Si ^c
	Mapa cualitativo combinación	Usar valores de peso en los mapas basado en parámetros de expertos	Si ^d	Si ^c	No
Análisis estadístico	Análisis de Estadística Bivariada	Calcular la importancia de la combinación de factores contribuyentes	No	Si	No
	Análisis de Estadística multivariada	Calcular la fórmula de predicción a partir de la matriz de datos	No	Si	No
Análisis determinista	Análisis del factor de seguridad	Aplicar hidrología y modelos de estabilidad de taludes	No	No	Si ^e

^b Pero solo con datos confiables sobre la distribución de deslizamientos porque el mapeo estará fuera de una relación costo/beneficio aceptable.

^c Pero fuertemente apoyado por otras técnicas cuantitativas para obtener un nivel aceptable de objetividad.

^d Pero solo si existen suficientes datos confiables sobre la distribución espacial de los factores de control de deslizamientos.

^e Pero solo en condiciones de terreno homogéneo, considerando la variabilidad de los parámetros geotécnicos.

Tabla 1. 6 Enfoques de análisis en relación con las escalas cartográficas (Soeters y Van Western, 1996).

Estos enfoques son detallados por Van Westen *et al.*, (2006) de la siguiente manera:

1. Enfoque probabilístico basado en el inventario de deslizamientos,
2. Enfoque heurístico (Directo - mapeo geomorfológico o Indirecto - combinación de mapas cualitativos),
3. Enfoque estadístico (estadística bivariada o multivariada), y
4. Enfoque determinista (relacionado a parámetros específicos y geotécnicos de una ladera).



Figura 1. 7 Métodos para la evaluación de la susceptibilidad a PRM (Corominas *et al.*, (2014).

La clasificación de los métodos de evaluación del riesgo a PRM publicados aún está en discusión, la propuesta del Subcomité de Gestión del Riesgo de Deslizamientos de la Sociedad Australiana de Geomecánica, se basa en el nivel de análisis dividiendo los métodos de evaluación del riesgo a PRM en:

- A. Métodos cualitativos (probabilidad y pérdidas expresadas en términos cualitativos),
- B. Métodos semicuantitativos (probabilidad indicativa, términos cualitativos), y
- C. Métodos cuantitativos (probabilidad y pérdidas cuantificadas).

Corominas *et al.*, (2014) agrupa la clasificación de las metodologías de evaluación de la susceptibilidad a PRM (Figura 1.7), en métodos cualitativos (métodos basados en inventarios y basados en el conocimiento) y cuantitativos (métodos basados en datos y modelos basados en la física).

1.4.2 Métodos para la evaluación de la susceptibilidad

A partir de la clasificación de los métodos para la evaluación de la susceptibilidad de Corominas *et al.*, (2014) mencionado anteriormente, en este apartado se hará una breve descripción de cada una de las metodologías de análisis.

Mendoza-Ramírez y Aristizábal (2017) mencionan, en primer lugar, que los métodos cualitativos están soportados en el criterio y evaluación de un experto para definir el grado de susceptibilidad (Carrara, 1993; Barredo *et al.*, 2000; Ayalew y Yagamishi, 2005). Aunque estos métodos permiten incorporar en el análisis una gran cantidad de variables complejas, dependen completamente de la experiencia y conocimiento del experto sobre la ocurrencia de los PRM en la región específica de estudio y los factores de causa, por lo que son considerados con un alto grado de subjetividad (Guzzetti *et al.*, 1999).

En cambio, los métodos cuantitativos utilizan expresiones matemáticas objetivas produciendo factores de seguridad o probabilidades de ocurrencia de movimientos en masa (Aleotti y Chowdhury, 1999 y Guzzetti *et al.*, 1999). Entre estos, los métodos determinísticos, o también denominados con base física, utilizan modelos matemáticos geotécnicos, y en algunas ocasiones, acoplados con modelos hidrológicos para estimar el factor de seguridad de cada unidad de análisis (Van Asch *et al.*, 2007 y Casadei *et al.*, 2003). A su vez, los métodos estadísticos establecen relaciones funcionales entre factores de inestabilidad y la distribución pasada y presente de los PRM. Estas relaciones generalmente corresponden a funciones de densidad de movimientos en masa que pueden ser establecidas para cada factor individual, denominados métodos estadísticos bivariados, o relaciones combinadas entre una variable dependiente (ocurrencia de movimientos en masa) y variables independientes (factores de causa) denominados métodos estadísticos multivariados (Guzzetti *et al.*, 1999). Aunque estos métodos han sido de amplia aplicación a escalas regionales, exigen tener un exhaustivo inventario de movimientos en masa. Entre los métodos estadísticos bivariados se destacan Radio de Frecuencia (Chung, 2006), Índice Estadístico (Chen *et al.*, 2016), Peso de la Evidencia (Van Westen, 1993; Lee *et al.*, 2004; Regmi *et al.*, 2010), Funciones de Favorabilidad (Chung y Fabbri, 1993). Entre los métodos multivariados de mayor uso están: Análisis Discriminante (Gorsevski *et al.*, 2000),

Regresión Logística (Ayalew y Yagamishi, 2005), y Análisis Condicional (de Graf *et al.*, 1991 y Clerici *et al.*, 2002).

También Corominas *et al.*, (2014) realiza una importante aclaración respecto que los métodos basados en inventarios son necesarios como punto de partida de todos los estudios de zonificación, ya que proporcionan la información más importante y se utilizan para validar los mapas resultantes.

1.4.3 Métodos basados en datos (*Data-driven*)

En los métodos de evaluación de la susceptibilidad a PRM basados en datos, se evalúan estadísticamente las combinaciones de factores detonantes del pasado, y se realizan predicciones cuantitativas para áreas actuales no afectadas por PRM con condiciones geológicas, topográficas y de cobertura terrestre similares (Corominas *et al.*, 2014).

Los resultados de estos análisis se expresan en términos de probabilidad. Estos métodos se denominan "basados en datos", ya que los datos de PRM anteriores se utilizan para obtener información sobre la importancia relativa de cartografía temática y otros factores, por ejemplo: pendiente, altitud, insolación, proximidad a vialidades o cuerpos de agua, etc. Generalmente se utilizan tres enfoques principales basados en datos: análisis estadístico bivariante, análisis estadístico multivariante y de aprendizaje activo (Tabla 1.7).

	Método	Referencias
	Índice de probabilidad modelo (LRM)	Lee (2005)
Método Estadístico Bivariado	Método de Información de valor	Yin y Yan (1988)
	Modelado de Pesos de evidencia	Van Westen (1993), Bonham-Carter (1994), Suzen y Doyurán (2004)
	Funciones de Favorabilidad	Chung y Fabbri (1993), Luzi (1995)
Método Estadístico Multivariado	Análisis Discriminante	Carrara (1983), Gorsevski <i>et al.</i> , (2000)
	Regresión Logística	Ohlmacher y Davis (2003), Gorsevski <i>et al.</i> ,
ANA	Redes Neuronales Artificiales	Lee <i>et al.</i> , (2004), Ermimini <i>et al.</i> , (2005), Kanungo <i>et al.</i> , (2006)

Tabla 1. 7 Métodos recomendados para la evaluación de la susceptibilidad basados en datos. (Corominas *et al.*, 2014).

Corominas *et al.*, (2014) menciona que los métodos estadísticos bivariados, cada mapa de factores o temático se combina con el mapa de distribución de PRM, y se calculan los

valores de ponderación basados en las densidades de procesos para cada clase de parámetro. Se pueden aplicar varios métodos estadísticos para calcular los valores de peso, como el método de valor de la información, el modelado de pesos de evidencia, las reglas de combinación Bayesianas, los factores de certeza, el método Dempster-Shafer y la lógica difusa. Esta clase de métodos son una buena herramienta de aprendizaje que el analista puede usar para determinar qué factores o combinación de factores juegan un papel en el inicio de los PRM. No tiene en cuenta la interdependencia de las variables y debe servir como guía al explorar el conjunto de datos antes de utilizar métodos estadísticos multivariados.

Los modelos estadísticos multivariados evalúan la relación combinada entre una variable dependiente (ocurrencia de PRM) y una serie de variables independientes (factores de control de PRM). En este tipo de análisis, todos los factores relevantes se muestrean en forma de cuadrícula o en unidades morfométricas de pendiente. Para cada una de las unidades de muestreo se determina la presencia o ausencia de PRM. Luego, la matriz resultante se analiza mediante regresión múltiple, regresión logística, análisis discriminante, bosque aleatorio o aprendizaje activo (Corominas *et al.*, 2014).

Los métodos de susceptibilidad basados en datos pueden verse afectados por deficiencias tales como (a) la suposición general de que los deslizamientos de tierra ocurren debido a la misma combinación de factores en toda el área de estudio, (b) la ignorancia del hecho de que la ocurrencia de ciertos tipos de PRM está controlada por ciertos factores causales que deben analizarse/investigarse individualmente, (c) el grado de control sobre algunos factores espaciales puede variar ampliamente en áreas con entornos geológicos y estructurales complejos, y (d) la falta de una opinión experta adecuada sobre diferentes tipos de PRM, procesos y factores causales. Estas técnicas se han vuelto estándar en la evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos a escala regional (Corominas *et al.*, 2014).

De acuerdo con la revisión estadística de 565 artículos científicos, publicados entre 1983 y 2016, respecto de las características de los modelos de susceptibilidad a PRM, realizado por Reichenbach *et al.*, (2018), en la Figura 1.8 las barras horizontales muestran el recuento de 19 clases de tipos de modelos utilizados para agrupar los 163 nombres de modelos establecidos por los autores en los artículos de la base de datos de literatura.

Los colores más oscuros indican un número mayor de modelos individuales en el grupo. Los histogramas grises muestran el número anual de artículos, por tipo de modelo; alrededor del 60% de los artículos utilizaron solo un tipo de análisis de susceptibilidad a PRM; el resto utilizó dos (23.7%) o más tipos de modelos, y hasta ocho tipos de modelos diferentes (Vorpahl *et al.*, 2012). Y convencionalmente fueron utilizados, solo cuatro tipos de metodologías de evaluación de la susceptibilidad, que representan el 46 % de los artículos, específicamente el análisis de regresión logística (18.5 %), superposición de datos (10.7 %), red neuronal (8.3 %) y modelos basados en índices (8.2%).

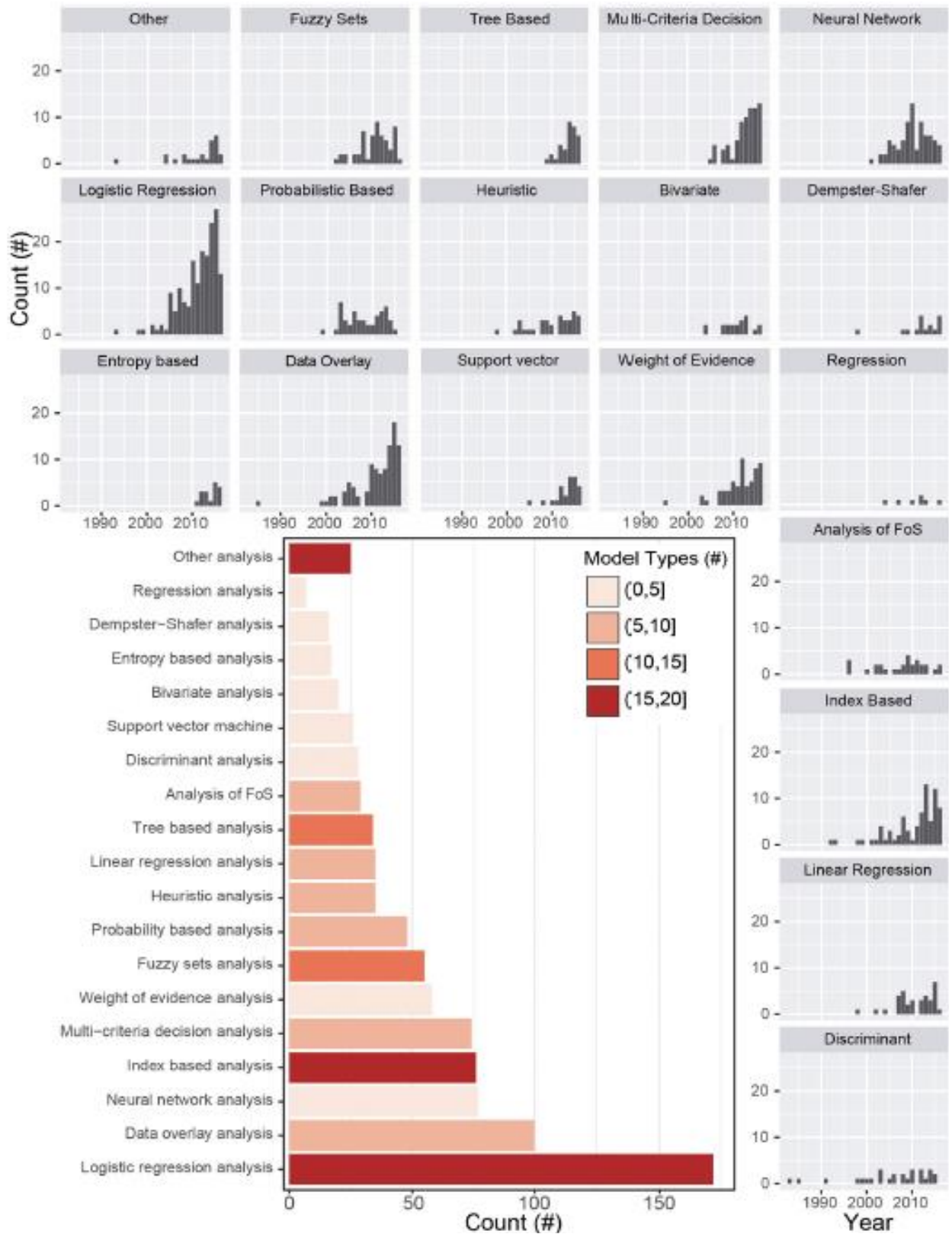


Figura 1. 8 Tipos de modelos de susceptibilidad (Reichenbach *et al.*, 2018)

1.4.3.1 Consideraciones para la selección del método

Corominas *et al.*, (2014) enumera algunas consideraciones para el análisis de susceptibilidad a PRM, además de hacer notar el vínculo claro entre la escala de análisis y el tipo de método que se puede utilizar, que se relaciona principalmente con la posibilidad de obtener los datos de entrada requeridos (Tabla 1.8).

	Métodos cuantitativos	
	Métodos estadísticos basado en datos	Métodos basados en determinación física
Escala nacional (<1:250,000)	No	No
Escala regional (1:25,000-1:250,000)	Si	No
Escala local (1:5,000-1:25.000)	Si	Si
Sitio específico (>1:5,000)	No	Si

Tabla 1. 8 Métodos recomendados para el análisis de susceptibilidad a diferentes escalas. Corominas *et al.*, (2014).

Hay varios aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el método más adecuado:

- a) La selección debe adaptarse a los datos disponibles y a la escala del análisis; por ejemplo, no se recomienda la selección de un enfoque de modelado basado en la física de laderas a pequeña escala, con datos geotécnicos y de profundidad del suelo insuficiente. Esto dará lugar a simplificar los resultados en el mapa de peligros y/o riesgos, aunado a una recopilación interminable de datos.
- b) Debe evitarse el uso de datos a escala, o con detalles, que no sean apropiados para el método de evaluación de peligros seleccionado.
- c) Los diferentes tipos de PRM están controlados por diferentes combinaciones de factores ambientales y desencadenantes, y esto debe reflejarse en el análisis. El inventario debe subdividirse (cuando sea posible) en varios subconjuntos, cada uno relacionado con un mecanismo de falla particular y vinculado a una combinación específica de factores causales. El análisis de un proceso no puede dar como resultado uno distinto al de los datos evaluados.
- d) Debe evitarse el uso de mapas temáticos que no sean del período de ocurrencia del PRM. Por ejemplo, para poder correlacionar los deslizamientos con los cambios en el uso de suelo/cobertura, es importante mapear la situación que existía cuando ocurrió el deslizamiento, no la situación que resultó después.

- e) Finalmente, muchas evaluaciones de susceptibilidad a los PRM se basan en la suposición de que "el pasado es la clave para el futuro", y que los procesos históricos y sus relaciones causales pueden usarse para predecir los futuros. Sin embargo, pueden haber ocurrido en el pasado bajo condiciones particulares, y es necesario considerar que las condiciones cambian y se desarrollan otras que pueden dar lugar a nuevos PRM y por consiguiente a mapas de susceptibilidad para la situación actual. Cuando hay cambios en los factores causales la información de susceptibilidad necesita ser actualizada. Por ejemplo, una carretera con cortes empinados se construye en una pendiente que anteriormente se consideraba de baja peligrosidad, o la lluvia anual o la distribución de la lluvia por mes cambia significativamente debido al cambio climático.

1.4.3.2 Mapeo de inventario de deslizamientos

Soeters y van Western, (1996), describen una técnica de compilación de datos a través de la percepción remota (Imágenes aéreas, satélite, etc.), su procesamiento y transferencia de información mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de un inventari. Van Westen, *et al.*, (2008) señala que para hacer un mapa confiable que identifique correctamente la amenaza o el peligro de la ocurrencia de PRM en un área determinada, es crucial tener clara la frecuencia espacial y temporal de los procesos y, por lo tanto, cada estudio debe comenzar haciendo un inventario de los PRM que sea tan completo como sea posible, tanto en el espacio como en el tiempo (Ibsen y Brunsden, 1996; Lang *et al.*, 1999; Glade, 2001). Se han hecho intentos para estandarizar la clasificación en la nomenclatura (WP/WLI, 1990 y 1993a; Cruden y Varnes, 1996), actividad (WP/WLI, 1993b), causas, tasa de movimiento (IUGS-Working group on landslide, 1995) y medidas correctivas (IUGS-Working group on landslide, 2001). Los inventarios se pueden realizar utilizando una variedad de técnicas, que se resumen en la Tabla 1.9.

Fell *et al.*, (2008) reitera que la preparación de un inventario de PRM es una parte esencial de cualquier zonificación, así mismo señala que dicho inventario, mínimamente debe contener datos de la ubicación, clasificación, volumen, distancia, estado de actividad y fecha de ocurrencia del deslizamiento en un área.

Grupo	Técnica	Descripción	Escala			
			Regional	Medio	Grande	Detallado
Interpretación de imágenes	Fotografías aéreas estereoscópicas	Formato analógico o interpretación de imágenes digitales con conjuntos de datos únicos o multitemporales	M	H	H	H
	Imágenes de satélite de alta resolución	Con imágenes monoscópicas o estereoscópicas y conjunto de datos único o multitemporal	M	H	H	H
	Mapas de relieve LiDAR	Conjunto de datos único o multitemporal del modelo de tierra desnuda.	L	M	H	H
	Imágenes de radar	Conjunto de datos único	L	M	M	M
Clasificación (semi) automatizada basada	Fotografías aéreas	Relación de imagen, umbralización	M	H	H	H

en características espectrales	Imágenes multispectrales de resolución media	Imágenes de datos únicos, con clasificación de imágenes basada en píxeles o segmentación de imágenes	H	H	H	M
		Imágenes de fechas múltiples, con clasificación de imágenes basada en píxeles o segmentación de imágenes	H	H	H	M
Clasificación (semi) automatizada basada en las características de la altitud	Uso combinado de datos ópticos y de radar InSAR	Técnicas de fusión de imágenes o clasificación de imágenes multisensor, ya sea basada en píxeles o basada en objetos	M	M	M	M
		Interferometría de radar para información sobre áreas más grandes	H	H	H	H
	LIDAR Fotogrametría	Dispersores permanentes para datos de desplazamiento puntual	L	L	M	H
		Superposición de DEM LiDAR de diferentes períodos	L	L	M	H
		Superposición de DEM de fotografías aéreas o imágenes satelitales de alta resolución para diferentes períodos	L	M	H	H
Métodos de investigación de campo	Mapeo de campo	Método convencional	M	H	H	H
		Uso de GPS Mobile Y SIG para la recopilación de datos de atributos	L	H	H	H
Estudios de gabinete	Entrevistas Archivos de periódicos Registros de mantenimiento de carreteras Cuerpo de bomberos/policía	Mediante cuestionarios, talleres, etc.	L	M	H	H
		Estudio histórico de periódicos, libros y otros archivos.	H	H	H	H
		Relacionar la información de mantenimiento a lo largo de las características lineales con la posible causa de los PRM	L	M	H	H
		Extracción de la ocurrencia de PRM de los libros de registro de accidentes	L	M	H	H
Métodos de datación para deslizamientos de tierra.	Método de citas directas	Dendrocronología, datación por radiocarbono, etc.	L	L	L	M
	Métodos indirectos de datación	Análisis de polen, liquenometría y otros métodos indirectos	L	L	L	L
Monitoreo de redes	Extensómetro, etc.	Información continua sobre la velocidad del movimiento mediante extensómetros, inclinómetros de superficie, inclinómetros, piezómetros	-	-	L	H
	EDM	Red de Medidores Electrónicos de Distancia, repetido regularmente	-	-	L	H
	GPS	Red de Mediciones GPS Diferenciales, repetidas periódicamente	-	-	L	H
	Estación total	Red de mediciones de teodolito, repetidas regularmente	-	-	L	H
	InSAR basado en tierra	Uso de radar terrestre con riel deslizante, repetido regularmente	-	-	L	H
	LiDAR terrestre	Usando escaneo láser terrestre, repetido regularmente	-	-	L	H

Se indica la aplicabilidad de cada técnica para escalas de mapeo pequeñas, medianas, grandes y detalladas. (H=muy aplicable, M= moderadamente aplicable, y L- menos aplicable).

Tabla 1. 9 Descripción general de las técnicas para la recopilación de información sobre PRM. (Van Westen *et al.*, 2008).

La Tabla 1.10 enumera las actividades que normalmente se requerirán en los niveles básico, intermedio y avanzado. De manera complementaria Van Westen *et al.*, (2008) enuncia algunas dificultades relacionadas con el mapeo de inventarios, destacando que en la mayoría de los países no existen agencias que tenga la responsabilidad de mantener una base de datos sobre estos procesos. En el mejor de los casos, varias organizaciones, como el departamento de obras públicas o el departamento de caminos, se ocuparán solo

de los PRM que hayan afectado su área de interés (por ejemplo, la red de caminos y obras), lo que dará como resultado bases de datos incompletas y sesgadas. Los periódicos y otros registros históricos solo registran aquellos eventos que causaron daños sustanciales. Las universidades o institutos de investigación trabajan en estos procesos principalmente como parte de un proyecto, con una duración limitada, después del cual las bases de datos ya no se mantienen actualizadas.

Método de caracterización	Actividades
Básico	Elaborar un inventario de deslizamientos en la zona a partir de fotografías aéreas y/o imágenes satelitales, cartografía y registros históricos, El inventario incluye la ubicación, clasificación, volumen (o área) y, en la medida de lo posible, la fecha de ocurrencia del PRM, Identificar la relación con la topografía, la geología y la geomorfología, Mostrar esta información en los mapas del inventario junto con la información topográfica, incluidos los contornos, los límites de la propiedad, la cuadrícula cartográfica, las carreteras y otras características importantes como arroyos y cursos de agua. Las mismas actividades que Básico, más:
Intermedio	Distinguir diferentes partes de los PRM, Mapear las características y los límites de los procesos, Recopilar y evaluar la información histórica sobre la actividad de los PRM, Analizar la evolución del uso del suelo para saber si las actividades humanas han tenido una influencia en la incidencia de los PRM. Las mismas actividades que Intermedio, más:
Avanzado	Preparar un inventario de datos geotécnicos, Implementar investigaciones para definir mejor las condiciones geotécnicas, Realizar un análisis geotécnico para comprender los procesos de inestabilidad de los taludes, Catalogación avanzada respecto de la temporalidad de reactivaciones periódicas de la misma amenaza y ventanas temporales de eventos desencadenantes específicos para proporcionar conjuntos de datos de inventario periódicos que luego se pueden usar en forma avanzada en enfoques de validación.

Tabla 1. 10 Actividades requeridas para preparar un inventario de PRM. (Fell *et al.*, 2008).

1.4.3.3 Enfoque al Método de Peso de la Evidencia (WoE)

El método de peso de la evidencia o WoE (Por sus siglas en inglés: *Weights of Evidence*), se aplicó inicialmente a diagnósticos médicos cuantitativos no espaciales para combinar evidencia de diagnósticos clínicos para predecir enfermedades (Lusted, 1968; Spiegelhalter y Knill-Jones, 1984).

En Geociencias, el método se aplica ampliamente dentro del entorno GIS, ha sido utilizado para evaluar los potenciales mineros (Bonham-Carter *et al.*, 1988, 1989; Agterberg, 1992; Agterberg *et al.*, 1993; Emmanuel *et al.*, 2000; Harris *et al.*, 2000; Bonham-Carter, 2002; Carranza y Hale, 2002), predecir la ubicación de pozos (Cheng, 2004) y manantiales de agua subterránea (Corsini *et al.*, 2009), determinar asociaciones espaciales entre fallas y sismicidad (Goodacre *et al.*, 1993; Daneshfar y Benn, 2002), cartografía de las

inestabilidades de los acantilados asociadas con el hundimiento (Zahiri *et al.*, 2006) y cartografía de la amenaza y la susceptibilidad de PRM (Lee *et al.*, 2002; Van Westen *et al.*, 2003; Lee y Choi, 2004; Lee y Sambath, 2006; Neuhauser y Terhorst, 2007; Dahal *et al.*, 2008).

Para cartografiar la susceptibilidad a PRM, el método WoE calcula el peso de cada factor causante de PRM en función de la presencia o ausencia de cada proceso dentro del área en estudio. La suposición fundamental de este método es que futuros PRM ocurrirán bajo condiciones similares a aquellas que contribuyeron a los procesos anteriores. También asume que los factores causales de los procesos mapeados permanecen constantes a lo largo del tiempo (Regmi *et al.*, 2010).

Regmi *et al.*, (2010) aclara que WoE es un método basado en datos (Bonham-Carter, 1994), del enfoque bayesiano en forma logarítmica lineal (Spiegelhalter, 1986) y utiliza probabilidad previa (incondicional) y probabilidad posterior (condicional). El método es aplicable cuando hay suficientes datos disponibles para estimar la importancia relativa de temas evidentes a través de medios estadísticos (Bonham-Carter, 1994). La probabilidad previa es la probabilidad de un evento, determinada por los mismos tipos de eventos que ocurrieron en el pasado, durante un período determinado.

Por ejemplo, la probabilidad de que una unidad de área (o píxel) de tierra se deslice en el futuro se puede estimar en función de la frecuencia de la unidad de área (o píxel) de tierra que se movió en el pasado. Esto se puede determinar tomando la relación del área o el número total de píxeles de PRM en el área o el número total de píxeles en el área de estudio. La probabilidad previa se puede modificar utilizando otras fuentes de información o evidencia. Esta probabilidad revisada de eventos pasados, basada en nueva evidencia, se llama probabilidad posterior. De esta manera, la probabilidad previa se puede actualizar sucesivamente con la adición de nueva evidencia, de modo que la probabilidad posterior de agregar una evidencia se puede tratar como la previa para agregar una nueva evidencia. De tal modo, si existe un factor "F" que causa PRM (Figura 1.9), la probabilidad de ocurrencia de PRM basada en este factor podría cambiar (Regmi *et al.*, 2010).

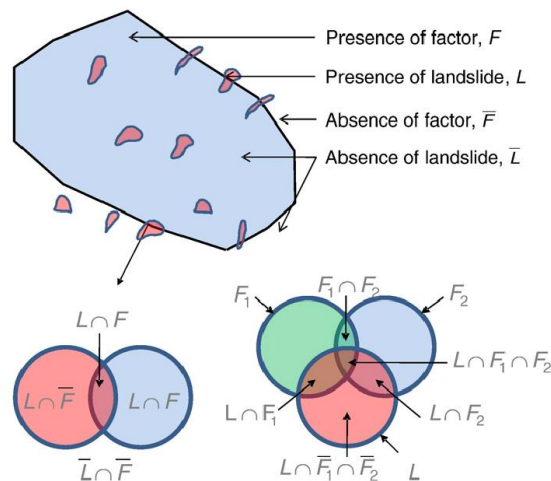


Figura 1. 9 Relaciones entre PRM y factores utilizados en WoE. (Regmi *et al.*, 2010).

Entonces, la favorabilidad para predecir los PRM, dada la presencia del factor evidencia, puede expresarse mediante la probabilidad condicional ($P\{L|F\}$), (Bonham-Carter, 2002):

$$P\{L|F\} = \frac{P\{L \cap F\}}{P\{F\}} \quad (1)$$

En términos del número (N) de las celdas ocupadas por L y F, la ecuación se puede reescribir como:

$$P\{L|F\} = \frac{N\{L \cap F\}}{N\{F\}} \quad (2)$$

De manera similar, la probabilidad condicional de PRM basada en el factor F es:

$$P\{F|L\} = \frac{P\{L \cap F\}}{P\{L\}} \quad (3)$$

$P\{F \cap L\}$ y $P\{L \cap F\}$ son iguales, entonces las ecuaciones. (1) y (3):

$$P\{L|F\} = P\{L\} \frac{P\{F|L\}}{P\{F\}} \quad (4)$$

Esto establece que la probabilidad condicional (posterior) de un PRM, dada la presencia del factor F, es igual a la probabilidad previa del PRM $P\{L\}$ multiplicada por el factor $P\{F|L\}/P\{F\}$. De manera similar, la probabilidad posterior de un PRM, dada la ausencia del factor, se puede determinar como:

$$P\{L|\bar{F}\} = P\{F\} \frac{P\{\bar{F}|L\}}{P\{\bar{F}\}} \quad (5)$$

Un modelo similar se puede expresar en forma de probabilidades, la razón de $P/(1-P)$. Las probabilidades de un PRM se expresan como:

$$O\{L\} = \frac{\text{Probabilidad de que ocurra un evento}}{\text{Probabilidad de que un evento no ocurra}} = \frac{P\{L\}}{1 - P\{L\}} = \frac{P\{L\}}{P\{\bar{L}\}} \quad (6)$$

Igualmente:

$$O\{L|F\} = \frac{P\{L|F\}}{1 - P\{L|F\}} = \frac{P\{L|F\}}{P\{\bar{L}|F\}} \quad (7)$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación (4) por $P\{\bar{L}|F\}$:

$$\frac{P\{L|F\}}{P\{\bar{L}|F\}} = \frac{P\{L\}P\{L|F\}}{P\{\bar{L}|F\}P\{F\}} \quad (8)$$

Similar a las ecuaciones (1) y (4), la definición de probabilidad condicional es:

$$P\{\bar{L}|F\} = \frac{P\{\bar{L} \cap F\}}{P\{F\}} = \frac{P\{F|\bar{L}\}P\{\bar{L}\}}{P\{F\}} \quad (9)$$

Sustituyendo el valor de $P\{\bar{L}|F\}$ en el lado derecho de la ecuación (8), produce:

$$\frac{P\{L|F\}}{P\{\bar{L}|F\}} = \frac{P\{L\}P\{F|L\}}{P\{\bar{L}\}P\{F|\bar{L}\}} \quad (10)$$

De las ecuaciones (6), (7) y (10), se pueden reescribir como:

$$O\{L|F\} = O\{L\} \frac{P\{F|L\}}{P\{F|\bar{L}\}} \quad (11)$$

Donde $O\{L|F\}$ es la probabilidad condicional (posterior) de L dado F, y $O\{L\}$ es la probabilidad anterior de F. $P\{F|L\}P\{F|\bar{L}\}$ se conoce como la relación de suficiencia LS (Bonham-Carter, 2002). En WoE, el logaritmo natural de la relación de suficiencia es W^+ . De este modo:

$$W^+ = \log_e \left(\frac{P\{F|L\}}{P\{F|\bar{L}\}} \right) \quad (12)$$

De manera similar, tomando el logaritmo natural de la ecuación (11) en ambos lados, produce:

$$W^+ = \log_e \left(\frac{O\{L|F\}}{O\{L\}} \right) \quad (13)$$

Una manipulación algebraica similar conduce a la derivación de una expresión de probabilidades para la posibilidad condicional de L dada la ausencia del factor. De este modo:

$$O\{L|\bar{F}\} = O\{L\} \frac{P\{\bar{F}|L\}}{P\{\bar{F}|\bar{L}\}} \quad (14)$$

El término $P\{\bar{F}|L\}P\{\bar{F}|\bar{L}\}$ se conoce como razón de necesidad, LN (Bonham-Carter, 2002). W^- es el logaritmo natural de LN. De este modo:

$$W^- = \log_e \left(\frac{P\{\bar{F}|L\}}{P\{\bar{F}|\bar{L}\}} \right) \quad (15)$$

De manera similar, tomando el logaritmo natural de la ecuación (14) en ambos lados resulta:

$$W^- = \log_e \left(\frac{O\{L|\bar{F}\}}{O\{L\}} \right) \quad (16)$$

LN y LS también se conocen como razones de verosimilitud. Si el patrón está correlacionado positivamente, LS es mayor que 1 (W^+ = positivo) y LN varía de 0 a 1 (W^- = negativo). Si el patrón está correlacionado negativamente, LN sería mayor que 1 (W^- =

positivo) y LS oscilaría entre 0 y 1 ($W^+ =$ negativo). Si el patrón no está correlacionado con PRM, entonces $LS = LN = 1$ ($W^+ = W^- = 0$) y la probabilidad posterior sería igual a la probabilidad anterior, y la probabilidad de un PRM no se vería afectada por la presencia o ausencia del factor. Se usan las ecuaciones (13) y (15) para calcular los pesos de los factores. Cuando ocurre más de un factor, es necesario combinar los pesos de todos los factores. Por ejemplo:

$$P\{L|F_1 \cap F_2\} = \frac{P\{L \cap F_1 \cap F_2\}}{P\{F_1 \cap F_2\}} \quad (17)$$

Con base en el teorema de Bayes, si los factores F_1 y F_2 se suponen condicionalmente independientes, la ecuación. (17) se puede reescribir como:

$$P\{L|F_1 \cap F_2\} = \frac{P\{F_1 \cap F_2|L\}P\{L\}}{P\{F_1 \cap F_2\}} \quad (18)$$

De nuevo, si F_1 y F_2 son condicionalmente independientes:

$$P\{F_1 \cap F_2|L\} = P\{F_1|L\}P\{F_2|L\} \quad (19)$$

Así, de las ecuaciones (18) y (19):

$$P\{L|F_1 \cap F_2\} = P(L) \frac{P\{F_1|L\}P\{F_2|L\}}{P(F_1)P(F_2)} \quad (20)$$

Para la formulación de probabilidades:

$$\begin{aligned} O\{L|F_1 \cap F_2\} &= O\{L\} \frac{P\{F_1 \cap F_2|L\}}{P\{F_1 \cap F_2|\bar{L}\}} \\ &= O\{L\} \frac{P\{F_1|L\}P\{F_2|L\}}{P\{F_1|\bar{L}\}P\{F_2|\bar{L}\}} = O\{L\} * LS_1 * LS_2 \end{aligned} \quad (21)$$

$$Logit\{L|F_1 \cap F_2\} = Logit\{L\} + W_1^+ + W_2^+ \quad (22)$$

Por lo tanto, la expresión general para combinar $i=1, 2, \dots, n$ mapas que contienen datos sobre factores es:

$$Logit\{L|F_1 \cap F_2 \cap F_3 \cap \dots \cap F_n\} = Logit\{L\} + \sum_{i=1}^n W^+ \quad (23)$$

En esta ecuación, si el *iésimo* patrón está ausente en lugar de estar presente, el W^+ se convierte en W^- . Donde faltan datos en cualquier capa, los valores de ponderación para la parte que falta se establecen en 0. Todas estas ecuaciones son similares a las ecuaciones derivadas por Bonham-Carter (2002) y Dahal *et al.*, (2008).

Basados en la ecuación (16), el método WoE requiere solo los factores condicionalmente independientes entre sí. El significado de la independencia condicional es que si dos

factores (F_1 y F_2) son condicionalmente independientes con respecto a un conjunto de deslizamientos (Figura 1.8B), ecuación (19) debe cumplirse. La ecuación también se puede escribir en términos del número de píxeles (N) como:

$$N\{F_1 \cap F_2 | L\} = \frac{N\{L \cap F_1\}N\{L \cap F_2\}}{N\{L\}} \quad (24)$$

El lado izquierdo de la ecuación es el número observado de celdas donde están presentes los factores F_1 y F_2 y los PRM, y el lado derecho de la ecuación es el número previsto o esperado de PRM en esta zona de superposición, que debe ser igual al número de PRM en F_1 veces y en F_2 dividido por el número total de PRM, si los dos parámetros son condicionalmente independientes.

1.4.4 Cálculo de valores ponderados

Los valores ponderados para las clases de los factores se calculan usando las siguientes ecuaciones que se derivan de las ecuaciones. (12) y (15):

$$W^+ = \log_e \left(\frac{\frac{A_1}{A_1 + A_2}}{\frac{A_3}{A_3 + A_4}} \right) \quad (25)$$

$$W^- = \log_e \left(\frac{\frac{A_2}{A_1 + A_2}}{\frac{A_4}{A_3 + A_4}} \right) \quad (26)$$

Donde, A_1 es el número de píxeles de PRM presentes en una clase de factor dada, A_2 es el número de píxeles de PRM que no están presentes en la clase de factor, A_3 es el número de píxeles en la clase de factor dada en la que no hay píxeles de PRM presentes, y A_4 es el número de píxeles en los que no está presente ni el PRM ni el factor dado.

1.4.4.1 Datos de entrada para el análisis de la susceptibilidad

De acuerdo con Corominas (2014), las principales capas de datos requeridas para el análisis de susceptibilidad, amenaza y riesgo de PRM se pueden subdividir en cuatro grupos: datos de inventario de procesos, factores ambientales, factores desencadenantes y elementos en riesgo (Soeters y van Westen 1996; Van Westen *et al.*, 2008).

El tipo y la ponderación de cada factor dependen del entorno ambiental y también pueden diferir sustancialmente dentro de un área dada, debido a diferencias en las condiciones del terreno (Corominas, 2014).

La gran diversidad de factores condicionantes y detonantes complica el análisis de la susceptibilidad y peligro de PRM, para los cuales los métodos y enfoques, y los datos requeridos, difieren de un caso a otro. Además, la escala a la que se lleva a cabo el análisis juega un papel importante. Glade y Crozier (2005) presentan una discusión sobre la relación entre la disponibilidad de datos, la complejidad del modelo y la capacidad predictiva.

Tipo de datos	Factores	Fuente	Significado
Geológico	Mapa geológico	USGS	Características del material del talud Desencadenamiento de PRM por sismos
	Proximidad a fallas	USGS	
Cobertura terrestre	Cobertura vegetal	Landsat ETM+	Refuerzo de raíces del suelo, regulación de la escorrentía superficial
Suelo	Índice de plasticidad y rugosidad del suelo	USDA, USFS	Resistencia al corte del suelo
Topografía	Elevación	DEM	Clima, vegetación y energía potencial, Velocidad del flujo superficial y subterráneo, Insolación solar, evapotranspiración, distribución y abundancia de flora y fauna, flujo convergente, divergente, contenido de agua del suelo y características del suelo, aceleración del flujo, erosión/deposición y geomorfología, meteorización, humedad del suelo.
	Pendiente	DEM	
	Aspecto	DEM	
	Curvatura en planta	DEM	
	Curvatura del perfil	DEM	
	Curvatura tangencial	DEM	
Radiación solar	DEM		
Relacionados con el agua	FL	DEM	Velocidad de escorrentía y energía potencial
	FA	DEM	Velocidad de escorrentía, volumen de escorrentía y energía potencial
	SPI	DEM	Poder erosivo del flujo de agua
	TWI	DEM	Contenido de agua del suelo
	Proximidad a los ríos.	DEM	Susceptible a la socavación de laderas
Antrópicos	Carreteras y caminos	Fotografías aéreas	Derrumbe desencadenado por el corte de la vía y vibraciones generadas por los vehículos
PRM	Inventario de PRM	Fotografías aéreas, estudios de campo	Patrón espacial de zonas inestables

Tabla 1. 11 Fuentes y significados de los factores utilizados en el análisis. (Regmi *et al.*, 2010).

Por lo anterior, no es posible proporcionar pautas estrictas sobre el tipo de datos requeridos para un análisis de PRM en forma de una lista uniforme prescrita. La selección de factores causales difiere dependiendo de la escala de análisis, las características del área de estudio, el tipo de deslizamiento y los mecanismos de falla (Corominas, 2014).

Neulands (1976), realizó uno de los primeros trabajos sobre las diferentes unidades litológicas, identificando 31 variables se correlacionaban con los PRM (Chacón *et al.*, 2006). (Regmi *et al.*, 2010) identifica 17 variables relevantes en 6 grupos de datos (Tabla 1.11), detallando las clases y los pesos asignados a cada una de ellas. Corominas (2014) agrupa 36 variables en 6 rubros (Tabla 1.12) que tienen relevancia en el análisis de PRM.

Grupo	Parámetros	Relevancia para la susceptibilidad a PRM y a la evaluación del peligro	Tipo de factor		Mecanismos del PRM			
			C	T	R	S	L	
Topografía	Elevación, energía del relieve	Las diferencias de elevación resultan en energía potencial para los movimientos de la pendiente	●			H	C	H
	Rango de pendiente	El rango de la pendiente es el factor predominante en los deslizamientos de tierra	●	●		C	C	C
	Dirección de la pendiente	Podría reflejar diferencias en la humedad del suelo y la vegetación, y juega un papel importante en relación con las discontinuidades	●			C	M	M
	Longitud de pendiente, forma, curvatura, rugosidad	Indicador de la pendiente hidrológica, importante para el modelado y trayectoria de desplazamiento	●			C	H	H
	Dirección del flujo y acumulación	Utilizado en el modelado hidrológico de pendientes, por ejemplo, para el índice de humedad	●			M	C	H
Geología	Tipos de rocas	Determinar las propiedades de ingeniería de los tipos de roca	●			C	H	C
	Meteorización	Tipos de meteorización (física/química), profundidad de la meteorización, las zonas de meteorización individuales y la edad de los cortes son factores importantes	●			C	H	H
	Discontinuidades	El conjunto de las discontinuidades y sus características, se relacionan con la dirección de la pendiente y su inclinación	●			C	M	H
	Aspectos estructurales	La estructura geológica se relaciona con el ángulo/dirección de la pendiente	●			H	H	H
	Fallas	Distancia a fallas activas o ancho de zonas de falla	●			H	H	H
Suelos	Tipos de suelo	El origen del suelo determina sus propiedades y geometría	●			L	C	H
	Profundidad del suelo	En formaciones superficiales, la profundidad determina el potencial de volumen móvil	●			L	C	H
	Propiedades geotécnicas	Tamaño de grano, cohesión, ángulo de fricción, densidad aparente	●			L	C	H
	Propiedades hidrológicas	Volumen de poro, conductividad saturada, curva PF	●			L	H	H
Hidrología	Agua subterránea	Variaciones espaciales y temporales en la profundidad del nivel freático, niveles freáticos elevados, frentes húmedos, presión intersticial, succión del suelo	●	●		L	H	H
	Humedad del suelo	Variaciones espaciales y temporales en el contenido de humedad del suelo	●	●		L	H	H
	Componentes hidrológicos	Intercepción, evapotranspiración, caída, flujo superficial, infiltración, percolación, etc.	●	●		M	H	H
	Red de flujo y densidad de drenaje	Zonas de amortiguamiento alrededor de los arroyos; evaluación a pequeña escala del drenaje, la densidad se puede utilizar como indicador del tipo de terreno	●			L	H	H
Geomorfología	Ambiente Geomorfológico	Alpina, glacial, periglacial, denudatorio, costera, tropical, etc.	●			H	H	H
	Viejos PRM	Las características del material y del terreno cambian, haciendo que estos lugares sean más propensos a reactivaciones	●			M	H	C
	Actividad pasada de PRM	La información histórica sobre la actividad de PRM suele ser crucial para determinar los peligros y el riesgo de estos fenómenos	●			C	C	C
Uso de la tierra y factores antrópicos	Uso actual del suelo	Tipo de uso del suelo/cobertura del suelo, tipo de vegetación, cobertura del dosel, enraizamiento, profundidad, cohesión radicular, peso	●			H	H	H
	Cambios en el uso de suelo	Variaciones temporales en el uso del suelo/cobertura del suelo	●	●		M	C	H

Transporte / infraestructura	Zonas de amortiguamiento alrededor de caminos en áreas inclinadas con cortes	●		M	H	H
Edificios	Cortes de taludes realizados para la construcción de edificios	●	●	M	H	H
Drenaje y redes de riego	Las fugas de dichas redes pueden ser una causa importante de PRM	●	●	L	H	H
Canteras y minería	Estas actividades alteran la geometría del talud y la distribución de tensiones. Las vibraciones ocasionadas por los trabajos de explotación pueden desencadenar PRM	●	●	H	H	H
Presas y cuerpos de agua	Los embalses cambian las condiciones hidrológicas del terreno y las represas de relaves o jales mineros pueden fallar	●	●	L	H	H

La relevancia se indica como C (crucial), H (muy importante), M (moderadamente importante) y L (menos importante). Se indica el tipo de factor como C (factor condicionante) o T (factor desencadenante)

Tabla 1. 12 Descripción general de los factores que controlan la ocurrencia de PRM y su relevancia en la evaluación de la susceptibilidad y peligro para diferentes procesos (R = desprendimientos de rocas, S = deslizamientos de tierra superficiales y flujos de escombros, L = deslizamientos de tierra grandes y lentos). (Corominas *et al.*, 2014).

Capítulo II. La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

2.1 Caracterización del área natural protegida

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) es un área natural protegida emblemática para México, inclusive a nivel internacional (CONANP, 2001; Galindo-Leal y Rendón-Salinas, 2005). El proceso mediante el cual se decretó la protección de dicha área ha comprendido la publicación de tres declaratorias oficiales, la primera de ellas en 1980, seguida de otra en 1986 y la última en el año 2000, adecuando los límites en 2009, vigente a la fecha (Zubieta-Hernández, 2007).

Actualmente, la Reserva cubre 56,259 hectáreas en el límite de los Estados de México y Michoacán (Figura 2.1), y está conformada por la zona núcleo (bosques donde hiberna la Mariposa Monarca) y la zona de amortiguamiento (en donde puede haber aprovechamiento forestal sostenible) cuya función es disminuir las presiones humanas sobre el hábitat de hibernación de esta mariposa (López-García, 2006).

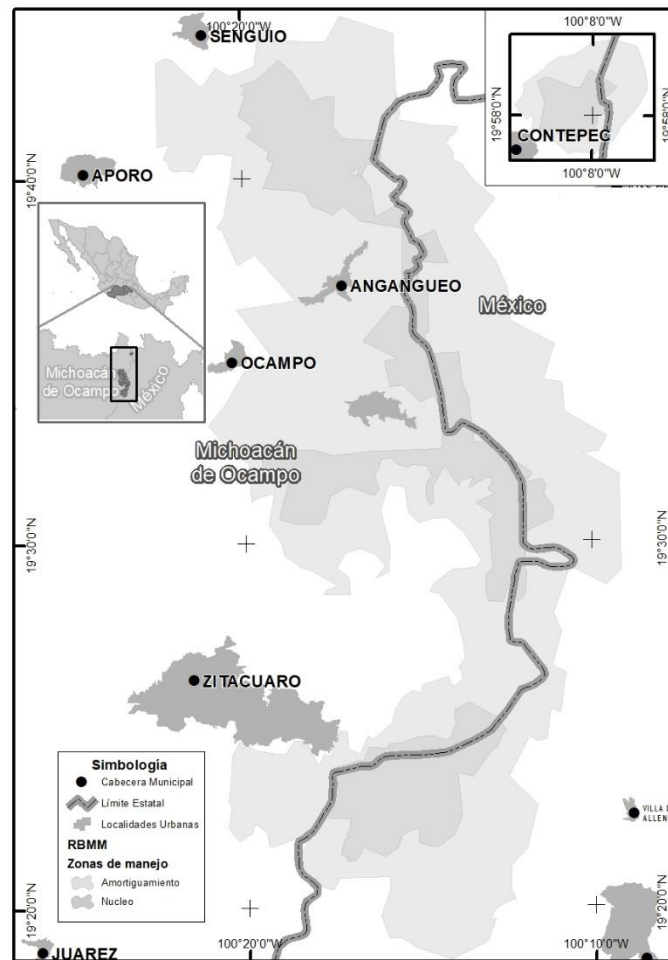


Figura 2. 1 Localización de la RBMM en el contexto nacional.

La RBMM está caracterizada por lo accidentado de su relieve, el predominio de fuertes pendientes y la permeabilidad de su suelo que ocasionan en la zona una importante área de captación pluvial, lo que genera diversos manantiales, ocho presas y numerosos cuerpos de agua en los estados de Michoacán y de México, por lo cual la reserva contribuye de manera importante al balance hídrico de las cuencas hidrológicas de los ríos Balsas y Lerma que abastecen a los centros urbanos y localidades de la región, así como a las ciudades de México y Toluca (Figura 2.2).

Además, alberga una gran biodiversidad, incluyendo cinco tipos de vegetación; como son los Bosques de Oyamel, Pino y Oyamel, de Pino, Encino y el Bosque de Cedro, 184 especies de vertebrados, 4 anfibios, 6 reptiles, 118 aves, 56 mamíferos, y sin embargo, es el lepidóptero conocido con el nombre de Monarca que por su peculiar ciclo de vida y por las características de su metabolismo el que identifica y da su nombre a la reserva (Diario Oficial de la Federación, 2000).



Figura 2. 2 Relieve y vegetación en la RBMM.

Muchas de las zonas de alta biodiversidad ecológica, donde normalmente se promueve el establecimiento de ANP, se caracterizan por el incremento de la población local, grandes rasgos y padece de pobreza, escasas oportunidades de empleo, acceso desigual a los recursos naturales, y nula participación en la toma de decisiones (Zimmerer y Basset, 2003; Stonich, 1998).

Aunado a la población local, existe una gran cantidad de actores sociales interesados en el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales de las ANP, incluyendo gobiernos, organizaciones no-gubernamentales (ONGs) y empresas privadas de diferentes clases y competencias (locales, estatales, nacionales e internacionales), entre otros (Brenner, 2006; Geist, 1999; Cohan, 2007).

Para los fines de esta investigación se consideró determinante la continuidad en el territorio, ya que mantener el principio de conectividad permite llevar a cabo el análisis entre los principales componentes del medio, de tal manera es importante mencionar que la zona de la RBMM identificada como cerro Contepec, será excluida por el principio antes mencionado. Expresando con claridad que las coordenadas extremas de la zona en estudio son las localizadas entre los paralelos 19°18' y 19°45' latitud Norte, así como entre los meridianos 100°9' y 100°23' de longitud Oeste, con una superficie de 54,488.84 ha. (Figura 2.1).

Es importante mencionar que en este capítulo, los elementos que describen el territorio se abordan según la propuesta de Bertrand (1968 y 1972), retomada por García-Romero y Muñoz-Jiménez (2002), modificada de Leautaud-Valenzuela (2014), con respecto a algunas particularidades que tienen lugar en esta región.

2.2 Subsistema abiótico

Están incluidos los componentes materiales y energéticos del sistema territorial, no relacionados con la actividad biológica y que, considerados como la base del territorio, son aprovechados por los elementos vivos del sistema.

2.2.1 Geología

La extensión territorial que comprende la reserva hace igualmente variados los tipos de rocas que podemos encontrar en ella; cada una de ellas derivada de procesos geológicos diversos, que tuvieron lugar originalmente entre el Jurásico superior y el Cretácico inferior; algunas de estas corresponden a rocas sedimentarias del tipo de las calizas y areniscas, dispuestos principalmente al centro-sur de la reserva. Ambos tipos de rocas actualmente dispuestas de manera escasa, dada la antigüedad del proceso de formación.

Después de Cretácico medio y hasta el Eoceno, la actividad geológica de la región se torna en aparente calma, y la expresión litológica deriva principalmente en asociaciones de rocas sedimentarias del tipo de areniscas-conglomerado.

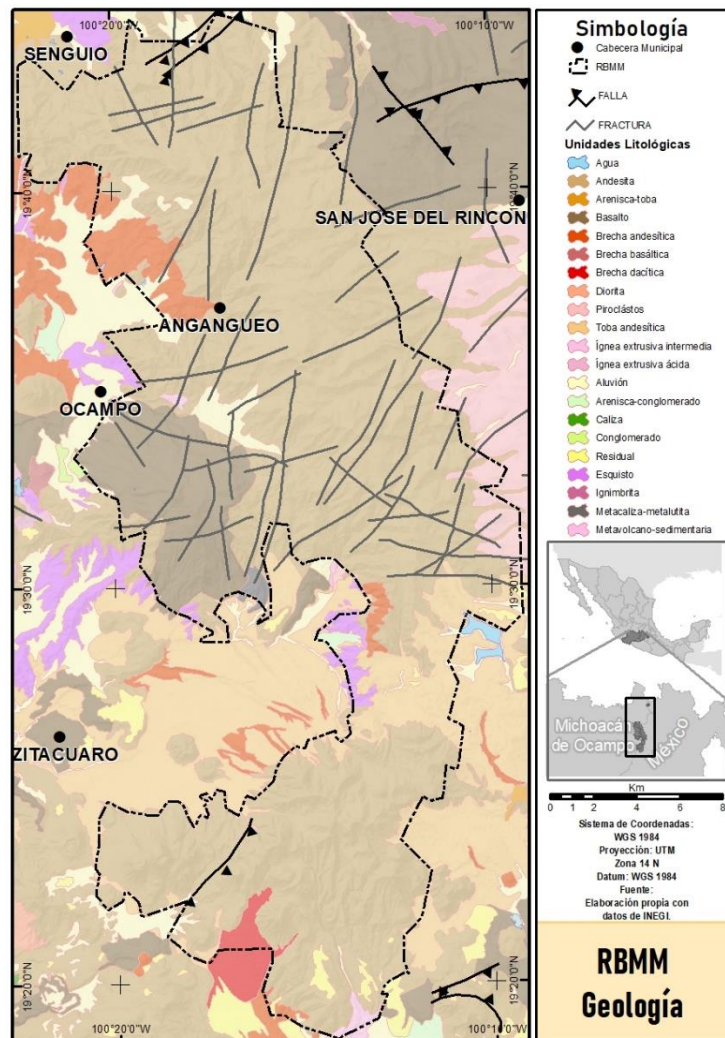


Figura 2. 3 Unidades litológicas en la RBMM.

Posterior al Oligoceno y durante gran parte del Mioceno, Plioceno y Pleistoceno, tuvo lugar una intensa actividad volcánica que dio lugar al denominado Sistema Volcánico Transversal, el cual ha mostrado variedad en los tipos de vulcanismo, así como diversidad en las rocas dispuestas a lo largo de casi toda la reserva, lo que sugiere migración a través del tiempo geológico. Dacitas, dioritas, basaltos, tobas y en mayor extensión territorial andesitas, todas ellas presentan asociaciones litológicas, derivadas de la intensa actividad volcánica, que de manera secundaria dadas las rocas preexistentes, dieron paso a la formación de rocas metamórficas del tipo esquistos, metalutitas y metacalizas, distribuidas al centro, oeste y noroeste de la reserva (Figura 2.3).

Es así, que cerca del 93% de la reserva presenta rocas de origen volcánico del Cenozoico, seguidas por cerca de un 6% de rocas sedimentarias y metamórficas, principalmente del

Mesozoico, sin descartar los aluviones recientes producto de procesos de denudación cuaternarios.

Es importante resaltar la presencia en todas direcciones de fallas y fracturas producto también de la intensa actividad volcánica, las primeras en su gran mayoría son de tipo normal, cuya orientación dominante es dirección NW-SE, producto de los conos volcánicos asociados a estas estructuras; y las fracturas con dirección predominante NE-SE producto de tensiones diagonales (SGM, 2000).

2.2.2 Geomorfología

La RBMM se ubica al centro del Sistema Volcánico Transversal, este sistema atraviesa el país en la porción central, con dirección predominante noroeste-sureste, entre los paralelos 19° y 22° de latitud Norte. La región se caracteriza por lo accidentado de su relieve, ya que posee altitudes que van desde los 2,000 a los 3,800 msnm. La diferencia altitudinal, se refleja en menos de 30km de longitud, lo que evidencia la energía del relieve en el área, cuya máxima elevación corresponde a la Sierra el Campanario y la mínima altitud se ubica al suroeste, aledaña a la comunidad El Capulín.

Entre las generalidades que caracterizan la zona, se puede hablar del rango de las pendientes, las cuales alcanzan valores promedio de 14°, hasta algunos por encima de los 60°, siendo los rangos de mayor frecuencia, los clasificados entre 10 y 20° de pendiente, que corresponde al 33.8% de la reserva, seguido por el rango de 20 a 30°, cuyo valor de representación es del 28%. Otro rasgo que vale la pena mencionar es la orientación de laderas, las cuales cerca del 16% están dispuestas hacia el Sur, seguidas con un 15%, las que se encuentran al Oeste, y en tercer lugar con 14% las orientadas al Suroeste; Las de menor representación son las orientadas al Norte, con apenas 9.5%.

Conforme a las generalidades anteriores, así como en referencia a la geología de la zona, es que se llegó a la clasificación geomorfológica, la cual se delimitó de acuerdo con su forma, origen y proceso modelador, obteniendo nueve formaciones que se subdividen en 29 unidades morfogenéticas relacionadas, la mayoría de ellas, a un relieve de origen volcánico (Figura 2.4).

Las formas de relieve identificadas en la RBMM son producto del modelado diferenciado, resultado de la actividad endógena y exógena que ha labrado la litología en el área a lo largo del tiempo geológico. De acuerdo con el trabajo inédito realizado por el Dr. Mario Arturo Ortiz-Pérez, según López-García (comunicación personal) en la RBMM se logran clasificar nueve formaciones geomorfológicas, que se detallan en la Tabla 2.1 y se describen en Machado *et al.*, (2012). El relieve con mayor expresión dentro de la RBMM, es el *Montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial*, ya que se encuentra en casi el 30% de la misma, seguido por los *Valles fluviales de laderas montañosas*, que se expresan en el 18% de la RBMM, para finalmente contar con poco más del 10% los *Derrames lávicos con mantos volcano-clásticos y de suelos residuales*.

	Formación	Unidad	Área (Ha)	(%)
1	Relieve montañoso dislocado	1 Escarpes de falla	237.78	0.44
2	Relieve montañoso volcánico-erosional	2 Cañones	62.85	0.12
		3 Cráteres	210.37	0.39
		4 Depresiones Volcánicas	366.08	0.67
		5 Derrames lávicos con mantos volcanoclásticos y de suelos residuales	5,639.28	10.35
		6 Ladera inestable con procesos denudatorios erosivos	584.49	1.07
3	Relieve montañoso fluvio-erosional	7 Montañoso denudatorio de interfluvios cumbrales	3,447.88	6.33
		8 Montañoso denudatorio de interfluvios cumbrales de menor altitud	25.02	0.05
		9 Montañoso denudatorio de laderas escasamente inducidas por la red torrencial	2,901.92	5.33
		10 Montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial	15,900.77	29.18
		11 Valles en cimas altas y cimas puntiagudas	668.62	1.23
4	Relieve colinado o lomerío estructural-erosional	12 Laderas altas de interfluvios con aristas encadenadas y cimas agudas	1,804.47	3.31
5	Relieve colinado volcánico-erosional	13 Edificios volcánicos de laderas modeladas	2,041.94	3.75
		14 Edificios volcánicos de laderas primarias	813.18	1.49
		15 Laderas de valles intermontanos	2,220.77	4.08
		16 Lomeríos elevados coronados por derrames lávicos	1,290.04	2.37
6	Altiplanicie volcánica	17 Mesetas de lava escasamente modeladas	*	0.00
		18 Depósitos de jales mineros	*	0.00
7	Piedemonte	19 Piedemonte de derrames lávicos piroclásticos	26.95	0.05
		20 Piedemonte fanglomerático y de sedimentos volcánicos	351.06	0.64
		21 Rampa de Piedemonte coluvio deluvial	1,756.87	3.22
		22 Morfología reseca con laderas erosivas antiguas	603.43	1.11
		23 Lomeríos antiguos y rampas de Piedemonte	1,460.13	2.68
8	Planicies	24 Planicies aluviales	150.29	0.28
		25 Planicies lacustres	216.02	0.40

	Formación	Unidad	Área (Ha)	(%)
		26 Valle fluvial con perfil transversal asimétrico	94.62	0.17
		27 Valle fluvial de laderas montañosas	10,103.83	18.54
9	Valles	28 Valle fluvial en rampa de pie de monte	1,267.20	2.33
		29 Valles acumulativos	241.30	0.44
		Cuerpos de Agua	1.69	0.00
TOTAL			54,488.84	100

* Estas unidades no se encuentran dentro de la RBMM, por lo que el cálculo de su superficie no fue considerada.

Tabla 2. 1 Unidades Geomorfológicas en la RBMM.

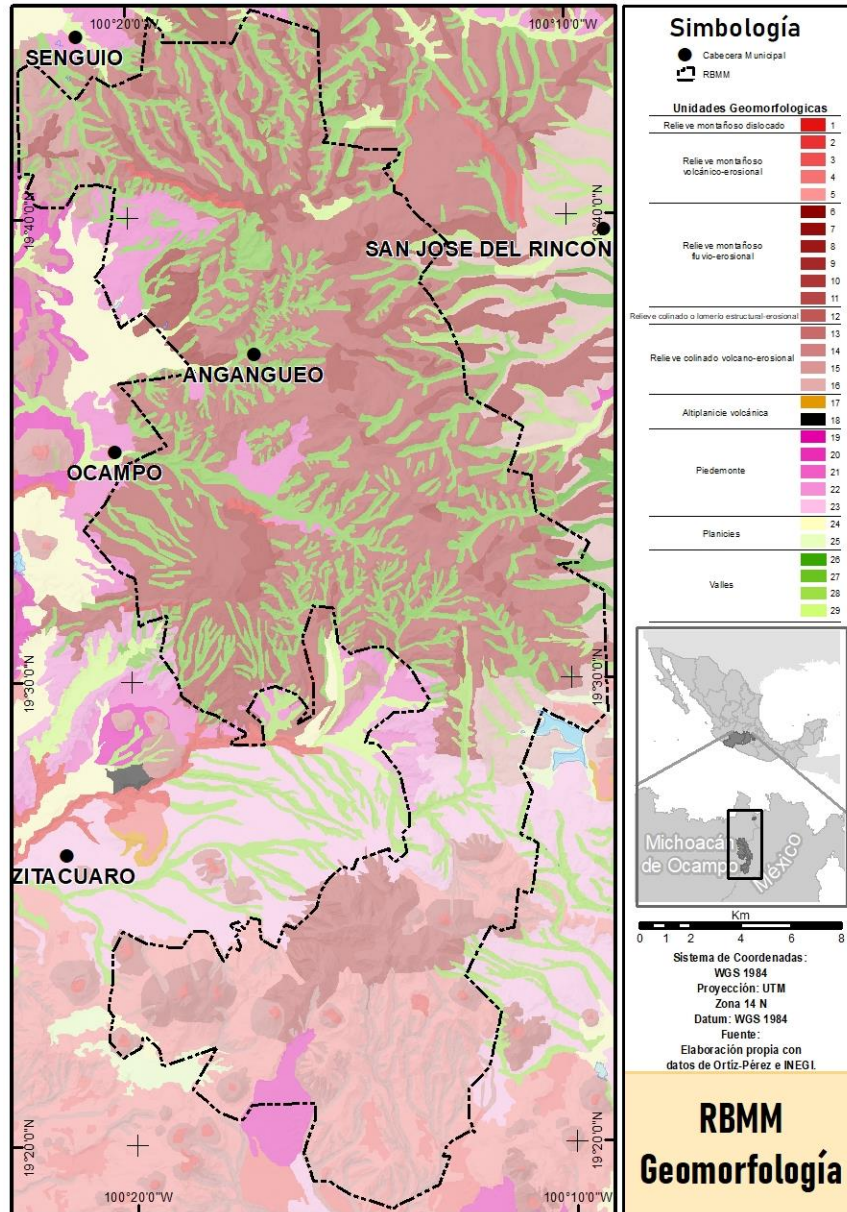


Figura 2. 4 Unidades geomorfológicas de la RBMM.

El Relieve montañoso dislocado está constituido por un área al norte, donde se distingue con mayor precisión:

1. *Escarpes de falla*. Corresponde a los escarpes formados por la actividad tectónica de la zona. Consiste en un frente rocoso disectado por una alta densidad de torrentes (mayor de 2 km²). La pendiente es superior a los 35° e imparte inestabilidad al talud, favoreciendo derrumbes de caída libre y corredores con flujos de escombros.

El Relieve montañoso volcánico-erosional está constituida por un grupo montañoso en el norte y centro, bastante amplio en extensión y altitud, donde se distinguen con mayor precisión:

2. *Cañones*. Se refiere a barrancos amplios de más de 50 m de profundidad, de paredes verticales y fondo plano acumulativo, donde se presentan procesos de disección lineal y lateral;
3. *Cráteres*. Son depresiones topográficas originadas por la actividad volcánica. Actualmente sólo en algunos domos situados al sur de la Reserva, como el Cerro Chato, Cacique, La Silla y El Piloncillo;
4. *Depresiones volcánicas*. Forma negativa del relieve que se origina por el lavado y erosión parcial del material volcánico no consolidado;
5. *Derrames lávicos con mantos volcano-clásticos y suelos residuales*. Se refiere a superficies en las que los derrames de andesita se encuentran cubiertos por suelos poco desarrollados.

Las unidades correspondientes al Relieve montañoso fluvio-erosional, están dispuestas principalmente sobre el grupo montañoso del norte y centro de la RBMM, identificando puntualmente las siguientes expresiones:

6. *Ladera inestable con procesos denudatorios erosivos*. Son superficies de declive que se localizan en las partes altas de interfluvios o en las zonas de valles intermontanos, caracterizadas por la actividad erosiva y procesos gravitacionales;
7. *Montañoso denudatorio de interfluvios cumbrales*. Comprende todas aquellas que se localizan a altitudes por encima de los 3,000 m. Generalmente se trata de las superficies de los parteaguas, en las que dominan andesitas que datan del Terciario y que han sido escasamente modeladas por los procesos de meteorización a los que están expuestas;
8. *Montañoso denudatorio de interfluvios cumbrales de menor altitud*. situadas por debajo de los 3,000 m. La presencia de estas zonas en la Reserva se limita sólo a pequeñas áreas situadas al oriente, cerca de la comunidad "La Esperanza";
9. *Montañoso denudatorio de laderas escasamente inducidas por la red torrencial*. Esta unidad se sitúa entre los 2,500 y los 3,200 m de altitud, y está compuesta por basaltos cuaternarios que han sido escasamente modelados por procesos erosivos de escorrentía laminar y de tipo concentrada;
10. *Montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial*. Relieve que se localiza en un nivel altitudinal entre los 2,600 y 3,600 m. Corresponde a laderas compuestas por andesitas y basaltos terciarios que presentan un modelado

intenso debido a procesos erosivos de arroyada superficial y concentrada. En esta unidad se originan los cauces de primer orden de la red fluvial;

11. *Valles en cimas altas y cimas puntiagudas.* Son áreas con materiales andesíticos que han sido disectadas generalmente por barrancos de 20 a 50 m de profundidad. Se localizan en la parte media y superior de los cerros Pelón y Cacique.

El Relieve colinado o lomerío estructural-erosional, se refiere a superficies denudatorias que generalmente presentan una pendiente menos acentuada, y que se distingue por las siguientes unidades:

12. *Laderas altas de interfluvios con aristas encadenadas y cimas agudas.* Integra todas aquellas laderas superiores de antiguos aparatos volcánicos que presentan fuertes declives de pendiente, generalmente mayor a 30°. La morfología se expresa con una geometría de laderas de perfil y contornos cóncavos, representados por taludes y frentes de caída libre como modelos localizados, y como procesos generalizados hay remoción de los materiales no consolidados del suelo producto del intemperismo superficial (pedregosidad).

Relieve colinado volcánico-erosional, se refiere a los materiales volcánicos que han sido escasa o fuertemente modelados por procesos erosivos, clasificándose en:

13. *Edificios volcánicos de laderas modeladas.* Domos volcánicos constituidos por andesitas que han sido fuertemente modelados, ya sea porque son más antiguos, lo que significa un mayor tiempo de exposición a procesos erosivos, o por su propia estructura, teniendo como resultado aparatos volcánicos que han perdido su condición original. En el extremo NW de la Reserva estos domos están representados por el Cerro Guadalupe, Cerro Prieto y Cerro Colorado; en el SE encontramos de este tipo el Cerro La Guitarra y en el SW el Cerro Pelón;

14. *Edificios volcánicos de laderas primarias.* Domos volcánicos constituidos por andesitas que aún conservan su aspecto original, debido al escaso modelado de las laderas, originado por una débil escorrentía difusa y concentrada. Los edificios de este tipo se ubican al sur de la Reserva, y corresponden al Cerro Chato, La Silla, La Guacamaya y el Cerro El Piloncillo;

15. *Laderas de valles intermontanos.* Corresponde a zonas de valles amplios con la sección transversal en forma de "V", disecados en el fondo del valle por procesos erosivos que forman el lecho menor, debido a una disección fluvial más reciente;

16. *Lomeríos elevados coronados por derrames lávicos.* Son lomeríos formados por material piroclástico y andesitas, que han sido disectados por barrancos generados a partir del desarrollo de procesos erosivos de escorrentía difusa y concentrada. Se encuentran comprendidos entre los 2,700 y los 2,840 m de altitud, al oriente de la Reserva, sin embargo, sólo algunas zonas situadas al SW de la Sierra de Anganguero se encuentran dentro de ella.

La formación identificada como Altiplanicie volcánica, se define como superficies amplias y planas generadas por la acumulación de materiales volcánicos, donde se *diferencian*:

17. *Mesetas de lava escasamente modeladas*. Superficie rocosa, irregular y quebrada que se encuentra comprendida en el piso altitudinal que va de los 2,800 a los 2,900 m. Está formada por lavas andesíticas con escaso modelado por procesos erosivos. Su presencia se limita a zonas situadas al sur del Cerro Denche;

18. *Depósitos de jales mineros*. Son áreas de acumulación de materiales residuales finos producto de la explotación minera. Se localizan al sur de la población de Anganguo, donde anteriormente se explotaba oro y plata.

La categoría de Piedemonte se caracteriza por tratarse de lomeríos y antiguas laderas montañosas, que se diferencian por:

19. *Piedemonte de derrames lávicos piroclásticos*. Formado por tobas andesíticas, comprendidos en un rango altitudinal que va de los 2,240 a los 2,700 m;

20. *Piedemonte fanglomerático y de sedimentos volcánicos*. La porción superior de la rampa está cubierta por un manto de materiales no clasificados, consistentes en detritos rocosos grandes y pequeños, ligeramente pulidos, sin estratificación. Se forman por las corrientes temporales que originan abanicos al pie de las montañas;

21. *Rampa de Piedemonte coluvio deluvial*. Se trata de las faldas montañosas compuestas de materiales proluviales de edad reciente. En la porción media e inferior los materiales volcánicos están disectados por barrancos de 20 a 50 m de profundidad, aunque los más importantes rebasan los 80 m. Se localizan al sur de la sierra de Anganguo, así como a la actividad volcánica de los cerros Pelón y Cacique;

22. *Morfología reseca con laderas erosivas antiguas*. Se trata de laderas compuestas por rocas metamórficas, como el esquisto, disectadas por una intensa red torrencial, que genera una superficie denudatoria donde dominan los procesos gravitatorios y de escorrentía, especialmente en las zonas afectadas por fallas tectónicas. Las pendientes son siempre menores de 25°, excepto en los escarpes de las mencionadas fallas, donde se superan los 35°.

23. *Lomeríos antiguos y rampas de Piedemonte*. Son lomeríos y antiguas rampas de piedemonte formadas por tobas andesíticas. La porción superior de la rampa está cubierta por un manto de sedimentos proluviales de edad reciente.

Las formaciones que corresponden a Planicies son superficies amplias y planas generadas por la acumulación de sedimentos, donde se diferencian:

24. *Planicies aluviales*. Se refiere a amplias extensiones formadas por procesos de acumulación de aluviones que cubren por completo el lecho rocoso y que no superan los 3° de pendiente.

25. *Planicies lacustres*. Corresponde también a superficies amplias y planas, pero que han sido modeladas por la acción de los cambios en el nivel de los lagos.

Finalmente, están las formaciones tipo Valles, las cuales son áreas de acumulación que se encuentran entre formaciones montañosas, y que se diferencian en:

26. *Valle fluvial con perfil transversal asimétrico*. Corresponde a valles de acumulación lateral asimétrico con una ribera erosiva y otra acumulativa, en los que se da una ligera disección lineal y socavación lateral;

27. *Valle fluvial de laderas montañosas*. Valles constituidos como barrancos de disección lineal formados por el corte erosivo del *talweg*, donde dominan procesos de socavación y sofusión;

28. *Valle fluvial en rampa de piedemonte*. Son valles de escasa profundidad, de fondo plano y móvil, donde predominan procesos de socavación lateral y sedimentación aluvial;

29. *Valles acumulativos*. Son valles de aluviones que se localizan en las porciones más bajas formando planicies locales entre los principales sistemas intermontanos. Los procesos dominantes son sedimentación aluvial, socavación lateral y acreción de gravas y arenas.

2.2.3 Hidrografía

En función de los principales escurrimientos, la RBMM se ubica en la vertiente del Pacífico, particularmente se trata del parteaguas entre dos regiones hidrológicas. Al norte, se encuentra la región Lerma-Santiago cuya cuenca del río Lerma-Toluca (Figura 2.5), incluye las subcuencas Cavichi y Jaltepec. La zona centro y sur de la reserva pertenecen a la región hidrológica del Balsas, cuyas aguas escurren a la cuenca del río Cutzamala, la cual está integrada por las subcuencas Tuxpan, Zitácuaro y Tilostoc (Tabla 2.2).

El relieve montañoso que caracteriza gran parte de la zona de estudio presenta una intensa disección fluvial que origina fuertes pendientes y escasez de depósitos aluviales, condiciones que producen una alta permeabilidad, por lo que las corrientes superficiales se encuentran poco desarrolladas, aunque se presentan en gran cantidad. De ahí que en general se desarrollen drenajes de tipo dendrítico, debido a que los cursos de los ríos son pequeños, cortos e irregulares, y drenan en todas direcciones, cubren áreas amplias y llegan al río principal formando cualquier ángulo (Machado *et al.*, 2012).

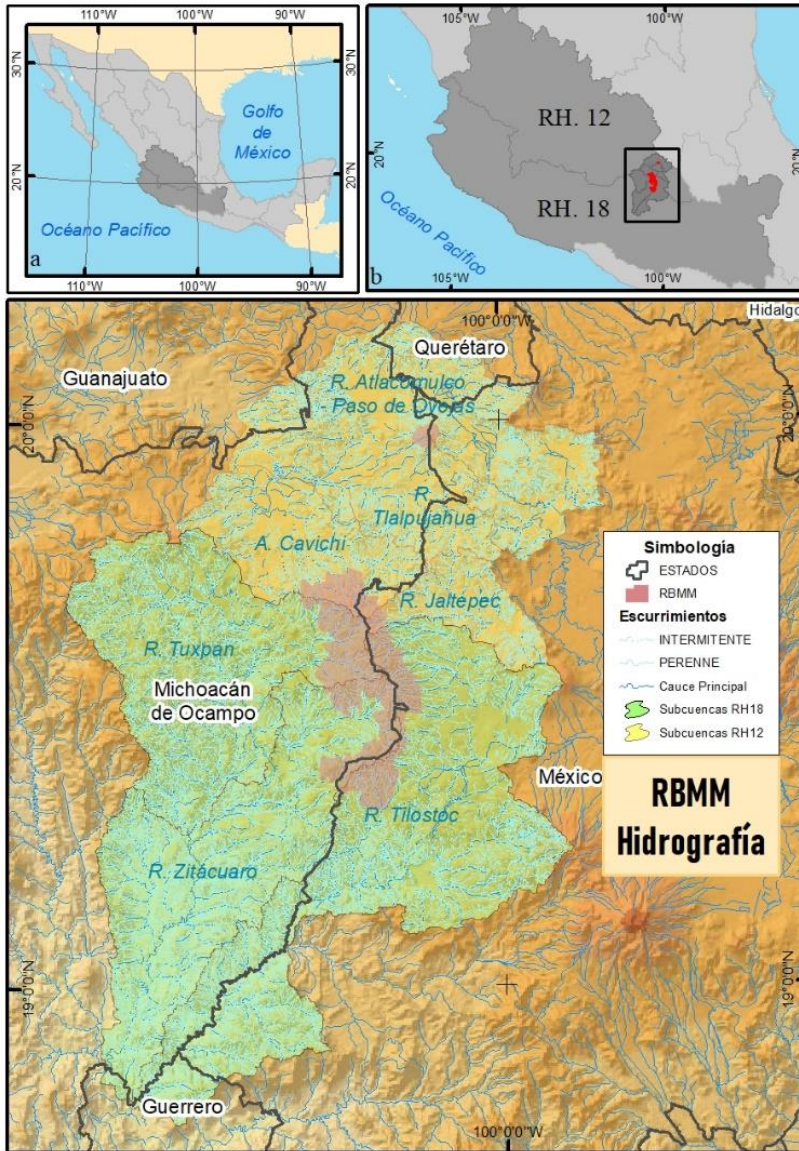


Figura 2. 5 Hidrografía de la RBMM. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

VERTIENTE DEL PACÍFICO				
Regiones Hidrológicas				
XII. LERMA-SANTIAGO			XVIII. BALSAS	
Cuencas				
Río Lerma-Toluca			Río Cutzamala	
Subcuencas				
<i>A. Cavichi</i>	<i>Río Jaltepec</i>	<i>Río Tuxpan</i>	<i>Río Zitácuaro</i>	<i>Río Tilostoc</i>

Tabla 2. 2 Orden de corrientes que componen la hidrografía.

2.2.4 Clima

Registro meteorológico

De acuerdo con la información reportada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el registro meteorológico con el que cuenta la RBMM y su área de influencia, consta de 143 estaciones climatológicas, de las cuales solo tres se encuentran ubicadas dentro del polígono del área natural protegida y el resto se encuentran en un área de influencia, calculada en promedio a 30 km de los límites extremos de la reserva (Anexo 1).

Dichas estaciones han operado en promedio 39 años, algunas con datos desde 1923; A lo largo de esos años, los periodos de observación han sido diversos y se muestran en la Figura 2.6; actualmente se encuentran activas 74 estaciones.

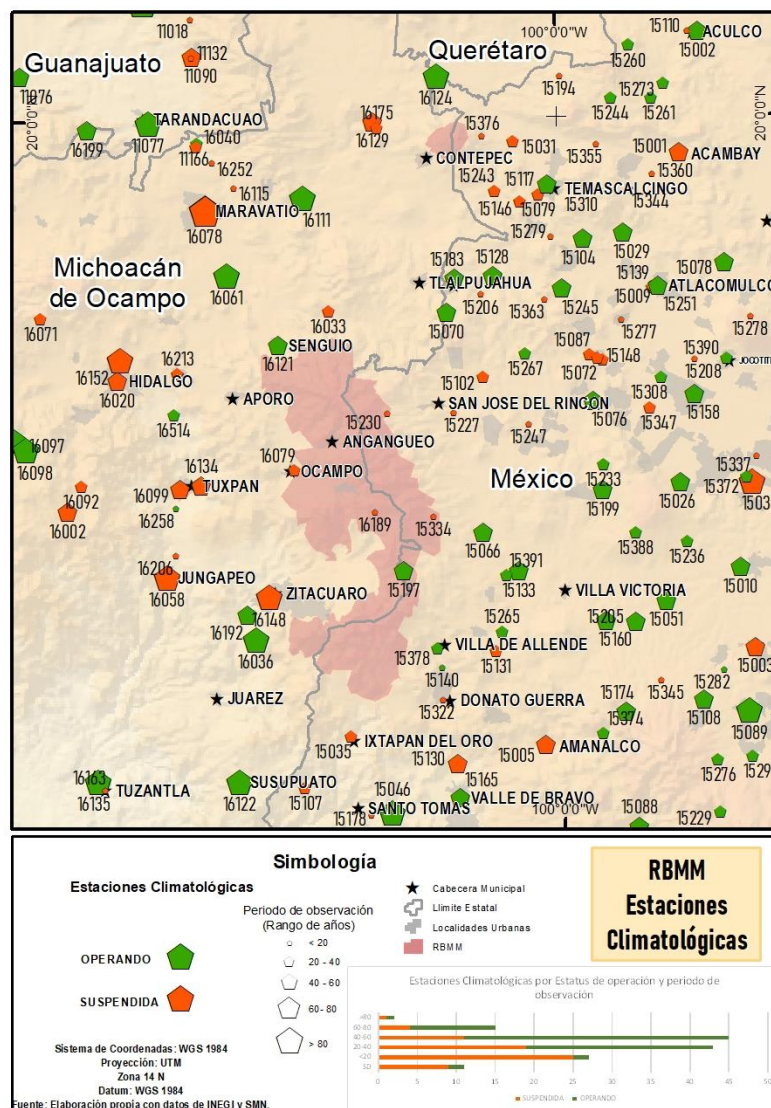


Figura 2. 6 Estaciones Climatológicas del SMN.

Clasificaciones climáticas

Con respecto a las variables que definen este rubro, se puede mencionar que en la RBMM, la temperatura media anual oscila entre 8° y 22°C, la temperatura del mes más frío va de -3°C a 18°C, la temperatura del mes más caliente está por debajo de 22°C. En lo que respecta a la precipitación, generalmente ocurren durante el verano y oscila en promedio entre los 700 a 1250 mm anuales. Mayo es normalmente el mes más seco, con lluvias menores a 40 mm y el porcentaje de lluvia invernal varía del 5 al 10.2% del total anual (Tabla 2.3).

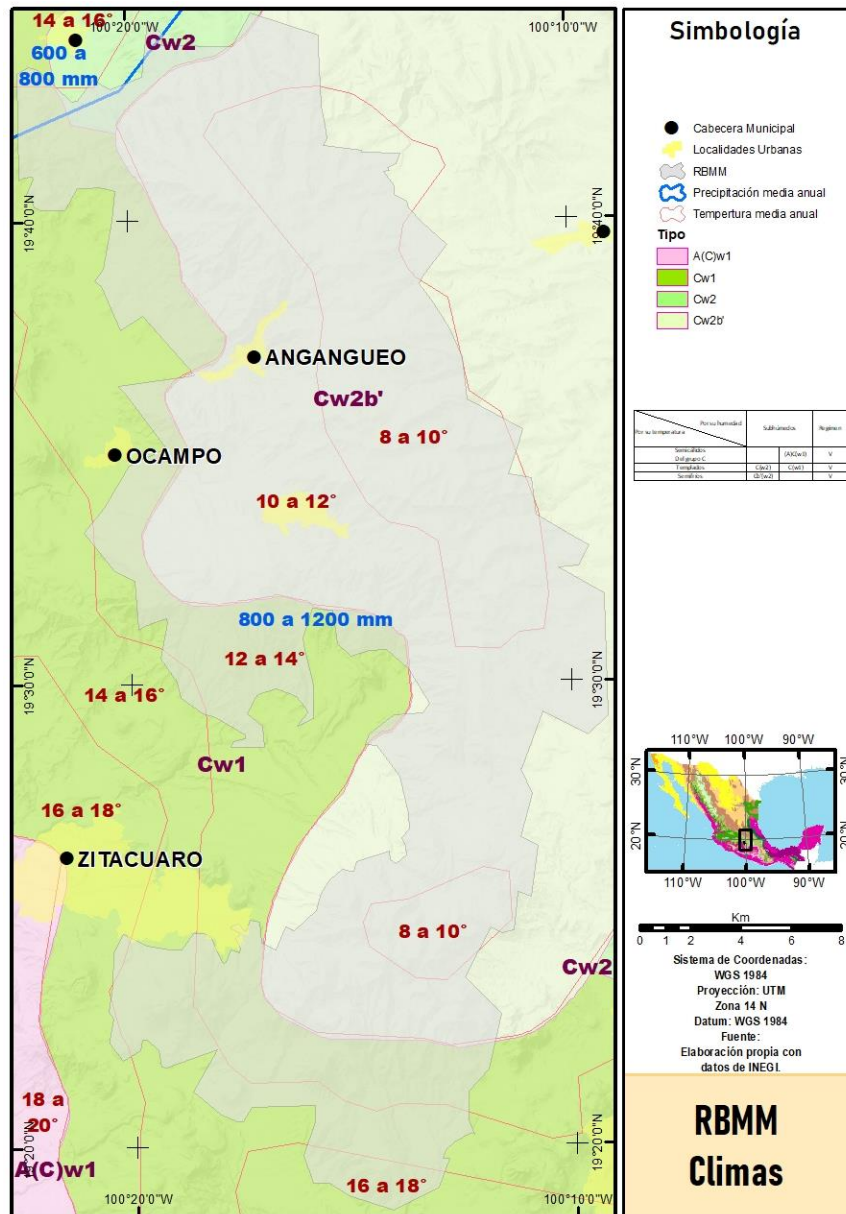


Figura 2. 7 Climas en la RBMM.

Respecto de los valores antes mencionados y considerando la clasificación climática de Köppen (1936), en la RBMM se identifica una sola unidad climática, templado con lluvias de verano (Cw), sin embargo, dada la modificación a la clasificación climática de Köppen, realizada para México por García (1998), resultan tres unidades climáticas: dos variantes del clima templado, y un frío que abarca la mayor parte del área natural protegida (Figura 2.7).

Por su temperatura \ Por su humedad	Subhúmedos		Régimen
Semicálidos Del grupo C		A(C)w1	V
Templados	Cw2	Cw1	V
Semifríos	Cw2b'		V

Tabla 2. 3 Clasificación climática de la RBMM, según sistema de modificación climática de Köppen modificado por García (1998).

Climas templados

- **Cw2.-** Templado, subhúmedo, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, con temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. Localizado al noroeste y sureste de la RBMM.
- **Cw1.-** Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Ubicado en la zona poniente de la RBMM.

Clima semifrío

- **Cw2b'** Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. Extendiéndose en la mayor parte de la RBMM.

2.3 Subsistema biótico

Comprende los componentes derivados de la actividad biológica, que dinamizados por el potencial abiótico del geosistema, conducen a procesos de adaptación, disseminación, y competencia entre los organismos y formaciones vivas, con su prolongación al nivel de los suelos, todos ellos necesarios para la adaptación de la vida al ambiente cambiante del geosistema.

2.3.1 Edafología

Son varios los elementos que influyen en la formación del suelo, destacan por su importancia el material parental, el relieve, el clima, los organismos y el tiempo, donde cada elemento se combina e interactúa en la evolución y desarrollo de suelo (Nuñez-Solís, 2000).

Al predominar los materiales volcánicos relativamente jóvenes en la RBMM, los suelos se ven sumamente influenciados por la litología. De acuerdo con la clasificación realizada por INEGI (2021), según la base para la referencia del suelo en el mundo (WRB, 2014), así como los puntos de verificación realizados mediante perfiles de suelo, no es extraño abunden en la reserva los suelos del tipo de los Andosoles (73.9%) y Luvisoles (22.3%), ambos en conjunto suman (96.2%) del total, seguidos de los Leptosoles con el 1.8%, Vertisoles con el 1.0% y Phaeozem con el 0.1%. Finalmente, los cuerpos de agua y las localidades representan el 1.0% restante del territorio en estudio (Figura 2.8).

Los Andosoles (Del japonés *an*, negro, y *do*, suelo.) Son suelos que se distribuyen en zonas montañosas de origen volcánico reciente, derivan principalmente de cenizas, tufa, pómez, entre otras. Muy ligeros en peso debido al abundante alófono o complejos de aluminio-humus en los primeros 30 cm de profundidad. Tienen una consistencia resbaladiza. Si bien los Andosoles son fáciles de cultivar y tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua, cuando están situados en ladera es preferible conservarlos con su vegetación original. Presentan frecuentemente valores superiores a 3.0% de carbono orgánico y se erosionan rápidamente por deforestación y remoción de raíces. En la RBMM, se localizan en la mayor parte de la misma, exceptuando zonas al noroeste, centro y sur.

Los Luvisoles (Del latín *luere*, lavar) suelos rojos, grises o pardos claros, susceptibles a la erosión especialmente aquellos con alto contenido de arcilla y los situados en pendientes fuertes. Los Luvisoles son generalmente fértiles para la agricultura. Son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla), arcillas de alta actividad y una alta saturación con bases a alguna profundidad. Estos también derivan de materiales volcánicos, cuya evolución y permeabilidad en los horizontes superficiales ha transportado (lavado) las arcillas hacia los horizontes inferiores. Los Luvisoles muy lixiviados pueden tener un horizonte eluvial álbico entre el horizonte superficial y el horizonte subsuperficial árgico. En pendientes fuertes requieren medidas de control de la erosión.

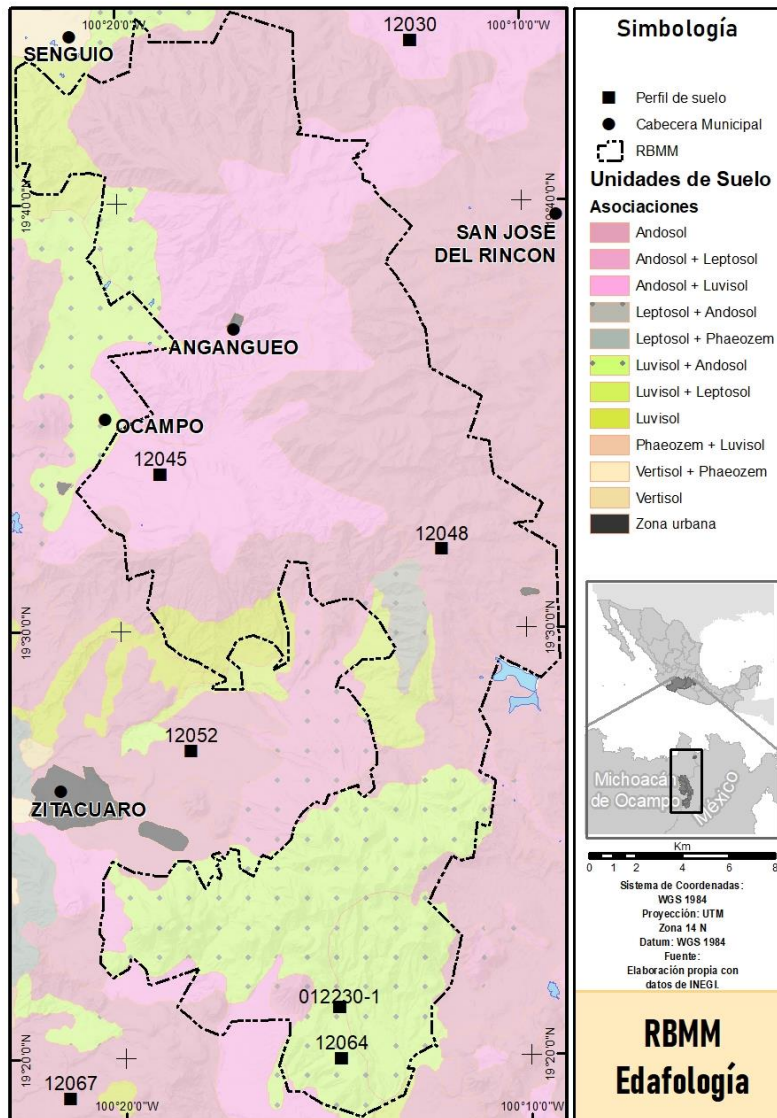


Figura 2. 8 Principales tipos de Suelo en la RBMM.

La ubicación de estos suelos en la RBMM se ubica principalmente hacia el Sur, en la zona de Cerro Pelón y Cerro El Cacique, así como en la zona centro de Crescencio Morales, Donaciano Ojeda y Carpinteros.

Los Leptosoles (Del griego *leptos*, delgado) son suelos muy someros sobre rocas a poca profundidad (<0.25 m) o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. anteriormente estaban incluidos en el grupo de los Litosoles (Del griego *Lithos*, piedra). Son muy susceptibles a la erosión. Se localizan generalmente en las zonas montañosas con más de 40% de pendiente, tal es el caso de las zonas montañosas al centro de la RBMM, y al Oeste, ya fuera del área natural protegida.

Los Vertisoles (Del latín *vertere*, dar vuelta) Se refiere al reciclado interno constante del material de suelo, también son llamados pesados, se crean bajo condiciones alternadas de

saturación y sequía, forman grietas anchas, abundantes y profundas cuando están secos y con más de 30% de arcillas expandibles. Mediante un buen programa de labranza y drenaje son bastante fértiles para la agricultura por su alta capacidad de retención de humedad y sus propiedades de intercambio mineral con las plantas. Estos suelos se localizan fuera del área natural protegida, pero en las proximidades, hacia el Oeste, en las localidades de Loma Larga, Lomas del Sol y La Palma.

Los Phaeozem (Del griego *phaios*, oscuro, y del ruso *zemlia*, tierra.) Son suelos oscuros, ricos en materia orgánica, compuestos de material no consolidado o en tránsito por la ladera, principalmente en climas cálidos y frescos. Se desarrollan en suelos de pastizales relativamente húmedos y regiones forestales. La distribución de éstos en la RBMM es baja y solo se ubica fuera de la reserva, cerca de la localidad de La Guitarrita.

2.3.2 Vegetación y usos del suelo

La RBMM posee una superficie de 56,259 hectáreas (ha), es una de las áreas protegidas más importantes del mundo; cada año arriba a sus bosques de oyamel, pino y encino un singular insecto, la mariposa Monarca, que viaja desde el sur de Canadá y el norte de los Estados Unidos de América hacia el Sistema Volcánico Transversal (SVT), entre los estados de México y Michoacán, recorriendo cerca de 4,000 km (López-García y Vega-Guzmán, 2010).

En la Tabla 2.4, se muestran los resultados obtenidos por López-García y Vega-Guzmán, (2010), respecto a la cubierta vegetal y usos del suelo en la RBMM (Figura 2.9). Es importante destacar la abundancia del bosque mixto (23,727 ha), sobre las coníferas (17,819 ha) y latifoliadas (8,033 ha); así como enfatizar la considerable superficie utilizada para las actividades agropecuarias y el uso de suelo urbano (10,963 ha). Las principales asociaciones vegetales y usos de suelo corresponden a:

Bosque de oyamel.

Comunidades de *Abies religiosa* que se distribuye a partir de los 2,900 y 3,000 m de altitud, constituye el hábitat típico de la mariposa monarca. Se desarrolla sobre los sistemas montañosos que integran la Sierra Chincua, Campanario–Rancho Grande y Chivati-Huacal, que presentan un meso clima frío-subhúmedo. Los bosques de oyamel con vegetación secundaria corresponden a zonas perturbadas en los que se favorece el desarrollo de vegetación arbustiva representada por los géneros *Sencio*, *Eupatorium*, *Archibaccharis*, entre otros.

Bosque de encino con vegetación secundaria.

Las áreas que actualmente en la reserva se encuentran cubiertas por bosque de encino con vegetación secundaria. Son consecuencia de la sucesión del bosque de oyamel, que por acción de diversos factores de perturbación ha desaparecido, dando lugar al desarrollo

de encinares en los que predominan *Quercus laurina*, *Clethra mexicana*, *Alnus firfolia*, *Salix paradoxa*, *Buddleia Cordata* y *B. parvifolia*, entre otras.

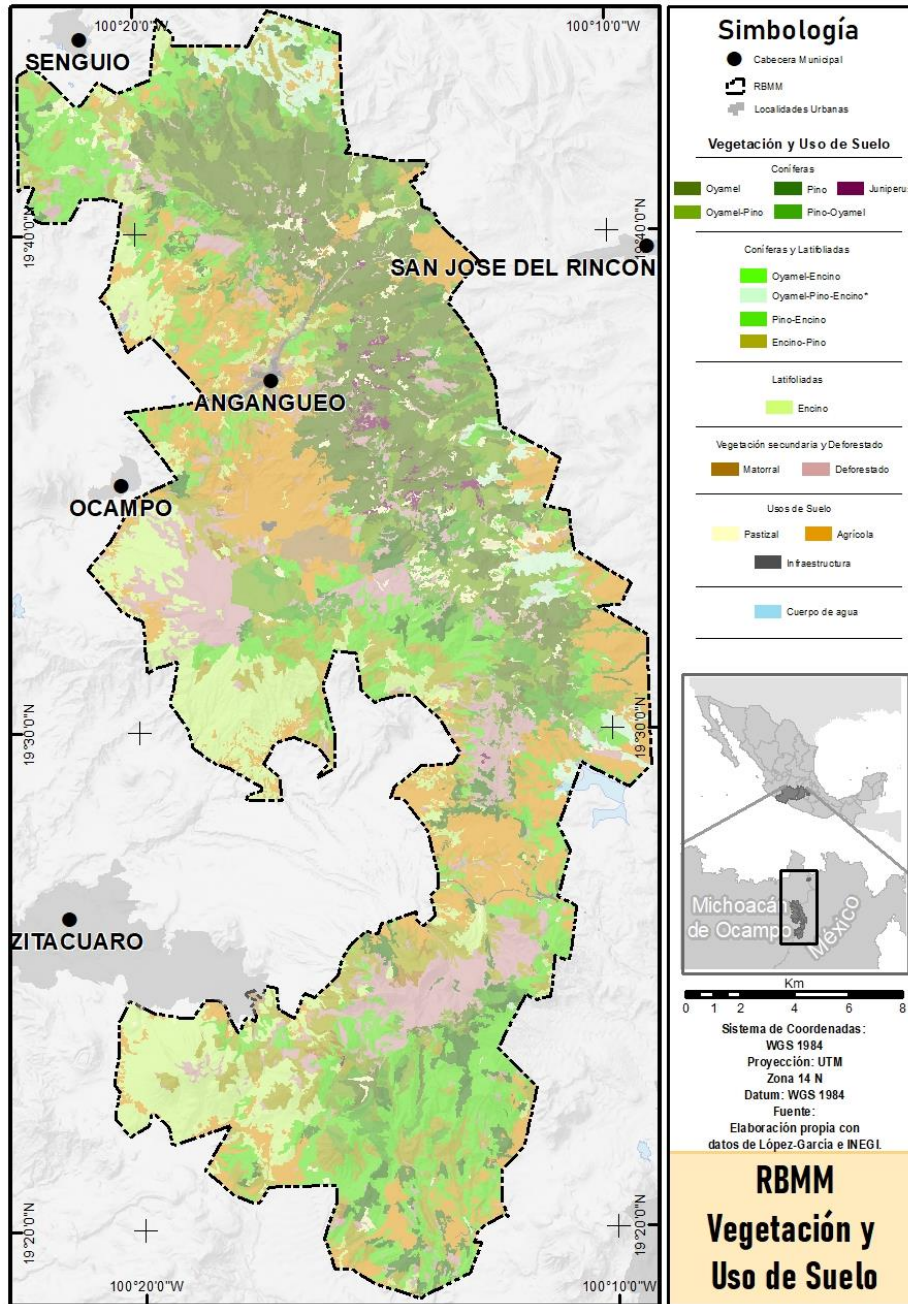


Figura 2. 9 Vegetación uso de Suelo en la RBMM.

Bosque de pino-encino.

En la reserva esta comunidad se distribuye en el piso altitudinal comprendido entre los 2,400 y 3,000 m de altitud. Se desarrollan generalmente sobre relieves montañosos con pendientes suaves y moderadas. Las especies dominantes son *Pinus pseudoestrobis*, *P. rudis*, *Quercus laurina* y *Q. rugosa*.

Pastizal.

Son aquellos pastizales naturales de praderas subalpinas o secundarios originados a partir del deterioro de pequeñas áreas ocupadas por el bosque de oyamel, que se desarrollan en superficies por encima de los 2,900 metros de altitud. Los géneros representativos de este tipo de vegetación son *Muhlenbergia*, *Bidens*, *Stipa*, *Potentilla*, *Trifolium*, *Gnaphalium* y *Viola*.

VEGETACIÓN			
TIPOS DE VEGETACIÓN	COMUNIDAD	HECTÁREAS	%
Bosque de Coníferas	Oyamel (A)	7,629	13.56
	Pino (P)	2,286	4.06
	Oyamel-Pino (Ap)	4,113	7.31
	Pino-Oyamel (Pa)	3,506	6.23
	Juniperus (J)	285	0.51
	Subtotal	17,819	31.67
Bosque Mixto	Oyamel-Encino (Qa)	89	0.16
	Pino-Encino (Pq)	8,641	15.36
	Encino-Pino (Qp)	4,997	8.88
	Subtotal	23,727	24.40
Bosque de Latifoliadas	Encino (Q)	8,033	14.28
	Subtotal	8,033	14.28
Otro tipo de cobertura	Matorral (M)	270	0.48
	Sin vegetación aparente (D)	5,446	9.68
	Subtotal	5,717	10.16
USO DE SUELO			
Pastizales	Inducido; Resultado de la tala (Pz)	930	1.65
Cultivos	Maíz, Frijol, Calabaza y otros (Ag)	9,834	17.48
Infraestructura	Zona Urbana (L)	174	0.31
Cuerpos de Agua	Embalses (H)	24	0.04
	Subtotal	10,963	19.50
TOTAL		56,259	100.0

Tabla 2. 4 Principales asociaciones de vegetación y uso de suelo, (López-García *et al.*, 2010).

Zonas agrícolas.

Las áreas agrícolas existentes dentro de la reserva corresponden a las superficies antes cubiertas por bosques de pino y encino. Su cercanía con las zonas urbanas favorece el desarrollo de una agricultura de subsistencia temporal, que provoca la erosión de los suelos forestales.

2.4 Subsistema antrópico

Corresponde a las características de ocupación, distribución y aprovechamiento del territorio por parte del hombre, pueden ser en mayor o menor medida acordes con los subsistemas anteriores. Para describir las características de la población en la zona de estudio es necesario recordar, como ya se mencionó anteriormente, que de acuerdo con los objetivos de la presente investigación, se excluye la zona norte de la reserva, es decir el área que comprende el cerro Contepec, y únicamente se considera para el presente análisis la zona sur de la RBMM, que a continuación se describe.

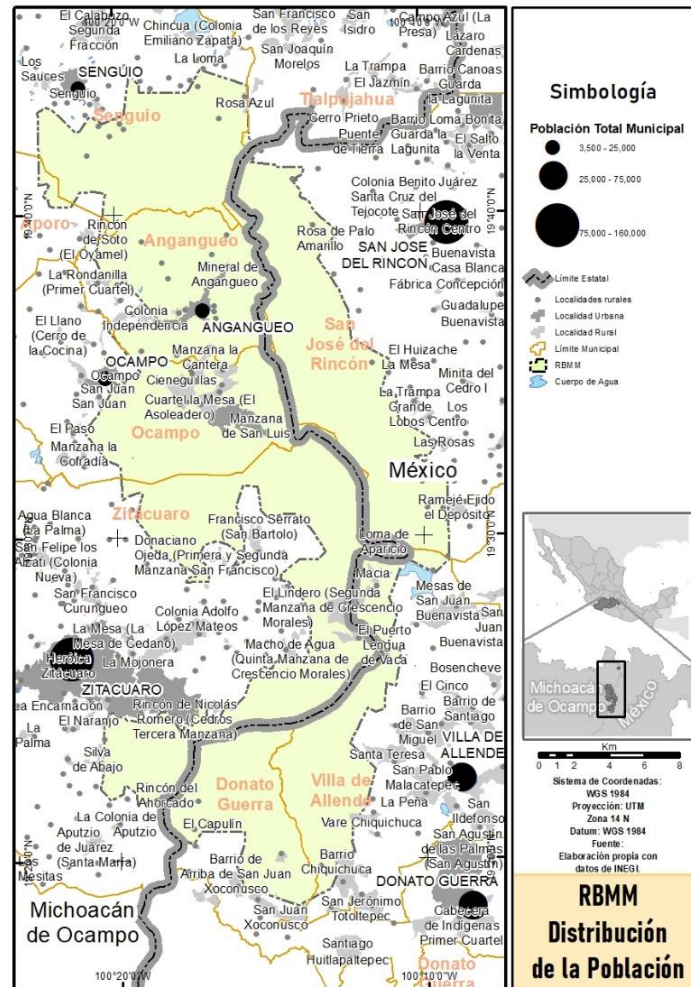


Figura 2. 10 Distribución de la Población en la RBMM.

El área de estudio está dispuesta sobre el territorio de nueve municipios, tres de ellos pertenecen al estado de México y seis al de Michoacán (Tabla 2.5). En este rubro se detallan algunos aspectos sobre la población que reside en la RBMM, su distribución, la dinámica poblacional que ha presentado en el periodo comprendido de 2000 a 2020, el Grado de Vulnerabilidad Social (CENAPRED, 2006), la red vial o de caminos y la propiedad o tenencia de la tierra; todos ellos considerados por su relación sobre la ocurrencia de los PRM.

2.4.1 Demografía

El total de localidades rurales y urbanas de los municipios que integran la reserva es de 720 localidades, sin embargo, si consideramos únicamente aquellas ubicadas a una distancia menor a 5 kilómetros de los límites de la RBMM, esta cifra se compone únicamente de 324 localidades, diez de las cuales se considera urbanas de acuerdo con el criterio poblacional del INEGI (2020), esto es por contar con más de 2,500 habitantes y el resto (314 localidades) se clasifican como rurales por no rebasar este criterio poblacional (Figura 2.10 y Tabla 2.6).

Estado	Municipio	Población total
México	Donato Guerra	37,436
	San José del Rincón	100,082
	Villa de Allende	53,275
Subtotal		190,793
Michoacán de Ocampo	Angangueo	10,892
	Aporo	3,529
	Ocampo	24,774
	Tlalpujahuá	28,556
	Senguio	19,833
	Zitácuaro	157,056
Subtotal		244,640
Total		435,433

Tabla 2. 5 Población total de los municipios que integran la RBMM (INEGI, 2020).

Estado	Municipio	Localidad	Población
Michoacán	Zitácuaro	Heroica Zitácuaro	86,901
	Zitácuaro	Rincón de Nicolás Romero	7,025
México	Donato Guerra	San Agustín de las Palmas	4,590
	Ocampo	Ocampo	4,296
Michoacán	Angangueo	Mineral de Angangueo	3,977
	Ocampo	Manzana de San Luis	3,399
México	Donato Guerra	San Juan Xoconusco	3,372
Michoacán	Zitácuaro	San Francisco Curungueo	2,886
México	San José del Rincón	San José del Rincón Ejido	2,800
Michoacán	Senguio	Senguio	2,763
(314) Localidades rurales			140,184
Total			262,193

Tabla 2. 6 Población por tipo de localidad en la RBMM (INEGI, 2020).

2.4.1.1 Dinámica de población 2000-2020

En la Tabla 2.7, se muestran las áreas urbanas que integran la RBMM, así como agrupadas en una fila, el resto de la población que habita en las localidades rurales de la RBMM y su proximidad, ordenadas por número de población. De manera general, se describe la dinámica de la población para el periodo comprendido entre 2000 y 2020, en intervalos de 10 años.

También se evaluó la tasa de crecimiento poblacional anual compuesta (TCA) para las diez localidades urbanas que integran la RBMM, así la TCA fue calculada conforme a la siguiente ecuación:

$$TCA = \left[\left(\frac{Población T_2}{Población T_1} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \quad (27)$$

Dónde: n equivale al número de años transcurridos entre T_1 y T_2 .

De manera general, se observa el lento, pero constante, crecimiento poblacional que exhiben la mayoría de las localidades para el periodo analizado, salvo la localidad de San Felipe los Alzati, la cual creció considerablemente entre 2000 y 2010, para posteriormente en el periodo de 2010 a 2020, presentar un leve descenso que ocasionó dejara de ser considerada localidad urbana.

Nombre de Localidad	Población			Tasa de Cambio % (2000-2010)	Tasa de Cambio % (2000-2020)
	2000	2010	2020		
Heroica Zitácuaro	76,771	84,307	86,901	0.94	0.62
Rincón de Nicolás Romero (Cedros Tercera Manzana)	4,929	6,213	7,025	2.34	1.79
San Agustín de las Palmas (San Agustín)	3,030	3,630	4,590	1.82	2.10
Ocampo	3,134	3,799	4,296	1.94	1.59
Mineral de Angangueo	4,816	4,601	3,977	-0.46	-0.95
Manzana de San Luis	2,125	2,996	3,399	3.49	2.38
San Juan Xoconusco	2,659	3,022	3,372	1.29	1.19
San Francisco Curungueo	2,582	2,657	2,886	0.29	0.56
San José del Rincón Ejido*	1,508	2,303	2,800	4.33	3.14
Senguio	2,010	2,707	2,763	3.02	1.60
San Felipe los Alzati (Colonia Nueva)	1,889	2,747	2,375**	3.82	1.15
Localidades rurales	112,735	137,104	140,184	1.98	1.10
Total	218,188	256,086	262,193	1.61	0.92

* El Municipio de San José del Rincón fue creado mediante el Decreto No. 36 publicado en la Gaceta del Gobierno del Estado de México el 2 de octubre del 2001.

**La Población en 2020 para San Felipe los Alzati fue incorporada al total de las localidades rurales

Tabla 2. 7 Crecimiento poblacional por tipo de localidad (INEGI, 2020).

Finalmente, en las últimas dos columnas se observa la Tasa de Cambio Anual (TCA) que han desarrollado las poblaciones. Dicho cálculo hace posible comparar la intensidad de cambio entre diferentes localidades para el mismo período. En este sentido, se observa que la TCA para el periodo de 2000 a 2020, las localidades que integran la RBMM es de 0.92 %, lo que se traduce como un incremento gradual pero constante de la población, salvo la excepción de la localidad de Angangueo, la cual presenta una TCA negativa para ambos periodos 2000 a 2010 (-0.46%) y de 2010 a 2020 (-0.95%), lo que significa que la población de esa localidad se mantiene en constantemente descenso, lo cual puede ser producto de los flujos migratorios nacionales e internacionales que se presentan, tal como se menciona en trabajos como los de Champó-Jiménez *et al.*, (2012) y Cohan, 2007.

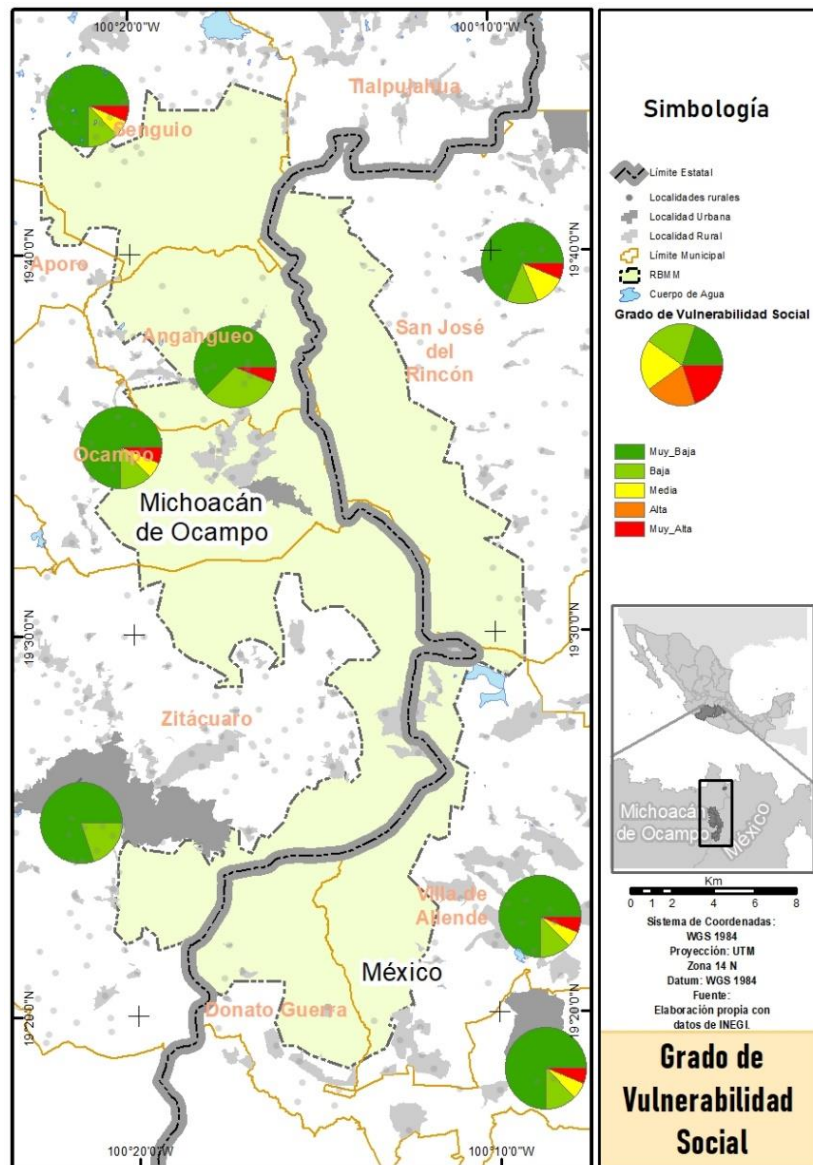


Figura 2. 11 Grado de Vulnerabilidad Social por municipio en la RBMM.

2.4.1.2 Vulnerabilidad social en la RBMM

Como ya se mencionó anteriormente, la vulnerabilidad es un concepto ampliamente desarrollado en los estudios de riesgos, algunos efectos de la vulnerabilidad social consideran la consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación; CENAPRED (2006) la define como “El conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad”, lo anterior aplicado en este trabajo significa, una menor capacidad de respuesta o protección de la población ante actores externos y su territorio, quienes atentan comúnmente contra el uso y aprovechamiento de sus recursos naturales, en este caso, los forestales.

Para el cálculo de la vulnerabilidad social en la RBMM se tomaron en cuenta las variables sobre salud, educación, vivienda, población y situación económica, con base en los datos correspondientes al censo del 2020, de acuerdo con la *Guía de Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social* del CENAPRED (2006).

Estado	Municipio	Vulnerabilidad social (%)				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
México	Donato Guerra	75.0	12.5	6.3	0.0	6.3
	San José del Rincón	68.8	12.5	12.5	0.0	6.3
	Villa de Allende	75.0	12.5	6.3	0.0	6.3
Subtotal México		72.9	12.5	8.3	0.0	6.3
Michoacán	Angangueo	62.5	31.3	0.0	0.0	6.3
	Aporo	81.3	12.5	0.0	0.0	6.3
	Ocampo	75.0	12.5	6.3	0.0	6.3
	Senguio	75.0	12.5	6.3	0.0	6.3
	Zitácuaro	80.0	20.0	0.0	0.0	0.0
Subtotal Michoacán		74.8	17.8	2.5	0.0	5.0
Total		73.8	15.1	5.4	0.0	5.6

Tabla 2. 8 Proporción de población por nivel de vulnerabilidad en cada municipio y estado (INEGI, 2020).

Resultaría impráctico describir el nivel de vulnerabilidad por cada una de las localidades, motivo por el cual en la Tabla 2.8 se presentan los porcentajes de población por rango de vulnerabilidad social, en cada uno de los municipios y estados en los que se ubica la RBMM. En dicha tabla se indica, que tanto para el estado de México, como para el de Michoacán, la vulnerabilidad se distribuye entre los primeros dos niveles: Muy Baja con valores de 72.9% y 74.8 respectivamente, así como Baja, con valores de 12.5% y 17.8% respectivamente. Los municipios más vulnerables son: San José del Rincón en el estado de México, donde se tiene un mayor porcentaje de vulnerabilidad social Media (12.5%); En menor medida los municipios de Ocampo y Senguio, en Michoacán, con el 6.3% de la población ubicada en el rango de vulnerabilidad Media. Finalmente, todos los municipios que integran la RBMM, salvo Zitácuaro, poseen el 6.3% de su población en el rango de Muy Alta Vulnerabilidad (Figura 2.11).

2.4.2 Red de caminos

Los principales accesos a la RBMM están caracterizados por dos vías de comunicación, al centro-sur, la autopista federal número 15, México-Toluca-Zitácuaro, y por el oriente y norte la carretera estatal México número 14 Villa Victoria-Tlalpujahua. Respecto al estado carretero, la autopista federal se encuentra en mejores condiciones y en general no presenta saturación, de manera regular se realizan obras de mantenimiento; respecto de la carretera estatal, se encuentra en condiciones aceptables con algunos tramos en mal estado, cuenta únicamente con dos carriles por lo que el flujo es lento, dada la saturación al tratarse de las principales vía de comunicación de la región y el tipo de vehículos que la transitan (transporte público rural, maquinaria y vehículos de carga propios del sector agrícola). Estos dos principales accesos a la región enlazan con una densa red interna de menor calidad, que comunican las cabeceras municipales y las numerosas localidades dispersas en el territorio de la RBMM (Figura 2.12).

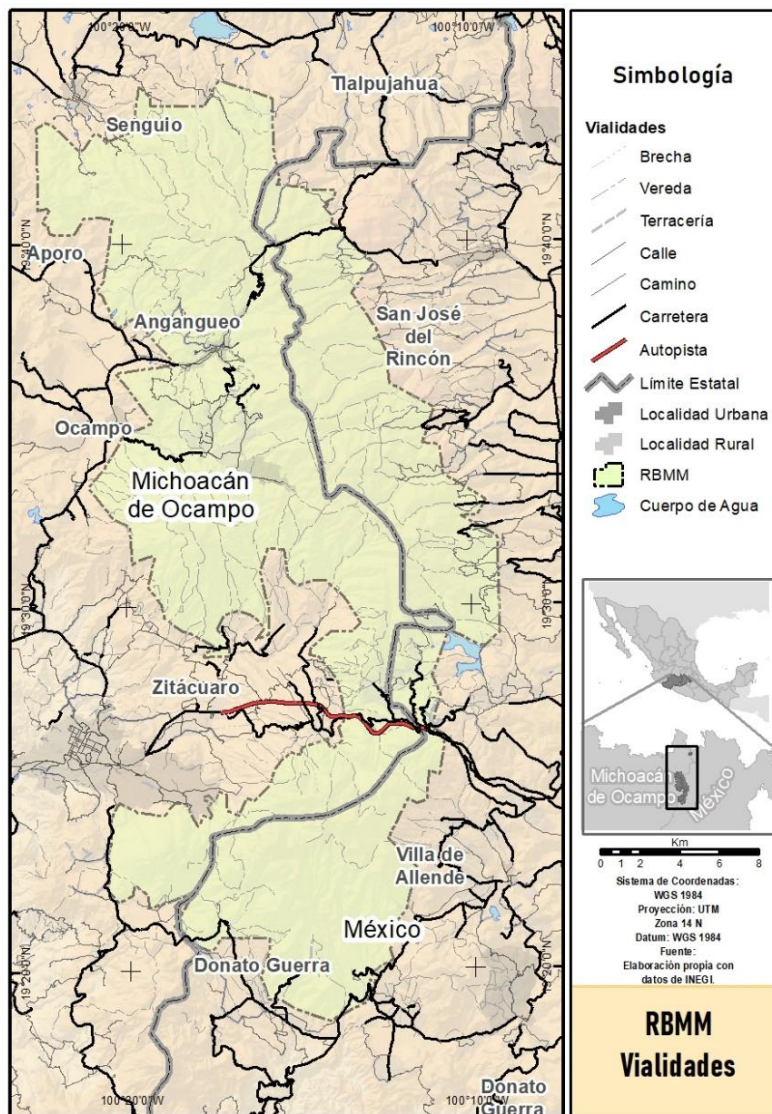


Figura 2. 12 Vialidades en la RBMM.

El acceso a los principales centros de población está comunicado por medio de una red local de carreteras pavimentadas con asfalto, aunque mal señalizadas, pero suficientes desde el punto de vista de la accesibilidad. El resto de la red viaria interna se conecta a través de numerosos caminos vecinales, un número considerable de ellos de terracería, en mal estado y sin señalizar, que aunado a las difíciles condiciones topográficas del terreno y a la frecuencia de intensas lluvias, se traduce en vías de difícil acceso, limitada para la gran mayoría de la población que depende de la comunicación a los centros urbanos para acceder a los servicios, ya sean administrativos, comerciales, sanitarios o educativos (Machado *et al.*, 2012).

2.4.2 Tenencia de la tierra

Como referencia es importante mencionar, que en el año 2000, la RBMM en estaba compuesta por 107 predios de los cuales 89 están en el estado de Michoacán y 58 en el estado de México, distribuidos en 53 ejidos, 13 comunidades indígenas, 18 pequeñas propiedades, una propiedad federal, una propiedad estatal y tres predios en litigio (Figura 2.13). Hay 21 predios que tienen un carácter especial, como son algunos ejidos con más de un predio y de estos, 17 han recibido ampliaciones, nueve dotaciones, y una de las ampliaciones está en litigio (López-García, 2013).

Hay tres zonas en litigio, una de ellas es una disputa por un terreno de 33 ha, que lo reclaman Santa María y sus Barrios, ejido Mesas Altas de Xoconusco, y la comunidad indígena de San Pablo Malacatepec, ubicado en zona de amortiguamiento. El otro es un predio de 219 ha que lo reclaman la comunidad de Crescencio Morales, Santa María y sus Barrios, la comunidad indígena Nicolás Romero, y la comunidad indígena de San Pablo Malacatepec, dentro de la zona núcleo. Por último, un predio de 169 ha lo reclamaban el ejido Rancho Verde y el ejido El Rosario, ambos colindantes con este predio y en zona núcleo, en el 2003 se resolvió este conflicto dividiendo el predio por la mitad (*Ibíd*).

Por otro lado, la comunidad indígena de Crescencio Morales, la cual ostenta la mayor superficie dentro de la reserva con 6,175 ha y una población de más de 5,000 habitantes, motivó a que se formaran dos grupos sociales y en el 2004 solicitaron el reconocimiento del ejido Crescencio Morales, que fue autorizado en el 2009. En noviembre del mismo año se modificaron los límites de la tenencia entre el ejido y la comunidad de Crescencio Morales, para terminar el conflicto agrario entre esos grupos y se firmaron acuerdos para proteger el bosque (*Ibíd*).

A partir de 2009 la reserva ostenta 109 predios, de los cuales 87 son considerados como propietarios, pero 15 de ellos tienen más de un predio y hasta cuatro como el caso de El Rosario, otros tienen ampliaciones, y dotaciones debido a posteriores asignaciones. Todavía hay dos predios en litigio. Aumentó un nuevo ejido salido de la comunidad indígena Crescencio Morales y se crearon dos ampliaciones a expensas de una zona de litigio entre El Rosario y Rancho Verde (*Ibíd*).

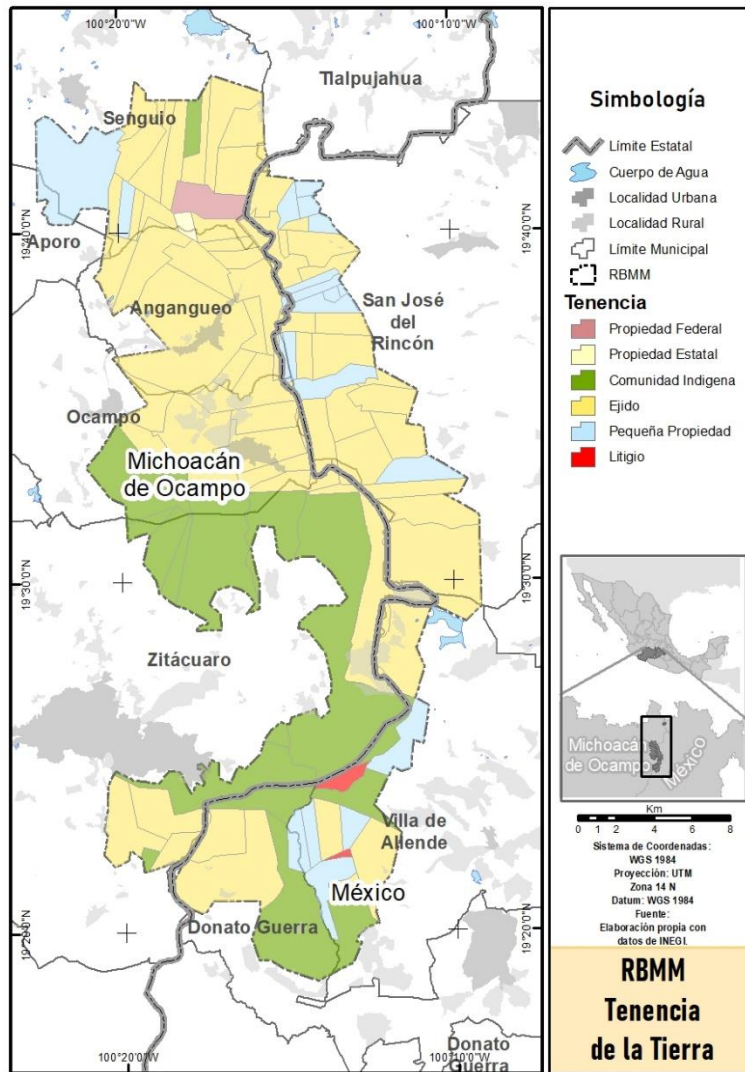


Figura 2. 13 Propiedad o tenencia de la tierra en la RBMM.

Capítulo III. Materiales y métodos

Dado que para la zona de estudio (RBMM) no se identificaron, ni se cuentan con antecedentes, registros históricos o referencias por parte de los habitantes de la región, respecto de la ocurrencia de PRM de tipo flujo, previos a los acontecidos durante los primeros días de febrero de 2010, el presente análisis se desarrolló con la información disponible de esa fecha, bajo el supuesto de que se trató de un evento extraordinario y atípico, al menos en la época reciente.

3.1 Preparación de datos

La primera fase de este estudio implica la identificación, recopilación y preparación de datos espaciales y de atributos relacionados con las áreas donde se presentaron los flujos; seguido por la verificación y validación de la información obtenida vía remota o mediante variables de gabinete, por medio de recorridos y pruebas de campo; posteriormente se consideró, en función de la escala de trabajo y los datos disponibles, realizar el análisis y la evaluación de las áreas susceptibles a flujos utilizando el método estadístico basado en datos, denominado de Pesos de Evidencia (WoE) planteado por Regmi *et al.*, (2010); el cual finalmente consistió en la determinación de las áreas susceptibles, la caracterización del tipo de los tipos de flujos ocurridos, así como los factores condicionantes y desencadenantes que dieron lugar a esos fenómenos (Figura 3.1).

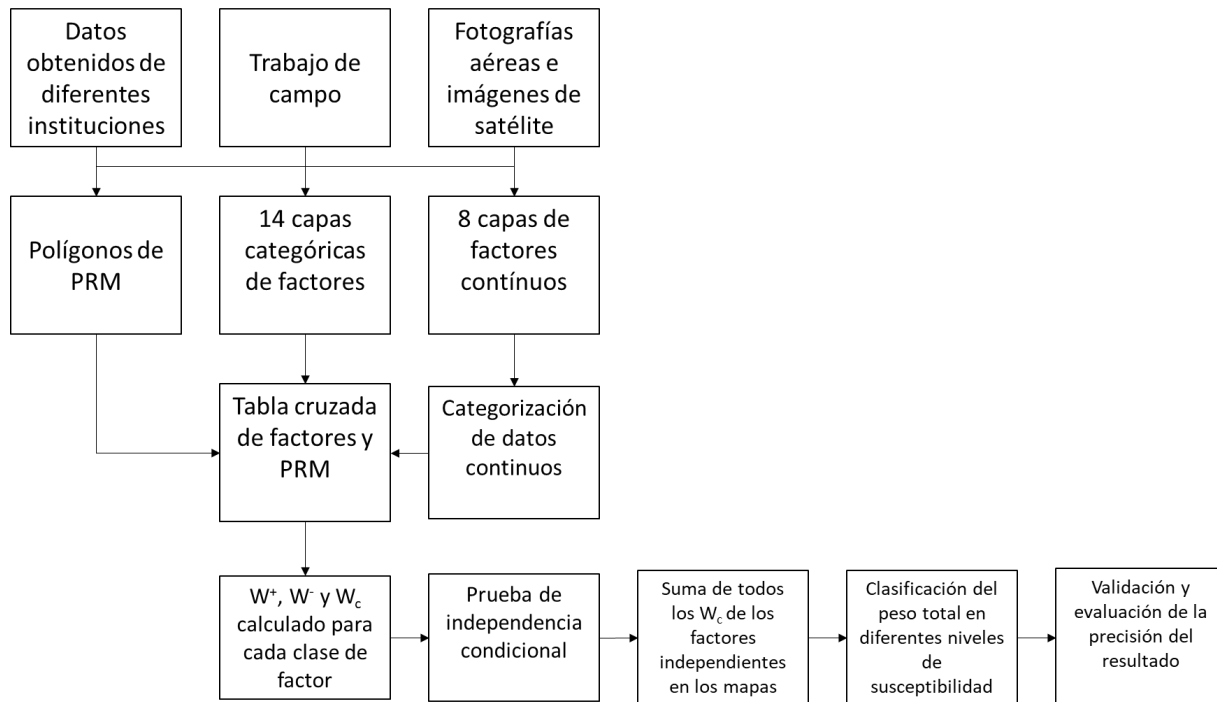


Figura 3. 1 Procesamiento de la información.

Los datos espaciales y atributos relacionados con el territorio se recopilieron de datos topográficos y cartografía temática del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), del Servicio Geológico Mexicano (SGM), así como de trabajos realizados por el Instituto de Geografía (IGg) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Respecto a la identificación de los flujos se realizó a partir de fotografías aéreas del Proyecto PAPIIT IN305707 “Evaluación del cambio de cobertura forestal bianual con fotografías aéreas digitales en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca”, escala 1:10,000, con resolución espacial de 0.3 m (López-García, 2013).

Se realizaron estudios de campo para la verificación de los datos existentes y la recopilación de datos adicionales relacionados a parámetros geotécnicos de las laderas. Estas fuentes de datos se utilizaron para procesar 22 capas temáticas (Tabla 3.1), utilizando técnicas de Percepción Remota (PR) y ambientes de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Factores	No.	Capas o variables	Fuente
1. Geología	1	Unidades litológicas	SGM ^a , INEGI ^b .
	2	Fallas	SGM ^a , INEGI ^b .
	3	Fracturas	SGM ^a , INEGI ^b .
	4	Geomorfología	Ortiz-Pérez (inédito)
2. Vegetación y usos del suelo	5	Vegetación y usos de suelo	López-García (2009)
	6	Densidad de cobertura vegetal	López-García (2009)
3. Edafología	7	Unidades de suelo	INEGI ^c
4. Topografía	8	Altitud (Elevación)	Procesamiento SIG
	9	Rango de Pendiente	Procesamiento SIG
	10	Orientación de la ladera	Procesamiento SIG
	11	Curvatura	Procesamiento SIG
	12	Curvatura en planta	Procesamiento SIG
	13	Curvatura de perfil	Procesamiento SIG
	14	Insolación	Procesamiento SIG
5. Relacionados con el agua	15	Hidrografía	INEGI ^d
	16	Longitud de flujo	Procesamiento SIG
	17	Acumulación de flujo	Procesamiento SIG
	18	Índice de potencia de la corriente	Procesamiento SIG
	19	Índice de humedad topográfica	Procesamiento SIG
6. Antrópico	20	Localidades	INEGI ^e
	21	Tenencia de la Tierra	López-García (2013)
	22	Vialidades	INEGI ^f

a.- Cartas Geológicas (E14-A16 y E14-A26), S.G.M. (2000 y 1999), Escala 1:50,000, y sus informes técnicos.

b.- Conjunto de datos vectoriales Geológicos, Continuo Nacional, INEGI, (2002), escala 1:1,000,000.

c.- Conjunto de datos edafológicos, serie II, INEGI, (2013), Escala 1:1,000,000.

d.- Red Hidrográfica 2.0, INEGI, (2011), Escala 1:50,000.

e.- Marco Geoestadístico, Censo de Población y Vivienda, INEGI (2020), Escala 1:1,000,000.

f.- Red Nacional de Caminos, INEGI, (2022).

Tabla 3. 1 Capas de información utilizadas en el análisis, agrupadas por factores.

3.2 Inventario

El estudio consideró como factores determinantes, aquellas variables relacionadas a las características del medio natural y un par de variables antrópicas, así como las propiedades intrínsecas de cada una de ellas, todas ellas de relevancia en el análisis de los PRM (Regmi *et al.*, 2010). Las variables relacionadas con el medio natural analizadas incluyen la geología expresada mediante las unidades litológicas, fallas y fracturas, Geomorfología, vegetación y usos del suelo, densidad de cobertura vegetal, edafología a través de los tipos de suelos y sus asociaciones, algunas variables derivadas de la topografía del terreno, como altitud (elevación[DEM]), pendiente (*slope*), orientación de las laderas (*aspect*), curvatura (*tangential curvature*), curvatura en planta (*plan curvature*), curvatura de perfil (*profile curvature*) e insolación (*mean hourly solar radiation*), el drenaje por medio de la Hidrografía, la longitud de flujo (*flow length* [FL]), acumulación de flujo (*flow accumulation* [FA]), índice de potencia de la corriente (stream power index [SPI]), Índice de humedad topográfica (*topographic wetness index* [TWI]). Los factores antrópicos incluyen las vías de comunicación tanto urbanas como rurales, así como las principales localidades.

Respecto a los factores desencadenantes, la lluvia y el deshielo generalmente están relacionados con los flujos, este estudio analiza la lluvia y el granizo, como posibles factores detonantes de los mismos.

Algunos trabajos suelen utilizar ubicaciones puntuales para la elaboración de los inventarios de PRM, utilizan el centro del polígono o del escarpe de falla para representar el área total del PRM (Figura. 3.2a), realizando con lo anterior una abstracción con el objeto de coincidir respecto del tamaño de la unidad de píxel en esa ubicación (Neuhauser y Terhorst, 2007; Dahal *et al.*, 2008). En este escenario, la probabilidad de que ocurra un PRM es la relación entre un píxel de cada proceso de remoción en masa existente y el número total de píxeles en toda el área. Este cálculo ignora los tamaños o magnitudes de los PRM existentes. Además, si el análisis no tiene suficientes ubicaciones, los resultados obtenidos, basados en el análisis de los parámetros en el centro de los fenómenos, podrían arrojar un resultado sesgado. Estas incertidumbres se pueden reducir ingresando el número de píxeles cubiertos por los polígonos de los PRM (Regmi *et al.*, 2010). Utilizamos este enfoque en este estudio (Figura 3.2b).

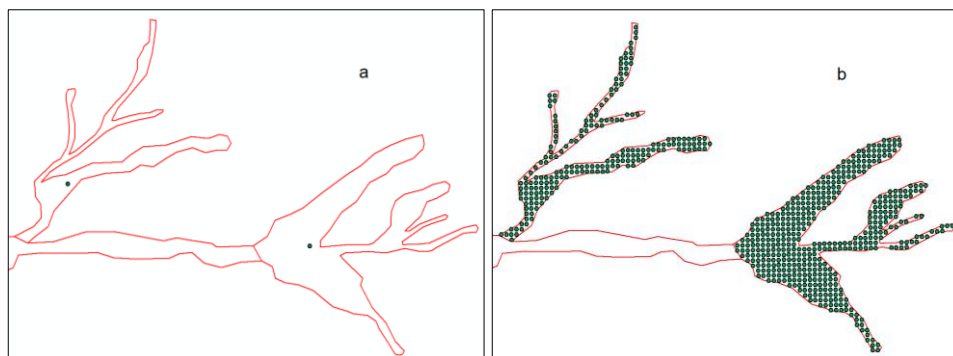


Figura 3. 2 Tipos de ubicaciones utilizadas para la elaboración de inventarios.

Los flujos se identificaron visualmente al distinguir el tono, la forma, el tamaño, la textura en las fotografías aéreas y finalmente las formas del relieve, para posteriormente digitalizar e ingresar los atributos en el SIG. Los procesos se cartografiaron identificando el límite de cada uno, así como detallando las zonas de erosión, transporte y acumulación, respecto de las dos últimas, dada su naturaleza se llegaron a agrupar mediante técnicas de visualización digital y técnicas de visualización estereoscópica para determinar su continuidad y morfología (Figura 3.3). Se identificaron ciento treinta y dos polígonos correspondientes a las zonas de erosión o sitios donde probablemente tuvieron origen los fenómenos analizados (Figura 3.4), en fotografías aéreas orto-rectificadas en marzo de 2010, escala 1:10,000 utilizando un SIG. Las fotografías aéreas son orto-imágenes con resolución espacial de 0.60m, rectificadas con una precisión horizontal de ± 10 m. La precisión posicional de los polígonos de PRM está dentro de ± 5 m de la fotografía aérea.



Figura 3. 3 Definición de los flujos a partir de fotografías aéreas orto-rectificadas.

Después de definir la extensión y morfología de los flujos en las fotografías aéreas, se realizó la extracción de la información de los sitios identificados en la cartografía temática de INEGI, el SGM y el IGg, para ser tomada como referencia cartográfica en los recorridos de verificación de datos en campo. Los datos de atributos cada flujo incluye largo, ancho, tipo, pendiente, altitud, área, actividad, orientación de la ladera, geología, vegetación, zonas con afectaciones y elementos vulnerables. Todos estos atributos se vincularon con la información espacial. Las zonas de erosión o cabeceras de los flujos identificados corresponden en superficie a un área mínima de 184 m^2 y una máxima de $82,820 \text{ m}^2$, con un promedio de $7,500 \text{ m}^2$; alrededor del 60% de las zonas de origen de los flujos poseen una superficie menor de $5,000 \text{ m}^2$. Con base en la verificación de campo de 36 PRM, identificados a través de las fotografías aéreas de alta resolución, se obtuvieron los siguientes promedios: una altitud de $2,900 \text{ m}$; con una longitud de $1,100$ metros aproximadamente; un ancho de 35 metros y una profundidad calculada en 8.5 m ; la pendiente fue calculada en 27° .

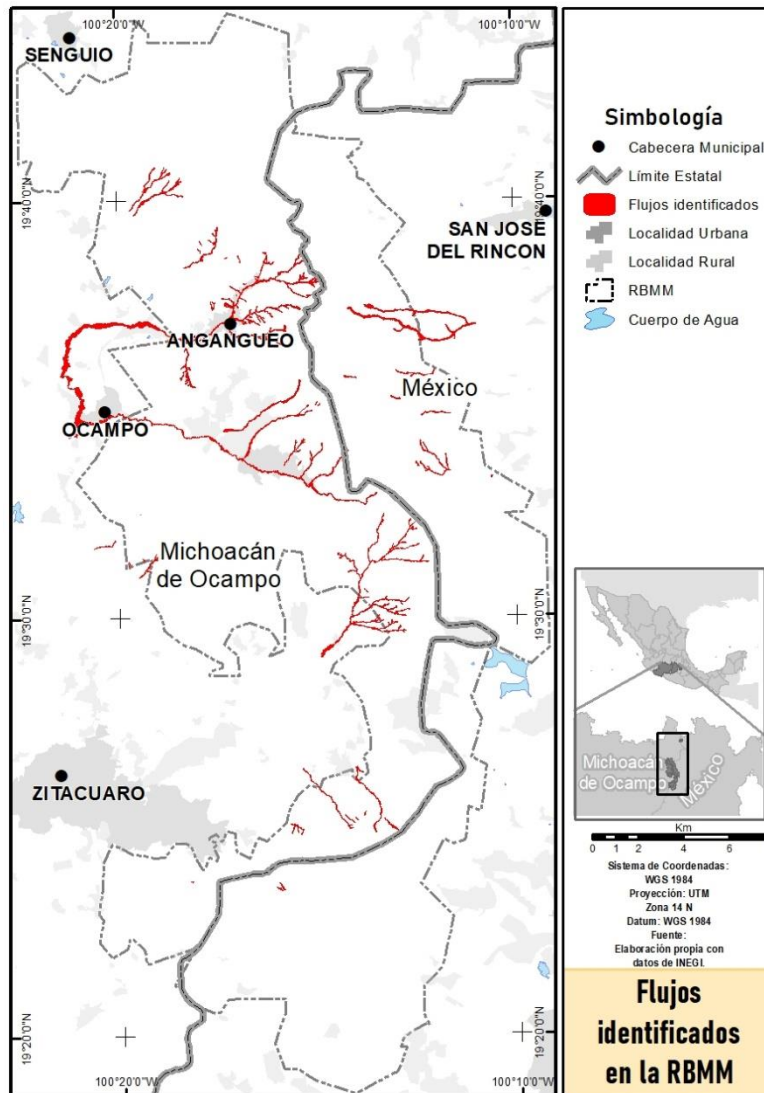


Figura 3. 4 Procesos de remoción en masa de tipo flujos identificados a partir de fotografías aéreas orto-rectificadas.

3.2.1 Trabajo de campo: Levantamiento del inventario

Se desarrolló una ficha diagnóstica que permitiera recopilar la información básica para la elaboración del inventario utilizado en este trabajo, para lo cual se consideraron los formatos propuestos para tal fin en México por Alcántara y Murillo (2007), y el del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en 2013, siendo este último más sencillo, sin embargo ambos en algún momento, requerían información especializada que no era objeto de la presente investigación, motivo por el cual se optó por desarrollar una ficha propia en formato Excel, que incorporará los valores o requerimientos mínimos considerados para la elaboración de un inventario de calidad, al mismo tiempo que se

tratará de un cuestionario simple y de fácil llenado, por tratarse de un documento para ser compilado durante el trabajo de campo (Figura 3.5).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS		
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca		
LOCALIZACIÓN		
SITIO _____	TIPO DE PROCESO _____	FECHA _____
COORDENADAS _____	_____	ALTITUD _____
COLONIA _____	DIRECCIÓN APROX. _____	
ENTRE LAS CALLES _____	REFERENCIA _____	
OBSERVACIONES: _____		
CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO		
GEOLOGÍA _____	SUELO _____	
VEGETACIÓN _____	ORIENTACIÓN _____	
PENDIENTE _____	LONGITUD _____	ANCHURA _____
ALTURA DEL ESCARPE _____		
PROCESO: ACTIVO () LATENTE () RELICTO ()		
OBSERVACIONES: _____		
INFRAESTRUCTURA		
INFRAESTRUCTURA VULNERABLE _____		
DISTANCIA AL INMUEBLE _____	TIPOS DE INMUEBLES _____	
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE _____		
HABITANTES AFECTADOS _____		
DIVIDIDOS POR SEXO _____		
DIVIDIDOS POR EDADES (0-5, 5-18, 18-65, >65) _____		
OBSERVACIONES: _____		
ESQUEMA IDEALIZADO O FOTOGRAFÍA		

Figura 3. 5 Ejemplo de ficha utilizada para el trabajo de campo.

En la etapa de trabajo de campo se realizaron recorridos en algunos de los principales flujos identificados mediante las fotografías aéreas, así como en las laderas y los cauces por los cuales se transportaron los materiales arrastrados, intentando cubrir las zonas afectadas por los PRM. La información más relevante del formato definido corresponde a su localización, tipo de proceso, altitud y pendiente del talud, factores como la litología, pendiente, uso de suelo y vegetación (tipo de cobertura en porcentajes, estratos de vegetación), factores edafológicos (tipo y profundidad del suelo), orientación de la ladera, y finalmente factores antrópicos relacionados con infraestructura vulnerable o afectada por el proceso. En el Anexo 2, se puede consultar la información recabada de cada uno de los PRM visitados.

Para el levantamiento del inventario, y la ubicación de cada PRM, así como de las pruebas realizadas, se utilizó un GPS de marca GARMIN modelo Gpsmap 64s, con precisión de 3 metros.

Se realizaron cuatro recorridos de verificación en campo, entre abril de 2010 y noviembre de 2013, como ya se mencionó anteriormente, con la finalidad de corroborar los parámetros de los flujos identificados en las fotografías aéreas de alta resolución, así como las variables categóricas obtenidas con datos de gabinete (Figura 3.6). En algunos sitios se llevaron a cabo pruebas en suelos que se describen en el apartado correspondiente.

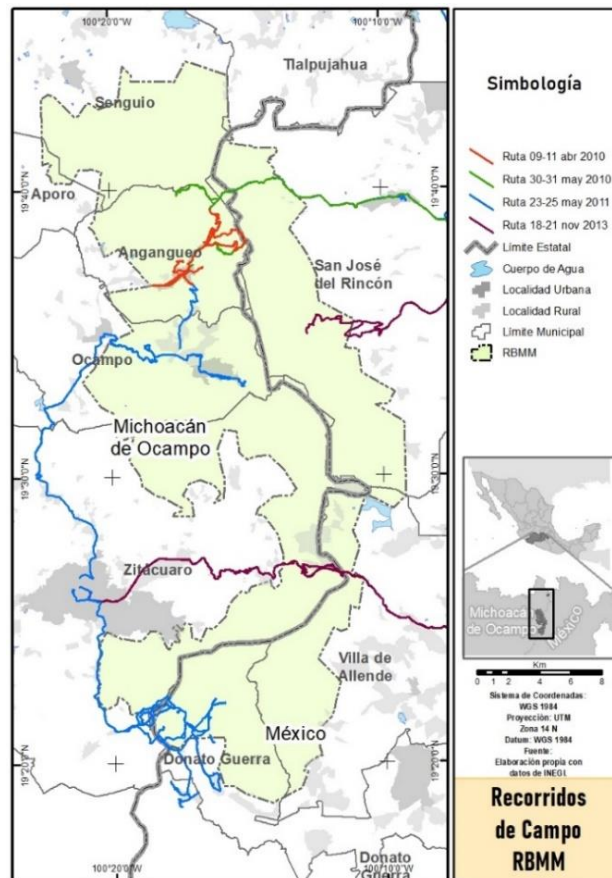


Figura 3. 6 Recorridos de verificación en campo.

3.3 Parámetros de unidades ambientales, del relieve y antrópicos

Con respecto a la extracción de la información de cada una de las variables temáticas, topográficas y sociales, señaladas en la Tabla 3.1. Primero se hizo necesario convertir mediante herramientas del SIG, toda la información a formato ráster con tamaño de píxel de 10x10 metros de resolución espacial por cada celda, para luego reclasificar mediante categorías (Regmi *et al.*, 2010), los parámetros de cada una de las variables continuas y homogeneizar toda la información en variables categóricas. Se generaron puntos al centro de cada uno de los píxeles, que integran los polígonos de los PRM, para obtener la información de cada capa de información temática, topográfica y social.

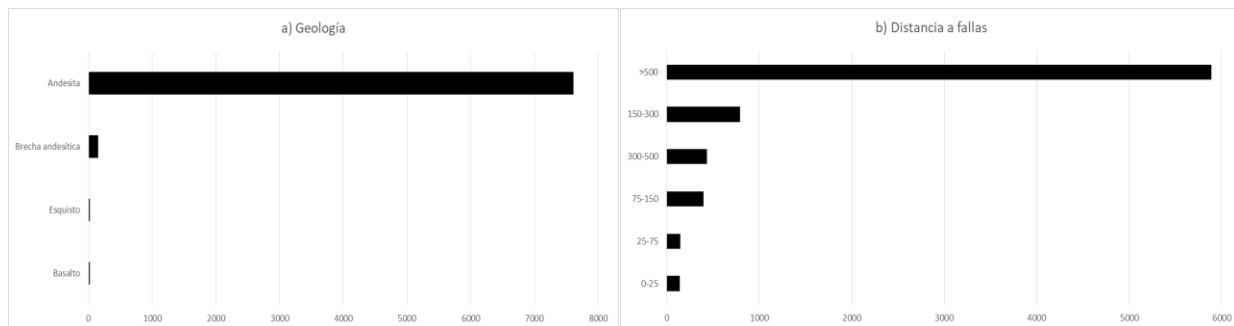
El procedimiento anteriormente mencionado, permitió obtener los siguientes referentes de cada una de las variables utilizadas, validadas durante los recorridos de verificación de datos en campo.

3.3.1 Factores geológicos

El área de estudio se compone de 14 unidades litológicas, con predominio de rocas volcánicas, depósitos aluviales, coluviales, proluviales y, en menor medida, algunas rocas metamórficas. Utilizando la cartografía geológica del SGM y el INEGI, se analizaron las unidades litológicas con la relación a la localización y características de los PRM. Dada la extensa área cubierta por rocas del tipo de las andesitas, la mayoría de los flujos se presentaron en esa litología (Figura. 3.7a).

Se identificaron 124 fracturas y 11 fallas en la RBMM y sus proximidades. Las distancias de estas estructuras geológicas se dividieron en categorías; la categoría con distancias mayores a 500 metros posee el mayor número de registros (Figura. 3.7b y c).

Con relación a la geomorfología de las 16 unidades geomorfológicas que se encuentran dentro de la RBMM, dadas las características morfológicas de los flujos, éstos se concentraron en dos unidades: Montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial y los Valles fluviales de laderas montañosas (Figura. 3.7d).



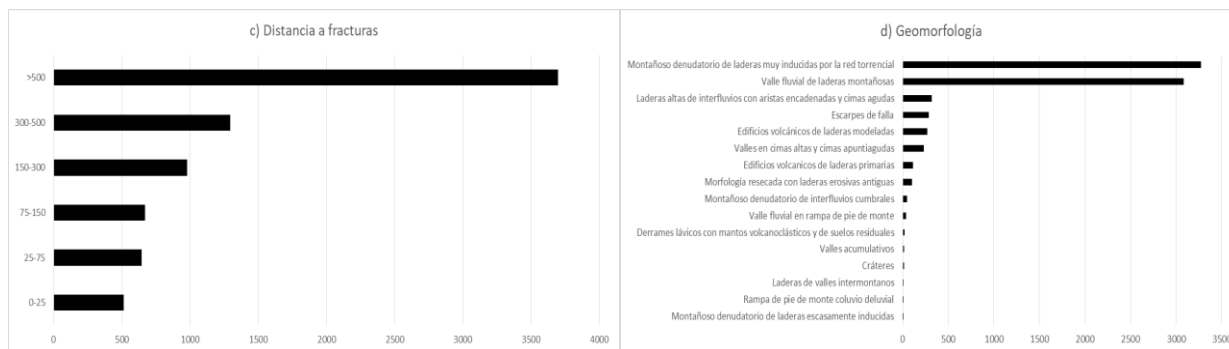


Figura 3. 7 Frecuencia de registros en Factores Geológicos: a) unidades litológicas, b) distancia a fallas, c) distancia a fracturas y d) unidades geomorfológicas. Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Factor vegetación y usos de suelo

Con relación a este rubro, además de considerar los tipos de vegetación y usos del suelo en la reserva, se incorporó el estado de conservación de la misma, a través de la densidad de cobertura vegetal. La cobertura del suelo también es uno de los factores clave responsables de los PRM en el área de estudio. Las áreas con vegetación son menos propensas a verse afectadas por estos fenómenos (Greenway, 1987; Styczen y Morgan, 1995), porque la vegetación previene la erosión a través del anclaje natural proporcionado por las raíces. En el área se identificaron 12 tipos de asociaciones vegetales; 10 unidades o asociaciones forestales y dos a vegetación secundaria, no es extraño que este tipo de procesos estén asociados a áreas desprovistas de vegetación, lo cual se observa en el número de registros que coinciden con esta característica (Figura. 3.8a).

Otro factor importante, no solo es la presencia de vegetación, sino la calidad de la misma y el estado de conservación, para ello se incorporó la densidad de cobertura, en la cual López-García (2013) clasificó cinco niveles de coberturas forestales de acuerdo con lo señalado por FAO (2005): Cerrada, Semicerrada, Semiabierta, Abierta y Deforestado (Tabla 3.2), de manera complementaria se delimitaron otras unidades que no tienen cobertura arbórea, consideradas como no forestales, denominadas como áreas deforestadas, matorral, pastizal, áreas agrícolas e infraestructura, en donde nuevamente se torna relevante aquellas densidades de cobertura alteradas o degradadas, ya que están correlacionadas a la ocurrencia de PRM (Figura. 3.8b).

No.	Clasificación	Densidad de Cobertura Forestal
1	Cerrada ¹	> 75%
2	Semicerrada	51-75%
3	Semiabierta	26-50%
4	Abierta	10-25%
5	Deforestado	< 10%

¹ El muestreo de campo determinó una densidad promedio de 500 árboles por hectárea; López-García (2011).
Tabla 3. 2 Clasificación de la densidad forestal respecto del porcentaje de cobertura.

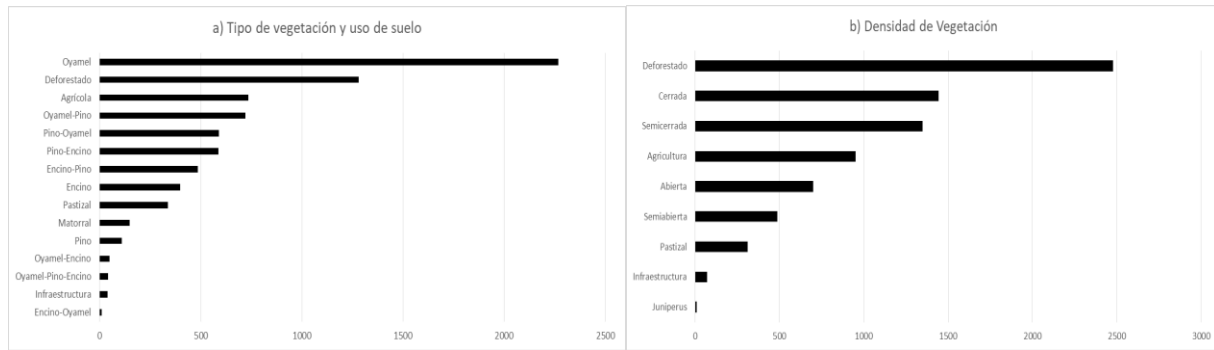


Figura 3. 8 Frecuencia de registros el Factor de vegetación y uso de suelo: a) vegetación y uso de suelo, b) densidad de cobertura forestal. Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Factor edafología

Si bien el desarrollo de este rubro de acuerdo con Regmi *et al.*, (2010), se aborda desde el enfoque de la consistencia del suelo, específicamente respecto a su plasticidad (límites líquido y plástico), el presente trabajo analiza y detalla ese enfoque en el apartado de geotecnia y otras propiedades de los suelos. Dado que la consistencia es una más de las propiedades de los suelos y no la única para definirlos, en este apartado se incorporan y analizan las unidades de suelo identificadas en la RBMM por el INEGI (2021), de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, por sus siglas en inglés), en su versión de 2014, las cuales proporcionan un criterio uniforme y estandarizado a nivel mundial. Dichas unidades podrían correlacionarse a la consistencia del suelo utilizada dada su influencia en la ocurrencia de los PRM.

Respecto a la relación entre los PRM y las unidades de suelos, en la RBMM se cuentan con tres tipos, subdivididos en seis de acuerdo con sus calificadores, donde predominan ampliamente los andosoles con calificador dístico vítrico (45%) y úmbrico vítrico (37%), seguido por el luvisol umbrihúmico (12%), seguidos por leptosol dístico lítico (3%) y otros calificadores de andosoles y luvisoles (<2%) (Figura 3.9).

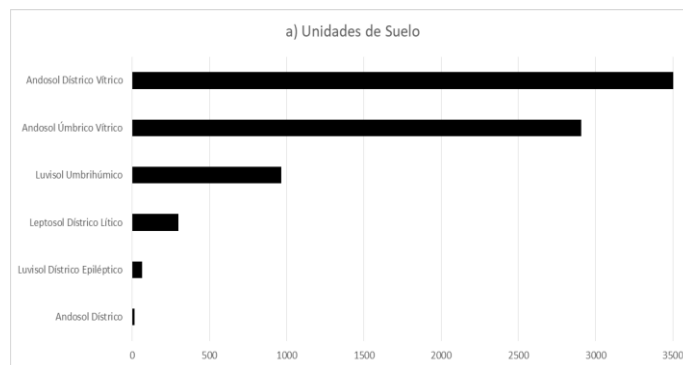
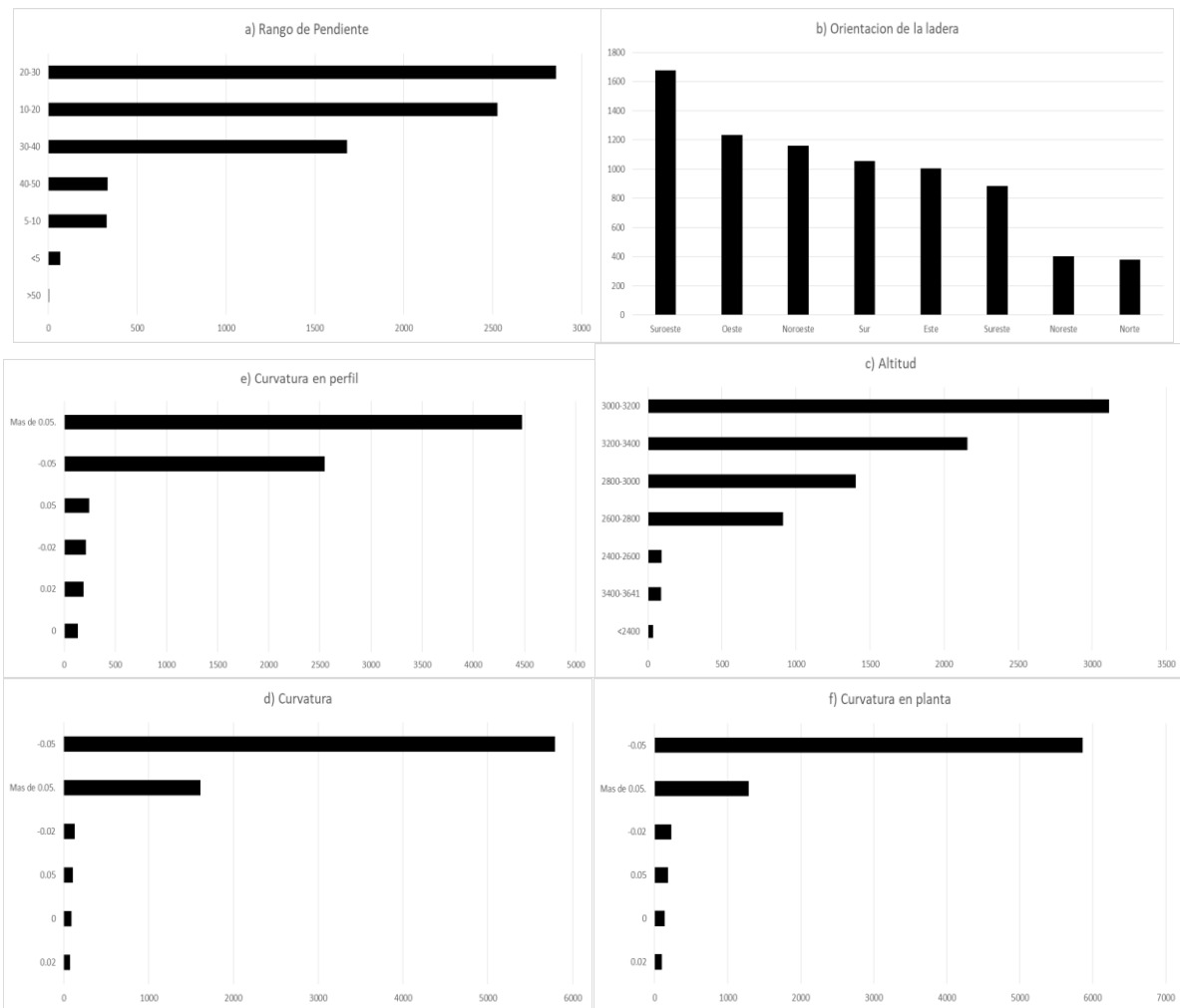


Figura 3. 9 Frecuencia de registros en Factor Edafología. Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Factores topográficos

Se generó el Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés), con una resolución por píxel de 10x10 metros para procesar varios factores topográficos que incluyen pendiente, orientación de la ladera, elevación, curvatura, curvatura de perfil, curvatura de planta, y radiación solar utilizando algoritmos incorporados en el ambiente SIG.

Todas estas capas eran inicialmente datos de información continua, las cuales fueron reclasificadas en categóricas en función de la variación en los valores de peso de contraste, con los valores de los datos topográficos, así como la distribución de frecuencia de diferentes valores topográficos, en la superficie de los PRM y para toda el área (Figura 3.10). Ambos enfoques proporcionaron resultados similares.



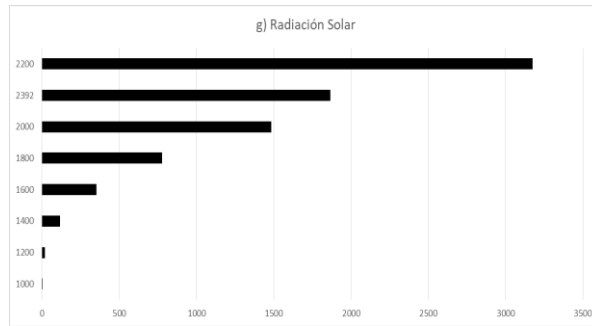


Figura 3. 10 Frecuencia de registros en Factores topográficos: a) pendiente, b) orientación de la ladera, c) elevación, d) curvatura, e) curvatura de perfil, f) curvatura de planta, y g) radiación solar.

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Factores relacionados con el agua

Las aguas superficiales, las aguas sub-superficiales y las aguas subterráneas son las principales causas hidrológicas de los PRM. El agua superficial promueve estos procesos al socavar y erosionar las pendientes. La fluctuación del agua sub-superficial y del subsuelo cambia la presión del agua intersticial en el suelo y cambia la estabilidad de la pendiente (Regmi *et al.*, 2010). De los factores de la red de drenaje, el Índice de humedad topográfica (*TWI*), el Índice de potencia de la corriente (*SPI*), la acumulación de flujo (*FA*) y la longitud del flujo (*FL*) aguas arriba, se derivaron del procesamiento del DEM en un ambiente SIG, como una medida de agua superficial, sub-superficial y subterránea. El Índice de humedad topográfico (*TWI*) y el Índice de poder de la corriente (*SPI*) se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$TWI = \log_e (A/b \tan \beta) \quad (28)$$

$$SPI = A \tan \beta/b \quad (29)$$

Dónde: A (m^2) es el área de captación aguas arriba o la acumulación de flujo, b (m) es el ancho de la celda a través de la cual fluye el agua, y β (radianes) es la pendiente.

Las investigaciones sugieren que la humedad del suelo se puede estimar mediante el *TWI* (Florinsky, 2016, Moore *et al.*, 1991; Beven, 1997; Blyth *et al.*, 2004). Mientras que el *SPI* es una medida del poder erosivo del flujo de agua basado en la suposición de que la descarga es proporcional al área de captación específica (Moore *et al.*, 1991). La acumulación de flujo (*FA*) en su forma más simple, es el número de celdas de pendiente ascendente que fluyen hacia cada celda contigua. La longitud del flujo (*FL*) es la distancia de pendiente ascendente más larga a lo largo de la trayectoria del flujo desde cada celda hasta la parte superior de una divisoria de drenaje. La acumulación de flujo y la longitud del flujo se crearon utilizando algoritmos incorporados en un ambiente SIG. El algoritmo utiliza un modelo de flujo de ocho direcciones propuesto por Jenson y Dominguez (1988).

Por su propia naturaleza, un gran número de los procesos analizados se desarrollaron a lo largo de las corrientes de agua y sus afluentes. La información hidrográfica del INEGI sirvió

como base para realizar el cálculo de las distancias desde el eje del escurrimiento y la capa de información fue reclasificada en diferentes categorías con base en la variación de los valores de peso de contraste con las distancias. De manera similar, el índice de humedad topográfica, el índice de potencia de la corriente, la acumulación de flujo y la longitud del flujo se dividieron en diferentes categorías (Figura 3.11).

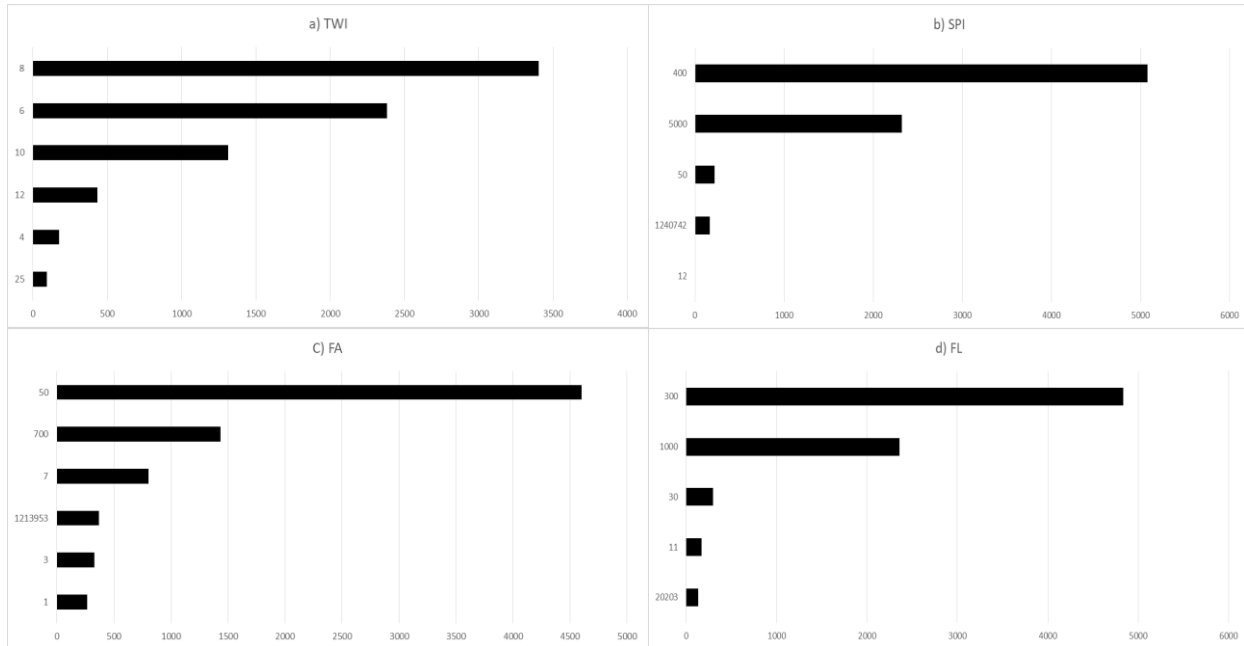


Figura 3. 11 Frecuencia de registros en Factores relacionados con el agua: a) Índice de humedad topográfica (TWI), b) Índice de potencia de la corriente (SPI), c) acumulación de flujo (FA), y d) longitud del flujo (FL) aguas arriba. Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Factores antrópicos

La excavación de taludes para el desarrollo urbano y la construcción de carreteras, así como las frecuentes vibraciones generadas por los vehículos predisponen a las laderas a fallar (Ayalew y Yamagishi, 2005; Mittal *et al.*, 2008). Si bien en el presente análisis, en las áreas aledañas a las localidades urbanas y rurales, así como alrededor de las carreteras y los caminos rurales no se observaron numerosos PRM, la literatura sugiere su incorporación, por considerarlos factores detonantes de su ocurrencia.

Para este análisis se incluyeron las principales localidades urbanas, rurales, así como las carreteras, vialidades y los caminos rurales, señalados en el Marco Geoestadístico 2020 y la Red Nacional de Caminos, ambos del INEGI, cuya incorporación al presente análisis de acuerdo con la metodología antes referida, consiste en calcular las distancias desde estos centros de población y caminos. Las distancias se dividen en diferentes categorías en función de la variación de los valores de peso de contraste con las distancias. Se excluyeron de este estudio algunos caminos, incluidos los que se encuentran alrededor de áreas residenciales.

De manera complementaria el presente análisis incorporó la variable antrópica de Tenencia de la Tierra, la cual se refiere a los derechos de las personas o comunidades para administrar una parte del territorio, así como a las responsabilidades y limitaciones que tienen como propietarios. En poblaciones rurales de México, destacan dos principales tipos de dotaciones agrarias, las de tipo ejidal y comunal; sin embargo, existen áreas dentro de la propia RBMM con otro tipo de tenencia, tal es el caso de pequeña propiedad, de propiedad estatal federal y zonas en litigio (Figura 3.12).

Si bien dentro de los objetivos de la presente investigación, no se encuentra realizar el análisis del riesgo o las problemáticas de índole social que influyen sobre estos fenómenos, durante el análisis se observó de manera indirecta, la relevancia de esta capa de información con relación al desarrollo de estos fenómenos, dado el aprovechamiento o en este caso la sobreexplotación de los recursos forestales disponibles.

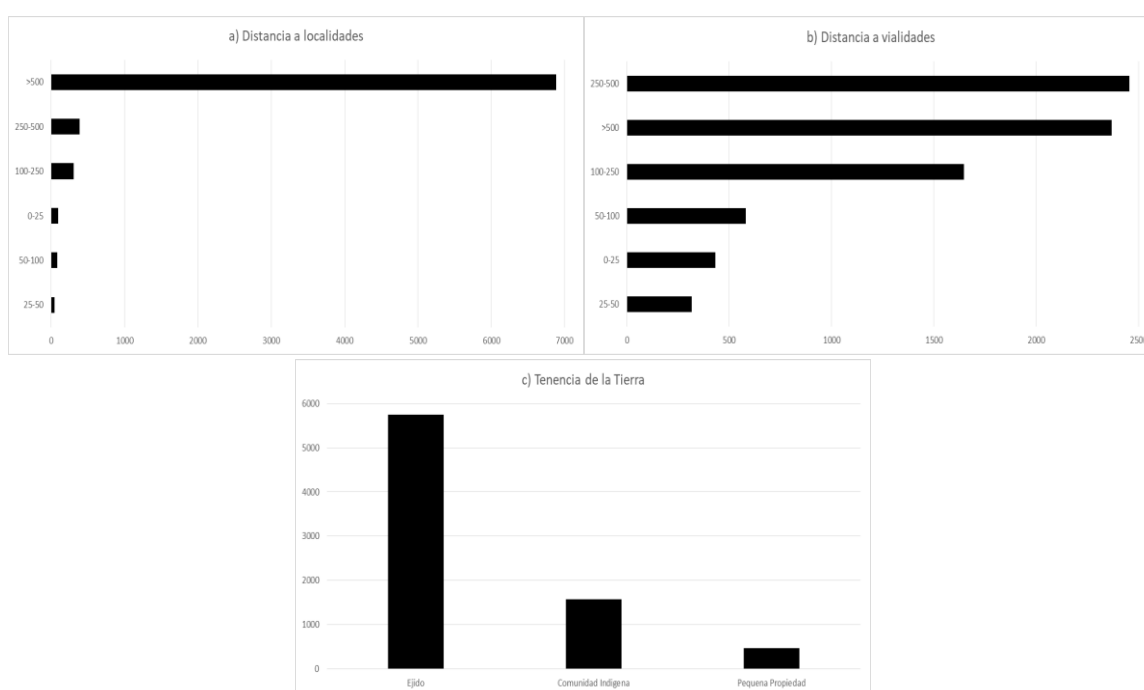


Figura 3. 12 Frecuencia de registros en Factores Antrópicos: a) Distancia a localidades, b) Distancia a vialidades, c) Tenencia de la tierra. Fuente: Elaboración propia

3.4 Geotecnia y otras propiedades de los suelos

Con la intención de ahondar en las propiedades dinámicas de los suelos presentes en la RBMM, así como identificar y clasificar de mejor manera los PRM analizados, se consideró necesario evaluar el comportamiento mecánico y otros parámetros de los materiales del suelo por medio de estudios de mecánica de suelos, para obtener información con relación al comportamiento interno de las laderas donde probablemente tuvieron origen los flujos analizados.

Los análisis de los suelos se llevaron a cabo en la microcuenca del río “El Charco”, seleccionada dada la representatividad de los PRM en la misma (Padilla-Doval, 2012); Las pruebas de campo se realizaron principalmente *in situ*, a través de sondeos, estudios y la colecta de algunas muestras de los materiales del terreno, para su posterior análisis en laboratorio. El proceso para llevar a cabo las pruebas y obtener los parámetros de cada una de ellas, consistió en la extracción en campo de las muestras, a partir de la selección de un área representativa de los materiales de la ladera.

Los parámetros analizados fueron la resistencia y compactación del suelo, granulometría, contenido de agua, límites plástico y líquido, índice de plasticidad, conductividad hidráulica y algunas propiedades físico-químicas del suelo.

En este sentido es muy importante mencionar la colaboración, apoyo, así como las facilidades otorgadas respecto al uso de los equipos para realizar las pruebas, por parte de la Subdirección de Dinámica de Suelos y Procesos Gravitacionales, del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en particular al Ing. Leobardo Domínguez Morales, quien de manera complementaria brindó acompañamiento en la realización de las pruebas.

3.4.1 Resistencia y compactación del suelo

La resistencia del suelo a la penetración es una importante propiedad mecánica, donde se perfora el suelo para obtener información de referencia respecto al contenido del mismo, el grado de compactación del suelo, la dureza de las partículas que lo componen, así como datos de referencia con relación a la profundidad de los estratos rocosos y del nivel del agua subterránea (Vanags *et al.*, 2004; CIMMYT, 2013).

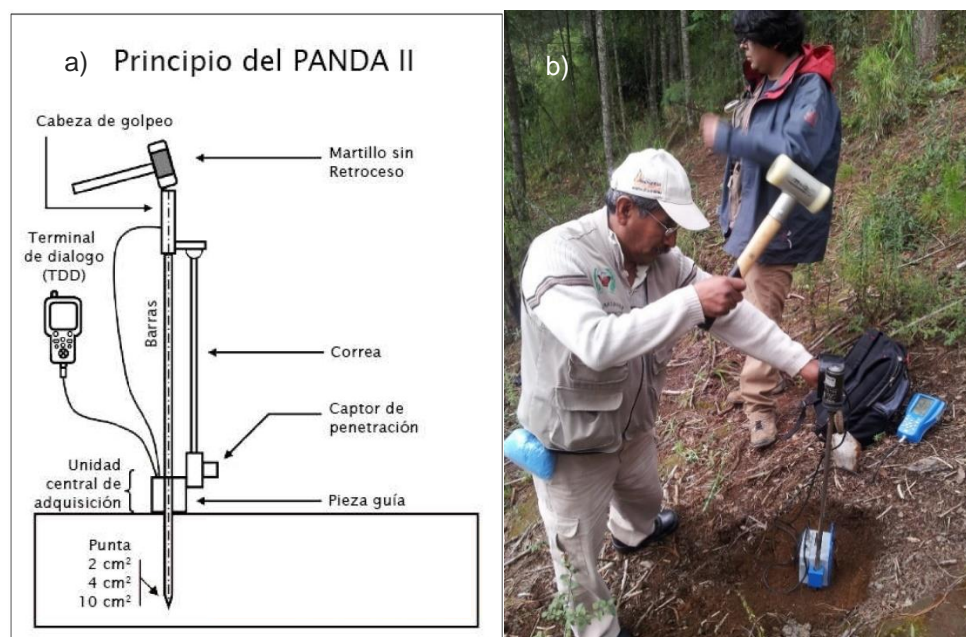


Figura 3. 13 a) Esquema del equipo PANDA. b) Ejemplo de Sondeo con Penetrómetro PANDA.

Estas pruebas se realizaron con un aparato denominado Penetrómetro Dinámico Ligero de Energía Variable, PANDA por sus siglas en francés (Figura 3.13), es un penetrómetro que mide la resistencia del suelo a la penetración inducida por una punta cónica de 2, 4 y hasta 10 cm². Es accionado por medio del golpe de un martillo sobre un cabezal instrumentado con captorees especialmente dispuestos para la medición la energía de cada golpe (Figura 3.14). El cabezal es montado en un tren de barras. Los datos son almacenados en un equipo de registro y análisis de datos (TDD) que permite la visualización y análisis de los resultados de forma inmediata (López *et al.*, 2019).

Cada golpe dado durante el sondeo para el hincado de la punta (e), genera una energía que es registrada y procesada de forma inmediata. Estos datos permiten calcular la resistencia dinámica de punta (q_d) mediante la siguiente fórmula holandés de hinca (López *et al.*, 2019):

$$q_d = \frac{1}{A} * \left(\frac{\frac{1}{2}MV^2}{e} \right) * \left(\frac{1}{1 + \frac{P}{M}} \right) \quad (30)$$

Dónde: e = Penetración de punta; A = Sección de punta; M = Masa del martillo, P = Masa del conjunto hincado (penetrómetro: punta, barra y cabezal); y V = Velocidad de impacto.

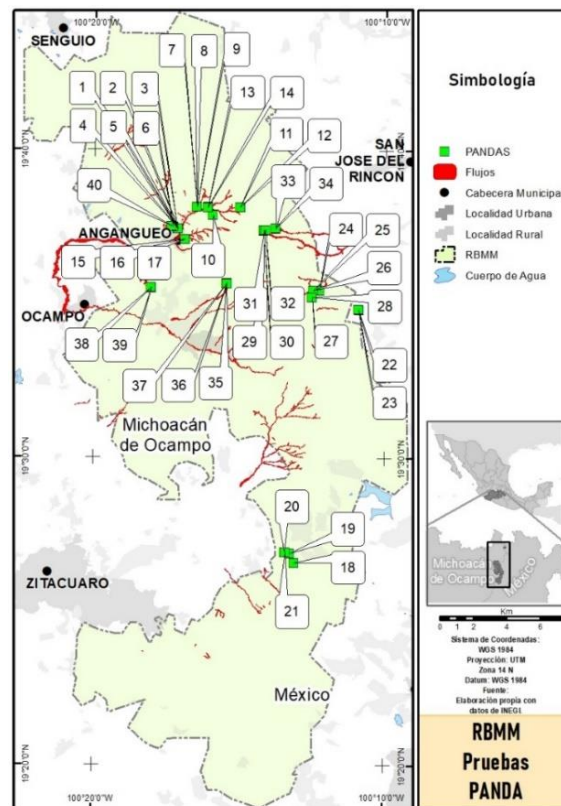


Figura 3. 14 Ubicación de sondeos con Penetrómetro PANDA.

Los sondeos realizados con este método son muy efectivos para evaluar la estructura subsuperficial de las laderas, ya que al insertar una barra con la punta resistente, es posible medir la resistencia a través de la penetración. Los cambios de resistencia a lo largo de la línea vertical de la superficie del terreno y la diferencia relativa de las propiedades mecánicas a varias profundidades son factores importantes en relación con un potencial proceso de remoción en masa (Hanna, 1985).

Se llevaron a cabo 40 sondeos realizados con el Penetrómetro PANDA, en los sitios donde se presentaron algunos de los PRM (Figura 3.14). Para los objetivos de la presente investigación, fue necesario descartar dos de ellos, dado que las pruebas presentaron error. Los 38 sondeos restantes se realizaron sobre 25 de los PRM identificados en el trabajo de gabinete (Tabla 3.3).

Núm. PRM	No. Sondeo	Núm. PRM	No. Sondeo	Núm. PRM	No. Sondeo
1	1	7	15	22	SD
	2		16	23	30
	3		17	24	27
	4	8	SD		28
	5	9	SD	25	31
	6	10	18	26	SD
2	7	11	19	27	32
	8	12	20	28	29
	9	13	21	29	33
3	10	14	22	30	34
	11	15	23	31	40
	12	16	SD	32	35
	13	17*	SD	33	36
	14	18	SD	34	37
4	SD	19	SD	35	38
5	SD	20	24	36	39
6	SD	21	25*		
			26		

*Sondeo descartado por error; SD. No se realizó sondeo en esos PRM.

Tabla 3. 3 Sondeos PANDA por cada PRM identificado.

Los sondeos se analizaron de acuerdo con la resistencia de penetración del suelo a distintas profundidades; se consideraron los intervalos de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm, y más de 40cm, con la intención de hacer equiparables los valores obtenidos entre las pruebas realizadas (Herrick y Jones, 2002; CIMMYT, 2013). De manera general, los resultados de las resistencias obtenidas a una profundidad menor a 20cm, es de 1.306MPa, a profundidades entre 20 y 40 cm, la resistencia es de 1.614MPa, y 2.858MPa al promedio de los sondeos realizados, sin importar la profundidad; la cual resultó en promedio de 0.884m de profundidad, con una máxima registrada de 3.302m (Figura 3.15).

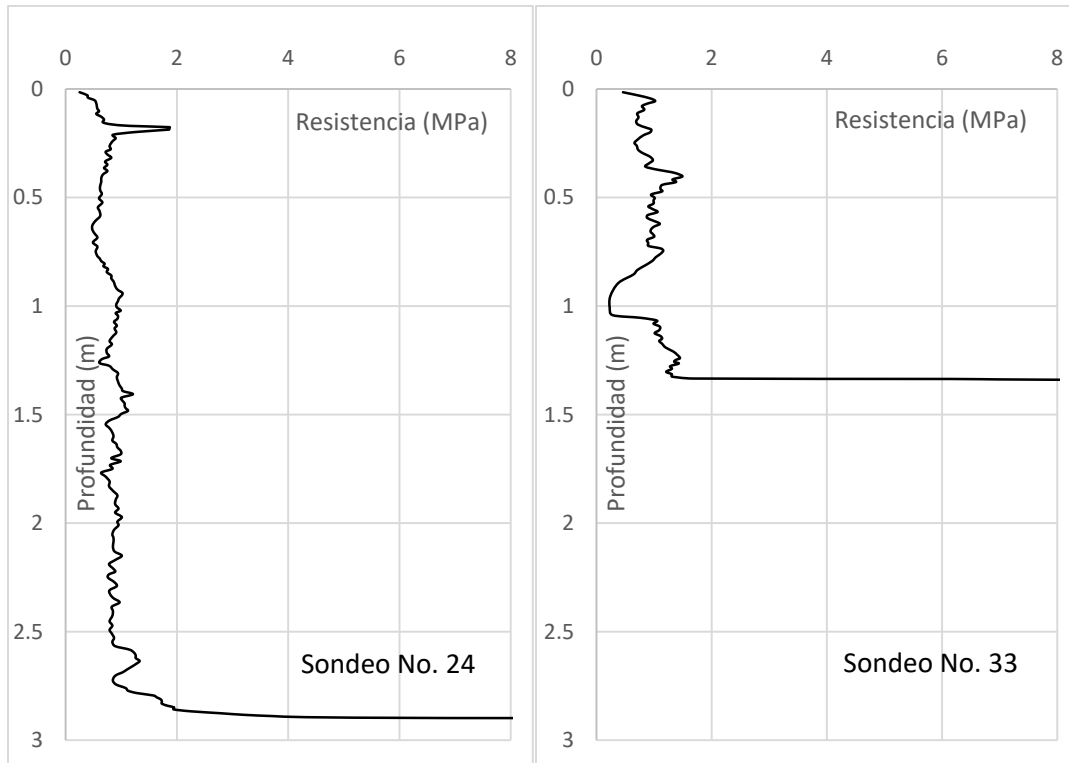


Figura 3. 15 Ejemplos de penetrogramas resultado de los sondeos PANDA. Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Granulometría

Complementario a los sondeos realizados con el Penetrómetro PANDA, se colectaron 14 muestras de suelo en la microcuenca experimental del río *El Charco*, en sitios marginales donde tuvieron lugar los PRM (Figura 3.16); Las cuales se procesaron en un horno de convección para eliminar la humedad contenida, se desintegraron los grumos o terrones y se llevó a cabo el proceso de tamizado, separando las partículas del suelo a través de mallas de diferentes tamaños, y contabilizando el peso retenido en cada una de ellas, iniciando con la malla de mayor tamaño (25.4mm o 1 pulg.), hasta llegar a la más fina (0.01mm).

Esta prueba consiste en clasificar la textura del suelo en porcentajes, ya que considera el tamaño de las partículas que lo constituyen. El tamaño de dichas partículas puede variar desde 100mm a menos de 0.001 mm. Diversas técnicas especifican los rangos para la clasificación del suelo en función del tamaño de las partículas predominantes (Clasificación Internacional, Massachusetts Institute of Technology, Kopecky [1936], Unified Soil Classification System, etc.), empleando los términos piedras, gravas, arenas, polvo, limos, arcillas, ultra arcillas o coloides; todos ellos generalizados, en algunas clasificaciones como partículas finas, medianas y gruesas (Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez, 2005).

Los porcentajes obtenidos se representan mediante una gráfica granulométrica, que ubica en el eje de las ordenadas a escala natural el porcentaje en peso de las partículas de suelo que atraviesan cada tamiz, y en el eje de las abscisas, a escala semi-logarítmica, se simboliza el tamaño de dichas partículas que componen el suelo.

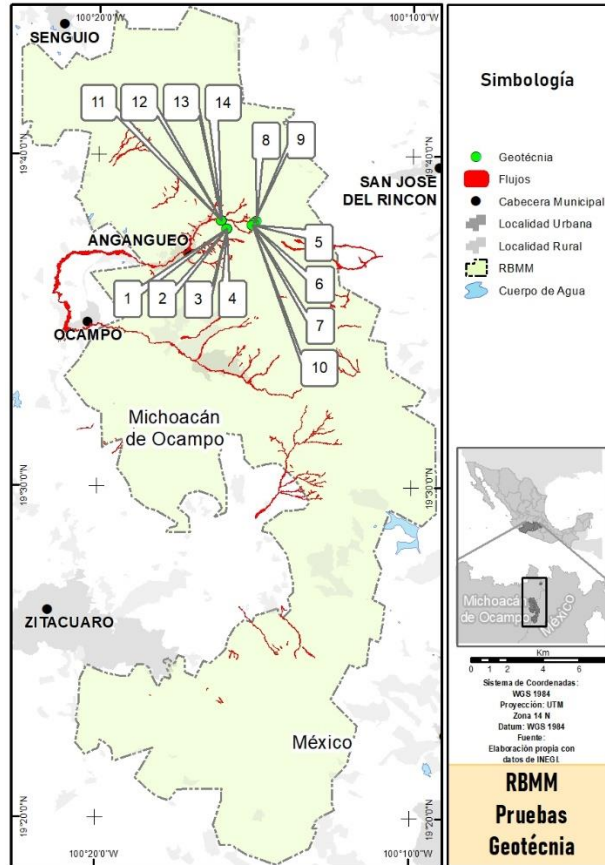


Figura 3. 16 Sitios de colecta de muestras para pruebas de Geotécnica.

De tal modo, en la microcuenca del río *El Charco*, se obtuvieron las siguientes clasificaciones de las muestras de suelo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), por sus siglas en inglés (Unified Soil Classification System), y al de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO), por sus siglas en inglés (American Association of State Highway and Transportation Officials), en función del tamaño de las partículas colectadas y tamizadas (Tabla 3.4). Ambas con un enfoque ingenieril, basados en las aptitudes de los materiales del terreno para llevar a cabo obras de infraestructura vial (carreteras y líneas ferroviarias principalmente).

Con predominio consistente de materiales granulares principalmente de tipo arenas de partículas gruesas y finas, mal graduadas, con gravas, limos y arcillas, en diferentes asociaciones; es decir, distintas asociaciones que evidencian material revuelto, mal graduado, de partículas no consolidadas y en tránsito, lo cual se puede explicar por la topografía del terreno.

	Muestra	Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)	Descripción complementaria (S.U.C.S.)	Clasificación AAHSTO
Corona	8	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa
	9	Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio). Arena limosa SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa
Base de la cabecera	5	Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio. Arena mal graduada SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa
	6	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-5 Grava y arena arcillosa o limosa
	7	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa
	10	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa
Zona de transporte	1	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa
	3	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-5 Grava y arena arcillosa o limosa
	2	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena

	4	Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio. Arena mal graduada SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
Zona de acumulación	11	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
	13	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con arcilla con grava SP SC	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla (SC)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-6 Grava y arena arcillosa o limosa
	12	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo con grava SP SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa
	14	Suelo de partículas gruesas. (Nomenclatura con símbolo doble). Arena mal graduada con limo SP SM	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos (SP) Arenas limosas, mezclas de arena y limo (SM)	Material granular Excelente a bueno como subgrado A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa

Tabla 3. 4 Clasificación de las muestras de suelos de acuerdo a los Sistemas de Clasificación SUCS y AASHTO.

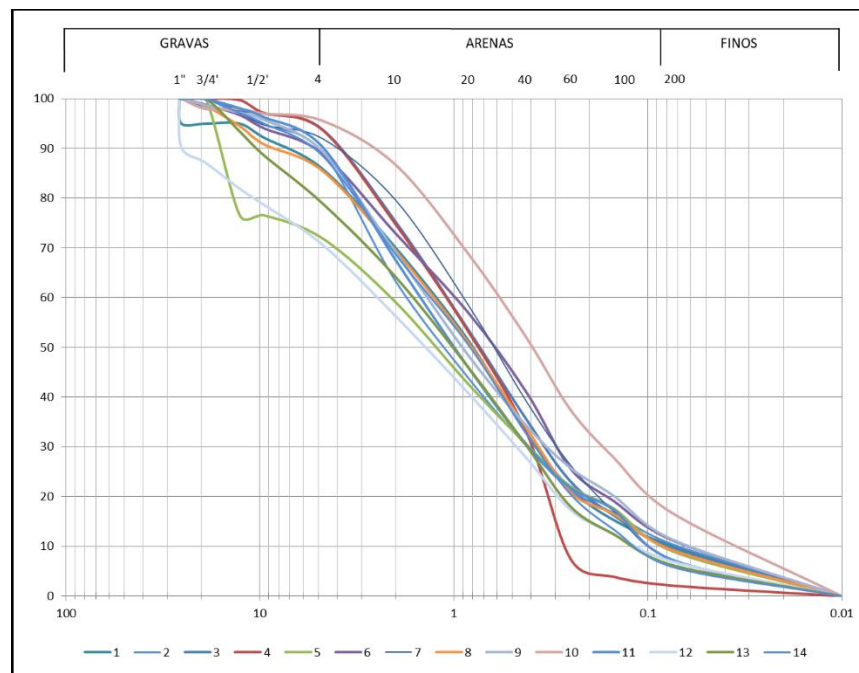


Figura 3. 17 Granulometría por muestra colectada en microcuenca río El Charco. Fuente: Elaboración propia

Con estas mismas muestras se realizaron análisis de la textura del suelo por medio del método de la pipeta (Robinson, 1922; Jennings *et al.*, 1922; Krauss, 1923), basado en la ley de Stokes; Obteniendo texturas **Franco limoso** y **Franco arcillo limoso** (Tabla 3.5).

Muestra	Arenas (%)	Limos (%)	Arcilla (%)	Textura
1	9.73	65.56	24.71	Franco limoso
2	8.04	73.05	18.91	Franco Limoso
3	16.04	59.35	24.61	Franco Limoso
4	14.59	61.66	23.76	Franco Limoso
5	13.49	58.80	27.71	Franco Limoso
6	19.51	52.53	27.96	Franco Limoso
7	11.22	60.37	28.41	Franco Limoso
8	12.64	70.40	16.96	Franco Limoso
9	18.32	52.22	29.46	Franco Arcillo Limoso
10	23.28	50.32	26.41	Franco Limoso
11	9.72	62.02	28.26	Franco Arcillo Arenoso
12	12.89	62.10	25.01	Franco Limoso
13	23.42	57.08	19.51	Franco Limoso
14	25.80	51.60	22.61	Franco Limoso

Tabla 3. 5 Textura del suelo de acuerdo con el método de la Pipeta.

3.4.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad del suelo es un indicador complementario y necesario en numerosos análisis pedológicos, por lo que los mismos sitios de donde se tomaron las muestras para el análisis de la granulometría fueron ocupados para realizar las pruebas relativas al contenido de humedad y los límites de plasticidad (Figura 3.16).

La importancia del contenido de agua o humedad de un suelo representa una de las características más importantes para explicar el comportamiento y cambios en el volumen, la cohesión y la estabilidad mecánica, especialmente en aquellos de textura fina. Esta propiedad es la relación entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas; se expresa comúnmente en porcentaje y varía de 0% (suelo seco) a 100% (suelo totalmente saturado); se dice que un suelo está “*totalmente saturado*” cuando todos sus vacíos están ocupados por el agua (Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez, 2005).

El método tradicional para determinar la humedad del suelo (W) en laboratorio es por medio del secado a horno, el cual consiste en obtener el valor de la masa de una muestra de suelo antes de introducirla en el horno y después de dejarla secar dentro de él, aproximadamente 24 horas después o hasta obtener valores constantes en el peso de la muestra seca, con estos datos se determina la diferencia entre el peso del suelo húmedo (Ww) y el del suelo

seco (W_s). Estos valores se utilizarán en la siguiente fórmula para determinar el contenido de humedad en el suelo al momento de obtener la muestra.

$$W = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) * 100 \quad (31)$$

Dónde: W : Contenido de humedad expresado en porcentaje; W_w : Peso del agua existente en la masa de suelo (Suelo Húmedo); W_s : Peso de las partículas sólidas (Suelo Seco).

Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez (2005) indican que el porcentaje de humedad varía de 0 a ∞ , sin embargo, en la naturaleza dichos porcentajes varían en límites más o menos estables de acuerdo a las regiones del planeta; por ejemplo, en arcillas japonesas se han registrado valores excepcionales de entre 1,200 a 1,400% de contenido de agua. En el sureste de México se han obtenido valores en arcillas de hasta 1,000%, y en los suelos de la ciudad de México es frecuente encontrar porcentajes de humedad de 500 a 600%.

Los valores relativos al Contenido de humedad (W) en las 14 muestras analizadas, resultan con valores mínimo de 4.0%, máximo de 30.4% y un valor promedio de 11.2%.

3.4.4 Límites de plasticidad

La consistencia de los suelos con una alta proporción de partículas finas (limos y arcillas) puede cambiar al variar su contenido de agua, pasando de sólido a semisólido y de sólido-plástico a líquido-viscoso. Esta consistencia se denomina plasticidad, la cual se define como la propiedad de un material por el cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse, para lo cual Atterberg (1911) determinó los límites que definen a los estados de consistencia por medio del contenido de humedad. Así, el límite plástico, líquido y el índice de plasticidad se definen como los límites de Atterberg (Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez, 2005). Estos límites indican el contenido de humedad necesaria para que el suelo cambie su estructura fisicoquímica y su comportamiento mecánico.

El método utilizado para obtener dichos límites consistió en el establecido por Casagrande y Terzaghi (Casagrande, 1932), tomado de Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez, (2005), y descrita por Borja-Baeza (2006) y Garnica-Peña (2007), en sus trabajos utilizando la técnica basada en el aparato de Casagrande o Copa de Casagrande, recipiente de bronce o latón, con un tacón solidario, del mismo material.

El límite líquido (L_w) es el contenido de humedad en el suelo expresado como el porcentaje de la masa de suelo secado en horno entre los límites de los estados líquido y plástico. El contenido de humedad en este límite es definido como el límite líquido y es el que adquiere una consistencia determinada por medio de la copa de Casagrande, aparato estándar utilizado para calcular el límite líquido (Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez, 2005; Garnica-Peña, 2007).

Por otra parte, el límite plástico (P_w) se define como el contenido de humedad en el suelo expresado como porcentaje de la masa de suelo secado en un horno en el límite entre el estado plástico y semisólido (Juárez-Badillo y Rico-Rodríguez, 2005). El total de agua dentro de este límite es el contenido de agua en el cual un suelo puede ser deformado en una tira cuya longitud es más o menos de la mitad de la palma de la mano, con un ancho aproximado de 3 mm sin desmenuzarse (Atterberg, 1911; Garnica-Peña, 2007).

En suma, el índice de plasticidad (I_p) es la diferencia numérica entre el límite líquido (L_w) y el plástico (P_w); indica la magnitud del rango de los contenidos de humedad sobre los cuales el suelo está en una condición plástica (Atterberg, 1911; Garnica-Peña, 2007).

$$I_p = L_w - P_w \quad (32)$$

Dónde: I_p corresponde al índice plástico; L_w al límite líquido; y P_w al Límite plástico.

Cuyos valores de referencia de los límites mencionados son los siguientes:

- Suelos friables o desmenuzables = $I_p < 1$;
- Suelos débilmente plásticos = $1 < I_p < 7$;
- Suelos medianamente plásticos = $7 < I_p < 15$;
- Suelos altamente plásticos = $I_p > 15$.

Los valores obtenidos relativos al límite líquido (L_w), límite plástico (P_w) y finalmente al índice de plasticidad (I_p), en las 14 muestras analizadas, resultan con los valores señalados en la tabla 3.6.

	Mínimo	Máximo	Promedio
Límite Líquido ($L_w\%$)	34.2	73.6	49.1
Límite Plástico ($P_w\%$)	20.2	59.4	36.5
Índice de Plasticidad ($I_p\%$)	5.0	17.9	12.6

Tabla 3. 6 Valores obtenidos a límites de plasticidad en muestras realizadas.

Por lo anterior los índices de plasticidad realizados en la microcuenca del río *El Charco*, se encuentran entre de los valores de referencia concernientes a suelos débilmente plásticos ($1 < I_p < 7$) a suelos altamente plásticos ($I_p < 15$).

3.4.5 Conductividad hidráulica

El balance hídrico del suelo se basa en el principio de la conservación de la masa, donde toda el agua que entra al suelo debe ser igual a la cantidad de agua que se almacena más el agua que sale de él. Las entradas al sistema son debido a la precipitación que se infiltra del agua hacia el suelo y las salidas se deben a la evapotranspiración y la descarga hacia los acuíferos (Fetter, 2001). Los factores que influyen en el balance hídrico del suelo son principalmente meteorológicos (precipitación, temperatura, horas de sol, etc.), geográficos

(uso del suelo y pendiente) y geológicos (textura, granulometría, estructura de la matriz del suelo, porosidad y velocidad de infiltración), (Alvarado y Barahona-Palomo, 2016).

La velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica. Además, el proceso de infiltración es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento, pudiendo detectarse así el peligro de erosión durante inundaciones o lluvias muy intensas (Alvarado y Barahona-Palomo, 2016).

La tasa o velocidad de infiltración es la velocidad con la que el agua fluye en el suelo a través de su superficie. Normalmente la expresamos en mm/h , cm/seg o mm/seg y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado (Figura 3.18).

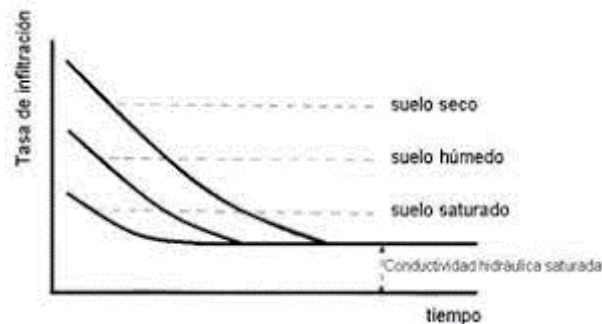


Figura 3. 18 Relación entre infiltración y conductividad hidráulica.

La conductividad hidráulica se define como la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico, es decir, es el índice de infiltración del agua, a través de los poros del suelo (Reynolds *et al.*, 1985).

Existen diversos equipos para estimar la conductividad u otros parámetros hidráulicos del suelo (pruebas de perforación en dos etapas, sonda porosa, permeámetro, infiltrómetro de anillo, infiltrómetro de doble anillo sellado, etc.), para la presente investigación se utilizó el permeámetro Guelph® 2800KI con el cual se determinaron los valores de conductividad hidráulica.

Este tipo de permeámetro se caracteriza por ser un equipo fácil de manejar, así como de instalar; el periodo de tiempo de trabajo es corto (Varía de 30 minutos a 2 horas de acuerdo con las características del suelo) en comparación con otros equipos, el mismo está diseñado para realizar pruebas en suelos poco profundos, los cuales son comunes en el área en estudio. El procedimiento para realizar las pruebas se detalla en Borja- Baeza (2006).

Reynolds y Elrick (1985) y Reynolds *et al.*, (1985) plantearon la ecuación para la determinación de la conductividad hidráulica saturada (Q_s) utilizando el Permeámetro de Guelph, misma se ocupó en la presente investigación, la cual Dafonte *et al.*, (1999), traduce de la siguiente manera:

$$Q_s = \frac{2\pi H^2}{C} K_{fs} + \pi a^2 K_{fs} + \frac{2\pi H}{C} \Phi_m \quad (33)$$

Donde Q_s ($m^3 s^{-1}$) es el flujo de recarga permanente, H (m) es la carga hidráulica en el pozo, K_{fs} (ms^{-1}) es la conductividad hidráulica saturada de campo, Φ_m ($m^2 s^{-1}$) es el potencial de flujo de la matriz, a (m) es el radio del pozo y C es un factor adimensional que depende de la relación H/a .

Para evitar la aparición de valores negativos en el cálculo de K_{fs} y Φ_m utilizando el análisis de Richards, Elrick *et al.*, (1989) propusieron las siguientes ecuaciones:

$$K_{fs} = \frac{CQ_s}{\left[2\pi H^2 + C\pi a^2 + \left(\frac{2\pi H}{\alpha^*}\right)\right]} \quad (34)$$

$$\Phi_m = \frac{CQ_s}{\left[(2\pi H^2 + C\pi a^2)\alpha^* + 2\pi H\right]} \quad (35)$$

Donde los valores de α^* se obtienen por la inclusión de la muestra de suelo dentro de una de las cuatro categorías de medios porosos que aparecen en la Tabla 3.7, por lo cual sólo se necesita una carga hidráulica para la obtención de K_{fs} y Φ_m .

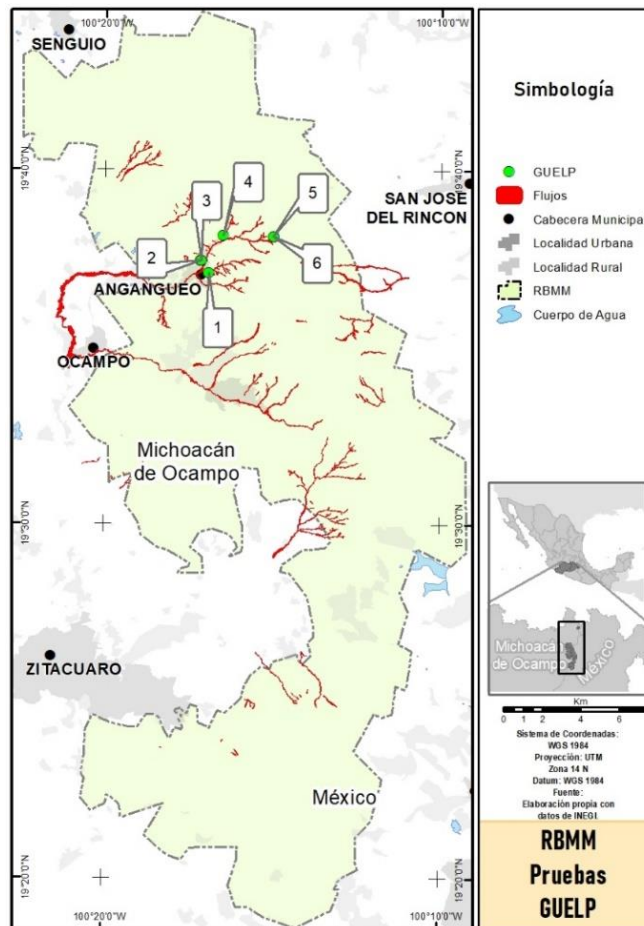


Figura 3. 19 Ubicación de las pruebas de conductividad hidráulica.

Categoría medio poroso	Valor de α^* (m^{-1})
Materiales arcillosos poco estructurados, compactados	1
Suelos que tienen textura fina y desestructurados	4
La mayor parte de los suelos estructurados desde arcillas, pasando por francos; además incluyendo arenas finas y gruesas desestructurados	12
Arenas gruesas y gravas, pueden además incluir algunos suelos con gran estructura como con grandes grietas y macroporos	36

Tabla 3. 7 Categorías de medios porosos usados para la estimación de α^* en el análisis del permeámetro de pozo de carga simple de Reynolds *et al.*, (1985).

Se realizaron 6 pruebas con columnas de agua de 5 y 10 cm de altura a 20 y 50 cm de profundidad, en la microcuenca experimental del río *El Charco* en los primeros días del mes de abril (*temporada de estiaje*), en los sitios proximales a los PRM (Figura 3.20).

Los valores relativos a la conductividad hidráulica obtenidos en los 6 sitios analizados corresponden a los señalados en la figura 3.20a y b, se observan de conformidad a la morfología del PRM y están ordenados en función de su altitud (No. 5, 3,359 m; No. 6, 3,359 m; No. 4, 2,786 m; No. 2, 2,661 m; No. 3, 2,655 m; No. 1, 2,639 m) y ubicación en las laderas de ocurrencia.

Obteniendo valores que van de 1.182 cm/hr a 15.480 cm/hr en la prueba a 20 cm de profundidad y de 0.083 cm/hr a 36.540 cm/hr en la prueba a 50 cm de profundidad.

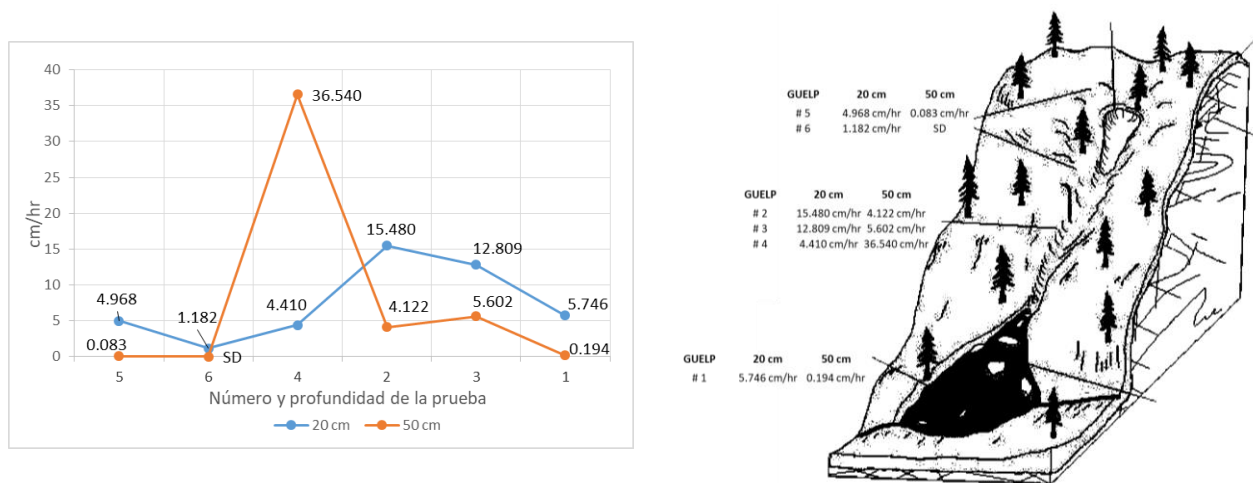


Figura 3. 20 Valores de conductividad hidráulica en microcuenca experimental, de acuerdo con su ubicación en los PRM.

3.4.6 Propiedades físicas y químicas

De manera complementaria se determinaron algunas propiedades físicas y químicas de muestras de suelos en distintos sitios de la microcuenca del río *El Charco*, con la finalidad de contrastar las características y propiedades de estos, obtenidas por los otros métodos.

Se realizaron análisis de propiedades físicas de color, densidad, porosidad y pruebas químicas para obtener el potencial hidrógeno (PH), contenido de materia orgánica (M.O.), Carbón y Nitrógeno. De manera complementaria al análisis de textura en las muestras de suelo por medio del método de la pipeta (Robinson, 1922; Jennings, *et al.*, 1922; Krauss, 1923), se realizó en algunos sitios en específico el mismo análisis por medio del método de Bouyucos (1962); ambos métodos basados en la ley de Stokes, la cual establece que las partículas en un medio estable caen a mayor velocidad en función de su masa.

La implementación de diversos métodos para determinar algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos proporciona una mayor certeza en los resultados obtenidos, así como mayor confiabilidad respecto a la relación existente entre los suelos de la microcuenca y los PRM. Las muestras colectadas para realizar estas pruebas se observan en la figura 3.21.

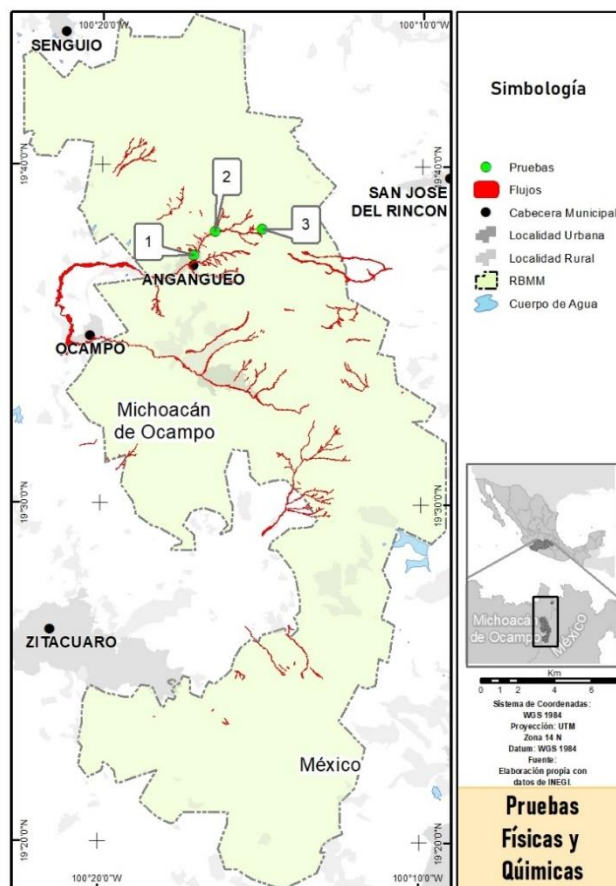


Figura 3. 21 Ubicación de los sitios de colecta de las muestras de suelo para análisis químicos.

Respecto de los parámetros físicos se obtuvieron tonos de color pardos y grises en muestras secas, y negros en muestras húmedas; valores de densidad aparente entre 0.6 g/ml y 0.8 g/ml, y de densidad real entre 1.7 g/ml y 2.2 g/ml; porosidad entre el 53% y 73%. Respecto a los análisis de textura por el método de Bouyucos (1962), se obtuvieron valores de Arena Franca y Franco arenoso (Tabla 3.8); los cuales difieren de los obtenidos por el método de la pipeta (Tabla 3.5), por lo que dichos datos solo pueden ser utilizados de manera descriptiva o referencial y no así incorporados al análisis objeto de la presente investigación.

Ahora bien, respecto a las pruebas químicas, se obtuvieron valores del potencial hidrógeno (PH) mediante la dilución en agua (H₂O) y Cloruro de Potasio (KCl), ambos con clara tendencia a la acidez; contenido de materia orgánica (M.O.) con porcentajes que van de 0.96% a 3.72%, contenido de Carbón con porcentajes de 0.55% a 2.15% y Nitrógeno con porcentajes de 0.124% a 0.193% respectivamente (Tabla 3.9).

Respecto de lo anterior es necesario retomar la propuesta de Regmi *et al.*, (2010), cuyo planteamiento respecto de la influencia del análisis del suelo en la susceptibilidad se aborda únicamente desde su plasticidad, a través del índice de plasticidad (*I_p*), y ya que el mismo fue calculado solo en algunos de los PRM de una microcuenca experimental seleccionada de la RBMM (Padilla-Doval, 2012), sería imprudente extrapolar o vincular los limitados datos obtenidos al resto de los suelos del área en estudio, para lo cual solo se mencionan de manera referencial.

Muestra	Densidad Aparente (g/ml)	Densidad Real (g/ml)	Porosidad (%)	Color Seco	Color Húmedo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
1	0.8	1.7	53	10 YR 4/4 pardo Amarillento Oscuro	10 YR 2/2 Negro	70.8	18.8	10.4	Franco arenoso
2	0.7	2.2	69	10 YR 3/4 pardo amarillento obscuro	10 YR 2/1 Negro	66.4	22.8	10.8	Franco arenoso
3	0.6	2.2	73	10YR 3/1 Gris muy obscuro	7.5 YR 2.5/1 Negro	76.8	20.4	2.8	Arena franca

Tabla 3. 8 Propiedades físicas en sitios seleccionados.

Muestra	pH		M. O. (%)	C (%)	N (%)
	H ₂ O	KCl			
1	5.44	4.13	3.72	2.15	0.193
2	5.9	4.6	0.96	0.55	0.124
3	5.62	4.6	0.96	0.55	0.124

Tabla 3. 9 Propiedades químicas en sitios seleccionados.

Por lo cual, es importante reiterar que en el análisis estadístico para determinar la susceptibilidad a estos PRM, se incorporan y analizan las unidades de Suelo identificadas en la RBMM por el INEGI (2014), de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, por sus siglas en inglés); de manera que el apartado de Geotecnia y otras propiedades de los suelos, no forma parte del análisis estadístico para el Cálculo de Pesos de Evidencia (WoE), sin embargo, dados los resultados obtenidos de cada prueba y su importancia para la clasificación de los PRM, es se detallan en el Anexo 2. Ficha diagnóstica por tipo de proceso.

3.5 Cálculo de Pesos de Evidencia (WoE)

Los valores ponderados para las clases de los factores se llevaron a cabo usando las siguientes ecuaciones (25) y (26) que se mencionaron en el Capítulo I, apartado 1.4.3.3 relativo al análisis del Método de Peso de la Evidencia (WoE):

$$W^+ = \log_e \left(\frac{\frac{A_1}{A_1 + A_2}}{\frac{A_3}{A_3 + A_4}} \right) \quad (25)$$

$$W^- = \log_e \left(\frac{\frac{A_2}{A_1 + A_2}}{\frac{A_4}{A_3 + A_4}} \right) \quad (26)$$

Donde, A_1 es el número de píxeles de PRM presentes en una clase de factor dada, A_2 es el número de píxeles de PRM que no están presentes en la clase de factor, A_3 es el número de píxeles en la clase de factor dada en la que no hay píxeles de PRM presentes, y A_4 es el número de píxeles en los que no está presente ni el PRM ni el factor dado.

El cálculo se realizó en un ambiente de Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando la función de análisis espacial. Un peso positivo (W_i^+) indica la presencia del factor causal del PRM, y la magnitud de este peso es una indicación de la correlación positiva entre la presencia del factor causal y los PRM. Un peso negativo (W_i^-) indica ausencia del factor causal, y la magnitud indica correlación negativa. La diferencia entre los dos pesos se conoce como peso de contraste, W_c ($W_c = W_i^+ - W_i^-$), y la magnitud del contraste refleja la asociación espacial general entre el factor causante y el PRM. Si el peso de contraste es positivo, el factor es favorable para los procesos, y si es negativo, es desfavorable. Si el contraste de peso es cercano a cero, esto indica que el factor muestra poca relación con los PRM (Tabla 3.10).

Un problema con este método es que cuando hay muy pocos píxeles de un PRM en una clase de factor dada, el valor ponderado de la clase se vuelve muy bajo. Al sumar este valor con los valores ponderados de otros factores, los valores negativos altos pueden hacer que la región caiga en una categoría de baja susceptibilidad, aunque los valores ponderados de

No.	Capas o variables	No.	Clases	Pixeles de la Clase	Pixeles con PRM	W+	W-	(W+)-(W-)	Ajuste (W+)-(W-)
1	Unidades litológicas GEOL	1	Agua	96	0	-9.53	0.00	-9.53	-0.53
		2	Aluvión	146,807	0	-16.86	0.03	-16.89	-1.89
		3	Andesita	4,109,284	7,610	0.26	-2.31	2.57	2.57
		4	Arenisca-conglomerado	10,258	0	-14.20	0.00	-14.20	-1.20
		5	Brecha dacítica	36,698	0	-15.47	0.01	-15.48	-1.48
		6	Basalto	466,786	18	-3.61	0.09	-3.70	-0.70
		7	Brecha andesítica	169,269	148	-0.49	0.01	-0.50	-0.50
		8	Conglomerado	854	0	-11.71	0.00	-11.71	-1.71
		9	Esquisto	43,104	24	-0.94	0.00	-0.95	-0.95
		10	Ígnea extrusiva intermedia	14,951	0	-14.58	0.00	-14.58	-1.58
		11	Metacaliza-metalutita	14,783	0	-14.57	0.00	-14.57	-1.57
		12	Metavolcano-sedimentaria	4,818	0	-13.44	0.00	-13.44	-1.44
		13	Piroclastos	82,995	0	-16.29	0.02	-16.31	-1.31
		14	Residual	35,817	0	-15.45	0.01	-15.46	-1.46
		15	Toba andesítica	312,367	0	-17.62	0.06	-17.67	-1.67
2	Fallas (Proximidad, metros) DF	1	< 25	45,447	142	0.78	-0.01	0.79	0.79
		2	75	86,719	144	0.15	0.00	0.15	0.15
		3	150	140,090	397	0.69	-0.03	0.71	0.71
		4	300	287,889	793	0.66	-0.05	0.71	0.71
		5	500	396,906	437	-0.26	0.02	-0.28	-0.28
		6	> 6,741	4,491,836	5,887	-0.09	0.34	-0.43	-0.43
3	Fracturas (Proximidad, metros) DFR	1	< 25	130,507	515	1.02	-0.04	1.06	1.06
		2	75	248,033	644	0.60	-0.04	0.64	0.64
		3	150	406,834	671	0.14	-0.01	0.16	0.16
		4	300	798,573	978	-0.16	0.02	-0.18	-0.18
		5	500	924,442	1,295	-0.02	0.00	-0.02	-0.02
		6	> 5,387	2,940,498	3,697	-0.13	0.13	-0.26	-0.26

4	Geomorfología GEOM	1	Cañones	6,276	0	-13.71	0.00	-13.71	-1.71
		2	Cráteres	21,032	11	-1.01	0.00	-1.01	-0.01
		3	Depresiones Volcánicas	36,614	0	-15.47	0.01	-15.48	-1.48
		4	Derrames lávicos con mantos volcanoclásticos y de suelos residuales	563,886	18	-3.80	0.11	-3.91	-0.91
		5	Edificios volcánicos de laderas primarias	81,303	109	-0.06	0.00	-0.07	-0.07
		6	Edificios volcánicos de laderas modeladas	204,232	268	-0.09	0.00	-0.09	-0.09
		7	Escarpes de falla	23,770	282	2.13	-0.03	2.16	2.16
		8	Ladera inestable denudatorios erosivos	58,426	0	-15.94	0.01	-15.95	-1.95
		9	Laderas altas de interfluvios con aristas encadenadas y cimas agudas	180,443	319	0.21	-0.01	0.22	0.22
		10	Laderas de valles intermontanos	222,130	10	-3.46	0.04	-3.50	-0.50
		11	Lomeríos antiguos y rampas de pie de monte	146,040	0	-16.86	0.03	-16.88	-1.88
		12	Lomeríos elevados coronados por derrames lávicos	128,983	0	-16.73	0.02	-16.76	-1.76
		13	Montañoso denudatorio de interfluvios cumbrales	344,807	45	-2.39	0.06	-2.45	-0.45
		14	Montañoso denudatorio de interfluvios cumbrales menor altitud	2,502	0	-12.79	0.00	-12.79	-1.79
		15	Montañoso denudatorio de laderas escasamente inducidas	290,218	3	-4.93	0.05	-4.99	-0.99
		16	Montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial	1,589,962	3,272	0.36	-0.20	0.56	0.56
		17	Morfología reseca con laderas erosivas antiguas	60,345	102	0.17	0.00	0.17	0.17
		18	Pie de monte de derrames lávicos piroclásticos	2,707	0	-12.87	0.00	-12.87	-1.87
		19	Pie de monte fanglomerático y de sedimentos volcánicos	35,116	0	-15.43	0.01	-15.44	-1.44
		20	Planicies aluviales	15,028	0	-14.58	0.00	-14.58	-1.58
		21	Planicies lacustres	21,584	0	-14.94	0.00	-14.95	-1.95
		22	Rampa de pie de monte coluvio-deluvial	175,671	6	-3.74	0.03	-3.77	-0.77
		23	Valle fluvial con perfil transversal asimétrico	9,462	0	-14.12	0.00	-14.12	-1.12
		24	Valle fluvial de laderas montañosas	1,010,526	3,079	0.76	-0.30	1.05	1.05
		25	Valle fluvial en rampa de pie de monte	126,685	34	-1.67	0.02	-1.69	-0.69
		26	Valles acumulativos	24,095	11	-1.14	0.00	-1.15	-0.15

	27	Valles en cimas altas y cimas puntiagudas	66,878	231	0.88	-0.02	0.90	0.90
	28	superficies de agua	171	0	-10.11	0.00	-10.11	-1.11
5		Tipos de vegetación y uso de suelo VUS						
	1	Agrícola	970,371	735	-0.64	0.10	-0.73	-0.73
	2	Cuerpo de agua	2,446	0	-12.77	0.00	-12.77	-1.77
	3	Deforestado	541,950	1,281	0.50	-0.07	0.58	0.58
	4	Encino	686,110	399	-0.90	0.08	-0.98	-0.98
	5	Encino-Oyamel	3,760	10	0.62	0.00	0.62	0.62
	6	Encino-Pino	486,824	486	-0.36	0.03	-0.39	-0.39
	7	Encino-Pino-Oyamel	1,174	0	-12.03	0.00	-12.03	-1.03
	8	Infraestructura	17,427	40	0.47	0.00	0.48	0.48
	9	Oyamel	762,968	2,268	0.73	-0.19	0.93	0.93
	10	Oyamel-Encino	3,807	49	2.21	-0.01	2.21	2.21
	11	Oyamel-Encino-Pino	1,315	0	-12.15	0.00	-12.15	-1.15
	12	Oyamel-Pino	378,815	721	0.29	-0.03	0.31	0.31
	13	Oyamel-Pino-Encino	27,393	41	0.05	0.00	0.05	0.05
	14	Pastizal	92,949	338	0.94	-0.03	0.96	0.96
	15	Pino	215,393	109	-1.04	0.03	-1.07	-0.07
	16	Pino-Encino	850,199	587	-0.73	0.09	-0.82	-0.82
	17	Pino-Oyamel	254,134	589	0.48	-0.03	0.51	0.51
	18	Pino-Oyamel-Encino	96,261	0	-16.44	0.02	-16.46	-1.46
	19	Matorral	27,024	147	1.34	-0.01	1.35	1.35
20	Juníperos	28,567	0	-15.22	0.01	-15.23	-1.23	
6		Densidad de cobertura vegetal DV						
	1	Cerrada	2,612,799	1,443	-0.95	0.45	-1.40	-0.40
	2	Semicerrada	656,991	1,350	0.36	-0.06	0.42	0.42
	3	Semiabierta	596,670	487	-0.56	0.05	-0.61	-0.61
	4	Abierta	267,303	701	0.61	-0.04	0.65	0.65
	5	Deforestado	215,931	2,477	2.09	-0.34	2.43	2.43
	6	Juníperos	32,851	10	-1.55	0.00	-1.55	-0.55
7	Pastizal	80,167	311	1.00	-0.03	1.03	1.03	

	8	Agricultura	968,260	951	-0.38	0.07	-0.44	-0.44	
	9	Infraestructura	15,557	70	1.15	-0.01	1.16	1.16	
	10	Cuerpo de agua	2,358	0	-12.73	0.00	-12.73	-1.73	
7		Edafología							
		S							
		1	Luvisol Dístrico	5,843	0	-13.64	0.00	-13.64	-1.64
		2	Andosol Úmbrico	215,711	0	-17.25	0.04	-17.29	-1.29
		3	Andosol Dístrico Epiléptico	7,159	0	-13.84	0.00	-13.84	-1.84
		4	Luvisol Úmbrico Endoléptico	324,402	0	-17.65	0.06	-17.72	-1.72
		5	Luvisol Umbrihúmico	890,732	966	-0.28	0.05	-0.32	-0.32
		6	Andosol Dístrico	188,277	15	-2.89	0.03	-2.92	-0.92
		7	Luvisol Dístrico Epiléptico	118,476	65	-0.96	0.01	-0.97	-0.97
		8	Luvisol Dístrico Endoléptico	101,147	0	-16.49	0.02	-16.51	-1.51
		9	Leptosol Dístrico Lítico	80,032	300	0.97	-0.02	0.99	0.99
		10	Andosol Úmbrico Vítrico	1,013,771	2,907	0.70	-0.26	0.96	0.96
		11	Andosol Dístrico Vítrico	2,240,249	3,547	0.10	-0.08	0.18	0.18
		12	Luvisol Crómico	105,871	0	-16.53	0.02	-16.55	-1.55
		13	Luvisol Endoesquelético Húmico	19,897	0	-14.86	0.00	-14.87	-1.87
		14	Luvisol Crómico Epiléptico	130,197	0	-16.74	0.02	-16.76	-1.76
	15	Localidad	7,104	0	-13.83	0.00	-13.83	-1.83	
	16	Cuerpo de agua	24	0	-8.14	0.00	-8.14	-0.14	
8		Altitud							
		(Rangos de elevación; metros sobre el nivel del mar)							
		EL							
		1	< 2,200	56,352	0	-15.90	0.01	-15.91	-1.91
		2	2,400	398,229	33	-2.85	0.07	-2.92	-0.92
		3	2,600	755,738	90	-2.49	0.14	-2.62	-0.62
		4	2,800	960,875	913	-0.41	0.07	-0.48	-0.48
		5	3,000	1,270,012	1,404	-0.26	0.07	-0.32	-0.32
	6	3,200	1,238,155	3,114	0.56	-0.25	0.82	0.82	
	7	3,400	649,105	2,157	0.84	-0.20	1.04	1.04	
	8	> 3641	120,421	89	-0.66	0.01	-0.67	-0.67	
	1	< 5	402,845	68	-2.14	0.07	-2.21	-0.21	
	2	10	793,189	328	-1.24	0.11	-1.36	-0.36	

9	Pendiente (Rangos expresados en grados) SL	3	20	1,840,636	2,528	-0.04	0.02	-0.06	-0.06		
		4	30	1,531,087	2,857	0.27	-0.13	0.39	0.39		
		5	40	769,066	1,681	0.42	-0.09	0.52	0.52		
		6	50	108,155	333	0.77	-0.02	0.79	0.79		
		7	60	3,885	5	-0.11	0.00	-0.11	-0.11		
		8	> 62	24	0	-8.14	0.00	-8.14	-0.14		
		10	Orientación de la ladera AS	1	Plano	1	0	-4.96	0.00	-4.96	-0.96
				2	Norte	264,617	183	-0.73	0.03	-0.75	-0.75
3	Noreste			587,349	403	-0.73	0.06	-0.80	-0.80		
4	Este			546,525	1,004	0.25	-0.03	0.28	0.28		
5	Sureste			631,348	886	-0.02	0.00	-0.02	-0.02		
6	Sur			869,275	1,055	-0.16	0.03	-0.19	-0.19		
7	Suroeste			784,648	1,677	0.40	-0.09	0.49	0.49		
8	Oeste			817,697	1,233	0.05	-0.01	0.06	0.06		
9	Noroeste			674,223	1,160	0.19	-0.03	0.21	0.21		
10	Norte			273,204	199	-0.67	0.03	-0.70	-0.70		
11	Curvatura (metros) TC	1	Menos de -0.05	1	0	-4.96	0.00	-4.96	-0.96		
		2	-0.05	2,371,379	5,794	0.53	-0.79	1.32	1.32		
		3	-0.02	133,027	127	-0.40	0.01	-0.41	-0.41		
		4	0	92,776	89	-0.40	0.01	-0.41	-0.41		
		5	0.02	93,007	76	-0.56	0.01	-0.57	-0.57		
		6	0.05	139,231	104	-0.65	0.01	-0.66	-0.66		
		7	Más de 0.05	2,619,466	1,610	-0.85	0.42	-1.27	-0.27		
12	Curvatura en planta (metros) PLC	1	Menos de -0.05	1	0	-4.96	0.00	-4.96	-0.96		
		2	-0.05	2,061,906	5,863	0.69	-0.92	1.60	1.60		
		3	-0.02	229,453	228	-0.36	0.01	-0.38	-0.38		
		4	0	183,464	138	-0.64	0.02	-0.66	-0.66		
		5	0.02	190,729	101	-0.99	0.02	-1.02	-0.02		
		6	0.05	259,421	184	-0.70	0.02	-0.73	-0.73		

	7	Más de 0.05	2,523,912	1,286	-1.03	0.44	-1.47	-0.47
	8	Error	1	0	-4.96	0.00	-4.96	-0.96
13	1	Menos de -0.05	1	0	-4.96	0.00	-4.96	-0.96
	2	-0.05	2,415,839	2,545	-0.31	0.19	-0.50	-0.50
	3	-0.02	198,644	212	-0.29	0.01	-0.30	-0.30
	4	0	138,661	132	-0.41	0.01	-0.42	-0.42
	5	0.02	140,180	189	-0.06	0.00	-0.06	-0.06
	6	0.05	199,215	244	-0.15	0.01	-0.16	-0.16
	7	Más de 0.05	2,356,347	4,478	0.28	-0.29	0.57	0.57
14	1	< 1,000	95	2	2.71	0.00	2.71	2.71
	2	1,200	2,148	20	1.88	0.00	1.88	1.88
	3	1,400	21,086	119	1.38	-0.01	1.39	1.39
	4	1,600	133,177	352	0.62	-0.02	0.64	0.64
	5	1,800	461,755	778	0.16	-0.02	0.18	0.18
	6	2,000	1,205,334	1,486	-0.15	0.04	-0.19	-0.19
	7	2,200	2,772,481	3,176	-0.22	0.19	-0.41	-0.41
	8	> 2,392	852,816	1,867	0.43	-0.10	0.53	0.53
15	1	< 25	615,303	1,702	0.66	-0.13	0.79	0.79
	2	50	584,445	1,056	0.23	-0.03	0.27	0.27
	3	100	1,087,500	1,195	-0.26	0.06	-0.32	-0.32
	4	250	2,296,517	2,870	-0.14	0.09	-0.22	-0.22
	5	500	833,307	953	-0.22	0.04	-0.26	-0.26
	6	> 811	31,815	24	-0.64	0.00	-0.64	-0.64
16	1	11	569,948	173	-1.55	0.09	-1.64	-0.64
	2	30	762,414	299	-1.29	0.11	-1.41	-0.41
	3	300	3,513,606	4,832	-0.04	0.07	-0.11	-0.11
	4	1000	532,618	2,361	1.13	-0.26	1.39	1.39
	5	20203	70,306	135	0.30	0.00	0.30	0.30
17	1	1	823,721	263	-1.50	0.13	-1.63	-0.63

		2	3		726,780	326	-1.16	0.10	-1.26	-0.26
	Acumulación de flujo FA	3	7		1,121,406	804	-0.69	0.12	-0.81	-0.81
		4	50		2,344,378	4,603	0.32	-0.33	0.65	0.65
		5	700		330,682	1,435	1.11	-0.14	1.25	1.25
		6	> 1,213,953		101,925	369	0.93	-0.03	0.96	0.96
18	Índice de potencia de la corriente SPI	1	3		141,701	0	-16.83	0.03	-16.85	-1.85
		2	12		530,250	7	-4.69	0.10	-4.79	-0.79
		3	50		2,026,408	219	-2.58	0.44	-3.02	-0.02
		4	400		2,319,836	5,082	0.43	-0.50	0.93	0.93
		5	5,000		358,486	2,324	1.52	-0.29	1.80	1.80
		6	> 1,240,742		72,211	168	0.49	-0.01	0.50	0.50
19	Índice de humedad topográfica TWI	1	4		364,557	176	-1.09	0.05	-1.13	-0.13
		2	6		3,038,816	2,382	-0.60	0.45	-1.05	-0.05
		3	8		1,453,262	3,402	0.49	-0.26	0.76	0.76
		4	10		369,898	1,313	0.91	-0.11	1.03	1.03
		5	12		131,800	435	0.84	-0.03	0.87	0.87
		6	25		90,559	92	-0.34	0.00	-0.35	-0.35
20	Localidades (Proximidad, metros) DL	1	< 25		124,561	97	-0.61	0.01	-0.62	-0.62
		2	50		22,824	43	0.28	0.00	0.28	0.28
		3	100		50,201	83	0.15	0.00	0.15	0.15
		4	250		194,755	303	0.08	0.00	0.09	0.09
		5	500		454,755	389	-0.51	0.04	-0.55	-0.55
		6	> 5,127		4,601,791	6,885	0.04	-0.28	0.32	0.32
21	Tenencia de la Tierra LT	1	Ejido		3,257,705	5,751	0.21	-0.43	0.63	0.63
		2	Pequeña Propiedad		595,788	474	-0.59	0.05	-0.64	-0.64
		3	Litigio 2		3,380	0	-13.09	0.00	-13.09	-1.09
		4	Propiedad Estatal		11,378	0	-14.30	0.00	-14.31	-1.31
		5	Propiedad Federal		59,951	0	-15.97	0.01	-15.98	-1.98
		6	Litigio 1		21,872	0	-14.96	0.00	-14.96	-1.96

		7	Comunidad Indígena	1,498,813	1,575	-0.31	0.10	-0.40	-0.40
22	Vialidades (Proximidad, metros) DR	1	< 25	352,314	432	-0.15	0.01	-0.16	-0.16
		2	50	330,079	318	-0.40	0.02	-0.42	-0.42
		3	100	555,506	581	-0.31	0.03	-0.34	-0.34
		4	250	1,354,314	1,647	-0.16	0.05	-0.21	-0.21
		5	500	1,384,567	2,455	0.21	-0.09	0.30	0.30
		6	> 2,195	1,472,107	2,367	0.12	-0.05	0.16	0.16

Tabla 3. 10 Pesos calculados y ajustados por clase de factores (capa o variables), de acuerdo con el método de WoE; Regmi *et al.*, (2010).

otros factores implican que la zona es peligrosa. En este caso, es mejor asignar un valor ponderado cero a esta clase o combinar la clase con otras Regmi *et al.*, (2010).

Ahora bien, en la Tabla 3.10 se habla de valores ajustados, dado que los valores negativos cuya magnitud es igual a uno o superior, fueron redimensionados.

3.5.1 Prueba de independencia condicional (*Chi-cuadrada*)

La independencia condicional de los factores asignados a PRM dados se probó antes de la integración del mapa ponderado para crear un mapa de peso total, mediante comparación por pares utilizando estadísticas de *chi-cuadrada*.

Primero, para facilitar el análisis, todos los datos categóricos y continuos que causan PRM se convirtieron en un patrón binario (presencia o ausencia de PRM) basado en el peso de contraste obtenido por el cálculo del peso de evidencia (WoE). En ambos casos, la mayoría de las clases de factores que tenían valores positivos de peso de contraste se asignaron como presencia y las clases de factores que tenían valores de peso de contraste negativos se asignaron como ausencia. Estas clases binarias fueron verificadas de forma cruzada considerando la distribución de los PRM, utilizando un programa de análisis estadístico.

		Patrón binario F_1		
		Presencia	Ausencia	Total
Patrón binario F_2	Presencia	$O_1 = \{F_1 \cap F_2 \cap L\}$	$O_3 = \{\bar{F}_1 \cap F_2 \cap L\}$	$\{F_2 \cap L\}$
		$(E_1 = \{F_2 \cap L\} * \{F_1 \cap L\} / \{L\})$	$(E_3 = \{F_2 \cap L\} * \{\bar{F}_1 \cap L\} / \{L\})$	
	Ausencia	$O_2 = \{F_1 \cap \bar{F}_2 \cap L\}$	$O_4 = \{\bar{F}_1 \cap \bar{F}_2 \cap L\}$	$\{\bar{F}_2 \cap L\}$
		$(E_2 = \{\bar{F}_2 \cap L\} * \{F_1 \cap L\} / \{L\})$	$(E_4 = \{\bar{F}_2 \cap L\} * \{\bar{F}_1 \cap L\} / \{L\})$	
Total	$\{F_1 \cap L\}$	$\{\bar{F}_1 \cap L\}$	$\{L\}$	

Tabla 3. 11 Tabla de contingencia de frecuencias.

Dónde las frecuencias observadas (O_i) y las frecuencias esperadas (E_i) con respecto a los PRM (L) en factores binarios F_1 y F_2 . Las frecuencias esperadas (E_i) se determinan multiplicando las frecuencias marginales y dividiéndolas por el total.

En segundo lugar, se prepararon tablas de contingencia de 2x2 para todos los pares posibles de 22 factores binarios (Tabla 3.11) y se realizaron pruebas de *chi-cuadrada* empleando la siguiente ecuación:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (36)$$

Donde las frecuencias observadas (O_i) y las frecuencias esperadas (E_i) se determinan a partir de la tabla de contingencia (Tabla 3.11).

Los valores de *chi-cuadrada* se calcularon para 1 grado de libertad, con nivel de confianza del 99 % (0.0002). Los valores mayores que los valores de la tabla, sugieren que hay una asociación significativa entre las variables categóricas en la ocurrencia de los PRM.

3.5.2 Modelado y evaluación mediante Curva ROC

Se elaboraron tres modelos de susceptibilidad a PRM sumando los valores de peso de contraste obtenidos del análisis de pesos de evidencia (WoE). El primero de ellos, tomando en consideración la totalidad de las variables referentes a unidades ambientales, del relieve y antrópicas utilizadas en este estudio, el segundo modelo a partir de las variables definidas por Regmi *et al.*, (2010), y el tercero de ellos, considerando aquellas variables resultado de las pruebas de independencia condicional de *chi-cuadrada* calculada para las unidades ambientales, del relieve y antrópicas.

Para evaluar la precisión de cada modelo de susceptibilidad elaborado, fueron utilizados los puntos que representan los PRM observados (9,750); los puntos se seleccionaron y dividieron al azar, 7,800 de ellos fueron utilizados como conjunto de entrenamiento para los cálculos de WoE en cada uno de los factores analizados, y 1,950 puntos no incluidos en el cálculo de WoE, se ocuparon como conjunto de validación para los modelos obtenidos.

El análisis de la combinación de los mapas ponderados se realizó con base en curvas ROC (Receiver Operating Characteristic, por sus siglas en inglés), cuya traducción literal es Característica Operativa del Receptor, aunque su interpretación quizá se ajuste mejor a Curva de Eficacia Diagnóstica, el cual constituye un método estadístico para determinar la exactitud de una prueba (Martínez-Pérez y Pérez-Martin, 2022).

Para determinar la exactitud diagnóstica de la prueba se utilizan escalas continuas con tres propósitos específicos: determinar el punto de corte en el que se alcanza la Sensibilidad y la Especificidad más alta, evaluar la capacidad discriminativa de la prueba diagnóstica, es decir, su capacidad de diferenciar valores de presencia respecto de los de ausencia, y comparar la capacidad discriminativa de dos o más pruebas diagnósticas que expresan sus resultados como escalas continuas (Cerdeira y Cifuentes, 2011).

		Predicción		
		Positivo	Negativo	
Valores reales	Positivo	<i>Verdaderos Positivos (TP)</i>	<i>Falsos Negativos (FN)</i>	$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$
	Negativo	<i>Falsos Positivos (FP)</i>	<i>Verdaderos Negativos (TN)</i>	$TNR = \frac{TN}{FP + TN}$

Tabla 3. 12 Tabla de contingencia de sensibilidad y especificidad.

Dónde *Verdaderos Positivos (TP)* son los casos en los que los datos reales son verdaderos (1) y la predicción también lo es (1); *Verdaderos Negativos (TN)* son los casos en los que los datos reales son falsos (0) y el pronóstico también es falso (0); *Falsos Positivos (FP)* son los casos en que los datos reales indica que es falso (0) y la predicción indica que es verdadero (1), es decir la predicción

ha sido errónea. La palabra falso es porque el modelo ha pronosticado incorrectamente y positivo porque la predicción ha sido positiva (1); *Falsos Negativos (FN)* son los casos en que los datos reales indican que es verdadero (1) y el pronóstico ha sido calculado como falso (0), ocasionando que la predicción sea incorrecta. La palabra falso es porque el modelo ha predicho incorrectamente y negativo por el sentido de la predicción (0). Se denomina Sensibilidad o Recall a $TPR =$ Tasa de verdaderos positivos, que es la probabilidad de un resultado positivo de la prueba, condicionada a que el individuo realmente sea positivo. Y se denomina Especificidad a $FPR =$ Tasa de falsos negativos, que es la probabilidad de un resultado negativo en la prueba, condicionada a que el individuo realmente sea negativo.

De manera similar a la prueba de independencia condicional se prepararon tablas de contingencia, en este caso, se utiliza para encontrar la precisión y exactitud del modelo (Tabla 3.12), es una tabla con dos dimensiones, la primera respecto de la situación analizada o actual y la segunda relativa a la predicción, integrada por conjuntos de clases en ambas dimensiones; las filas de la matriz indican la clase observada o real y las columnas indican la clase predicha.

Mediante este método, la capacidad de predicción de cada modelo está determinada por el área bajo la curva (*AUC*), expresada por medio de la exactitud del modelo (*ACC*) mediante la siguiente fórmula:

$$ACC = \frac{\text{Clasificaciones correctas}}{\text{Todas las clasificaciones}} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{TP + TN}{P + N} \quad (37)$$

De manera ideal, cuando dos curvas no se sobreponen en absoluto, la separación es precisa perfectamente capaz de distinguir entre clase positiva y clase negativa; el valor máximo de la curva es 1; Cuando las distribuciones se sobreponen, se induce error y dependiendo del umbral, podemos aceptarlos. Un valor de *ACC* de 0.7, significa que hay 70% de probabilidad de que el modelo pueda distinguir entre clase positiva y clase negativa; Si el valor de *ACC* es de 0.5, el modelo no tiene capacidad de discriminación para distinguir entre clase positiva y clase negativa, es decir se tiene la misma certidumbre que al lanzar una moneda al aire. Finalmente, si *ACC* es cero, el modelo en realidad está confundiendo las clases, lo que significa que el modelo predice la clase negativa como una clase positiva y viceversa.

Capítulo IV. Resultados y discusión

4.1 Análisis de la precipitación

De acuerdo con la información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), entre los últimos días de enero y los primeros de febrero del 2010, se presentó un amplio sistema de tormentas de baja presión provenientes del Océano Pacífico, el cual ocasionó lluvias intensas en el centro-occidente de México, afectando particularmente al Estado de Michoacán, y especialmente la cuenca del sistema Cutzamala.

En la figura 4.1 se observa el paso de los frentes fríos no. 28 y 29, así, como una corriente en chorro, que introdujo humedad del océano Pacífico. Estos fenómenos meteorológicos provocaron lluvias intensas en las cuencas del centro del país, donde se encuentra la RBMM.

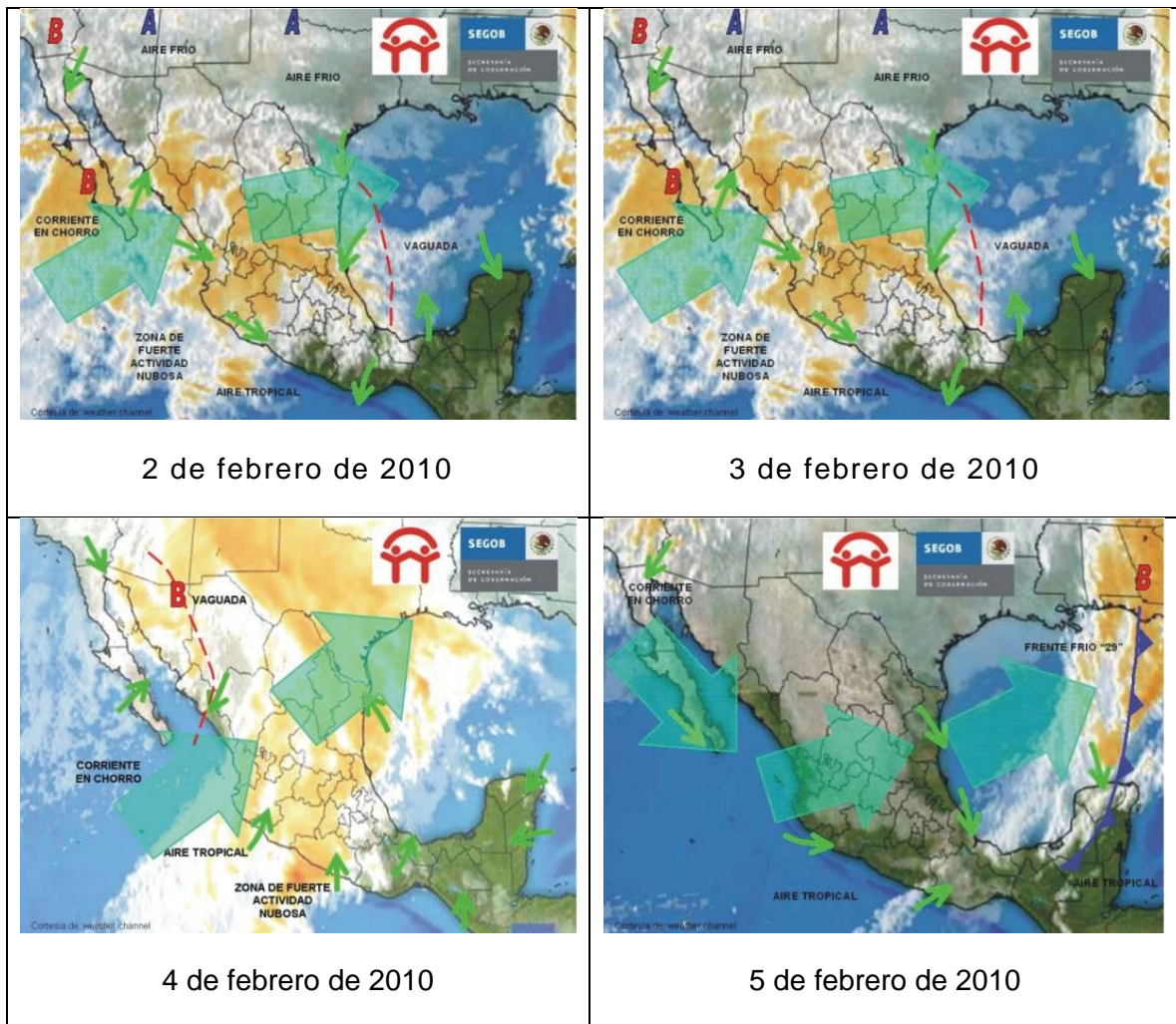


Figura 4. 1 Sistemas meteorológicos que afectaron al país durante febrero de 2010
(Fuente: SMN-CONAGUA-CENAPRED)

No.	ID	Nombre de estación	Estado	Municipio	Años de Observación	Elevación	Distancia a RBMM (km)
1	11031	JERECUARO	GUANAJUATO	JERECUARO	96	1,787	41.6
2	11076	PRESA SOLIS	GUANAJUATO	ACAMBARO	58	1,901	48.4
3	11077	TARANDACUAO	GUANAJUATO	TARANDACUAO	77	1,937	33.9
4	11116	HACIENDA SAN LUCAS	GUANAJUATO	JERECUARO	42	2,027	46.7
5	11166	EL GIGANTE	MICHOACAN DE OCAMPO	MARAVATIO	40	1,971	29.0
6	15002	ACULCO (SMN)	MEXICO	ACULCO	57	2,490	33.1
7	15026	ENYEJE	MEXICO	IXTLAHUACA	57	2,550	32.0
8	15029	EL TEJOCOTE	MEXICO	ATLACOMULCO	49	2,449	23.9
9	15046	PRESA COLORINES (CFE)	MEXICO	VALLE DE BRAVO	68	1,645	14.8
10	15070	PRESA BROCKMAN	MEXICO	EL ORO	48	2,929	12.8
11	15076	PRESA TEPETITLAN	MEXICO	SAN FELIPE DEL PROGRESO	57	2,564	24.6
12	15078	PRESA FRANCISCO TRINIDAD FABELA	MEXICO	ATLACOMULCO	56	2,718	37.5
13	15088	SAN FRANCISCO OXTOTILPAN	MEXICO	TEMASCALTEPEC	55	2,605	37.1
14	15089	SAN FRANCISCO TLALCICALCALPAN	MEXICO	ALMOLOYA DE JUAREZ	78	2,773	45.8
15	15108	SANTA MARIA DEL MONTE	MEXICO	ZINACANTEPEC	54	2,839	39.7
16	15128	TULTENANGO	MEXICO	EL ORO	56	2,601	16.4
17	15133	PRESA VILLA VICTORIA	MEXICO	VILLA VICTORIA	57	2,552	10.7
18	15158	SAN PEDRO DE LOS BAÑOS	MEXICO	IXTLAHUACA	51	2,552	36.9
19	15160	SANTIAGO DEL MONTE	MEXICO	VILLA VICTORIA	47	2,770	23.8
20	15165	VALLE DEL BRAVO	MEXICO	VALLE DE BRAVO	53	1,948	16.6
21	15183	EL ORO	MEXICO	EL ORO	43	2,731	15.8
22	15189	LA CONCEPCION	MEXICO	ACULCO	44	2,351	27.0
23	15199	MINA VIEJA	MEXICO	VILLA VICTORIA	42	2,927	21.8
24	15205	DOLORES PRESA	MEXICO	VILLA VICTORIA	41	2,616	27.4
25	15229	LOMA ALTA	MEXICO	ZINACANTEPEC	38	3,432	45.7
26	15236	OCOYOTEPEC	MEXICO	ALMOLOYA DE JUAREZ	38	2,706	32.6
27	15244	MUYTEJE	MEXICO	ACAMBAY	40	2,840	19.5
28	15245	LA JORDANA	MEXICO	EL ORO	41	2,620	22.4
29	15251	ATLACOMULCO II (DGE)*	MEXICO	ATLACOMULCO	41	2,574	31.6
30	15260	SAN LUCAS TOTOLMALOYA	MEXICO	ACULCO	37	2,737	24.0
31	15261	EL JAZMIN	MEXICO	ACULCO	38	2,650	24.7
32	15265	CAMPAMENTO LOS BERROS	MEXICO	VILLA DE ALLENDE	37	2,541	11.8
33	15267	CHICHILPA	MEXICO	SAN FELIPE DEL PROGRESO	36	2,795	19.1
34	15273	PRESA ÑADO	MEXICO	ACULCO	37	2,600	26.6
35	15276	SAN JOSE DEL CONTADERO	MEXICO	ZINACANTEPEC	36	3,045	43.2
36	15282	TRES BARRANCAS	MEXICO	ALMOLOYA DE JUAREZ	38	2,682	40.5
37	15287	LA COMUNIDAD D-8	MEXICO	TEMASCALTEPEC	37	2,500	36.5
38	15293	SAN JUAN DE LAS HUERTAS	MEXICO	ZINACANTEPEC	36	2,905	47.6

No.	ID	Nombre de estación	Estado	Municipio	Años de Observación	Elevación	Distancia a RBMM (km)
39	15308	SAN CRISTOBAL DE LOS BAÑOS	MEXICO	IXTLAHUACA	37	2,570	34.0
40	15368	EL FRESNO	MEXICO	VALLE DE BRAVO	35	2,160	25.1
41	15372	IXTLAHUACA (DGE)	MEXICO	IXTLAHUACA	32	2,540	40.8
42	15374	AGUA BENDITA	MEXICO	AMANALCO	35	2,817	27.9
43	15390	E. T. A. 013 JOCOTITLAN	MEXICO	JOCOTITLAN	33	2,650	42.8
44	15391	E. T. A. 026 VILLA VICTORIA	MEXICO	VILLA VICTORIA	24	2,580	9.3
45	16058	JUNGAPEO	MICHOACAN DE OCAMPO	JUNGAPEO	75	1,248	17.2
46	16061	LAGUNA DEL FRESNO*	MICHOACAN DE OCAMPO	MARAVATIO	71	2,080	11.5
47	16097	PRESA PUCUATO*	MICHOACAN DE OCAMPO	HIDALGO	66	2,490	33.3
48	16098	PRESA SABANETA*	MICHOACAN DE OCAMPO	HIDALGO	64	2,510	31.9
49	16111	SAN JOSE	MICHOACAN DE OCAMPO	MARAVATIO	62	2,043	17.6
50	16122	SUSUPUATO DE GUERRERO	MICHOACAN DE OCAMPO	SUSUPUATO	72	1,260	18.0
51	16124	TEMASCALES	MICHOACAN DE OCAMPO	CONTEPEC	74	2,409	6.5
52	16192	LA ENCARNACION	MICHOACAN DE OCAMPO	ZITACUARO	43	1,720	5.7
53	16199	SAN MIGUEL CURINHUATO**	MICHOACAN DE OCAMPO	MARAVATIO	42	2,020	37.4
54	16233	EPITACIO HUERTA	MICHOACAN DE OCAMPO	EPITACIO HUERTA	34	2,503	23.7
55	16238	MELCHOR OCAMPO	MICHOACAN DE OCAMPO	TUZANTLA	36	496	44.9
56	16258	PRESA TUXPAN	MICHOACAN DE OCAMPO	TUXPAN	35	1,747	13.9
57	16514	JARIPEO	MICHOACAN DE OCAMPO	IRIMBO	28	1,880	11.9
58	22001	AMEALCO	QUERETARO	AMEALCO DE BONFIL	74	2,629	21.1
59	22047	PRESA EL CAPULIN	QUERETARO	AMEALCO DE BONFIL	25	2,746	18.7

*Cálculo de Periodo de retorno en Padilla-Doval (2012).

Tabla 4. 1 Estaciones climatológicas con registros durante 2010 (Fuente: SMN-CONAGUA).

Para evidenciar lo anterior, se examinaron las 143 estaciones climatológicas mencionadas en numeral 2.2.4 Clima, seleccionando aquellas estaciones localizadas a menos de 50km de la RBMM y en operación durante febrero de 2010, cuando tuvieron lugar los PRM (Anexo 1); De tal modo, el número de estaciones se redujo a 59 (Tabla 4.1), ninguna de ellas localizada al interior de la reserva (Figura 4.2); De manera complementaria se enlistan los años operación de cada una de las estaciones climatológicas, las cuales han registrado datos en promedio 49 años, algunas de ellas cuentan con registros por más de 96 años.

Si bien es cierto que en el capítulo II, numeral 2.2.4 Clima, se detallan las condiciones generales del clima en la región, en este apartado se da cuenta de las particularidades de este, específicamente a los registros disponibles del mes de febrero.

En la Figura 4.3 se muestran los periodos de registro de datos de cada una de las estaciones, todas ellas en operación durante el año 2010.

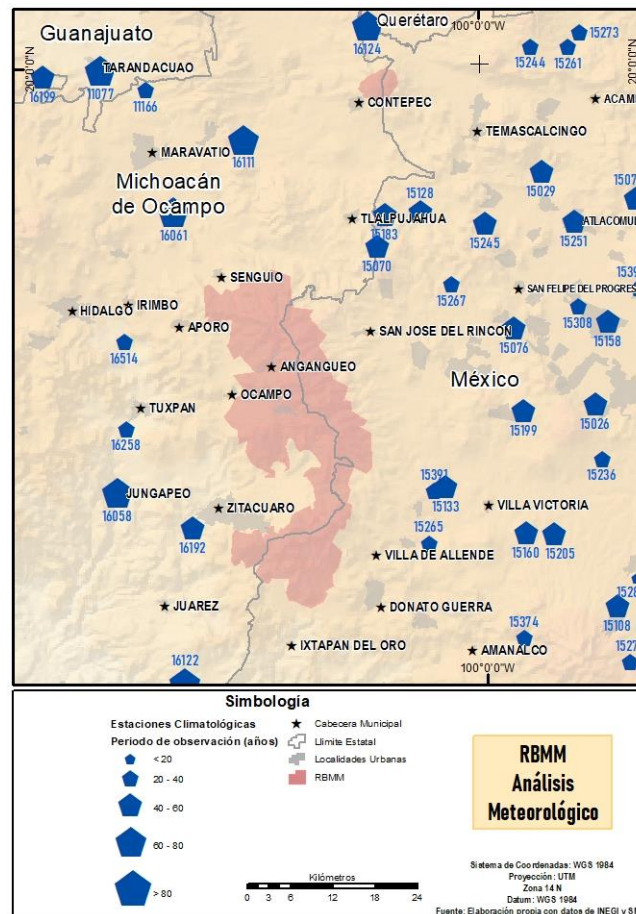


Figura 4. 2 Estaciones Climatológicas seleccionadas.

En la Figura 4.4 se muestra los datos históricos de la precipitación promedio anual (PPA) registrada durante los años de observación de cada estación climatológica. Se puede observar con el valor más bajo la estación número 25, clave 15229 y nombre Loma Alta, con 560 mm/año, mientras que el valor más alto registrado es de 1,844 mm/año y corresponde a la estación número 40, clave 15368, de nombre El Fresno. Finalmente, se observa la línea de tendencia central que corresponde al promedio de la PPA de los datos analizados con valor de 810.6 mm/año.

Prosiguiendo con lo mencionado en el numeral 2.2.4 Clima, es importante destacar que en la región de la RBMM la lluvia generalmente ocurre durante el verano, y se consideran los meses de diciembre a marzo como la temporada invernal, cuya precipitación oscila entre el 5 y el 10% del total anual. Dado que la ocurrencia de los PRM analizados en la presente investigación tuvo lugar en los primeros días del mes de febrero de 2010, esta debe considerarse como lluvia invernal, aunado a que, si solo se consideran los 5 días de febrero como el porcentaje de lluvia invernal, esta resulta atípica, pues se trata del 22% del total anual.

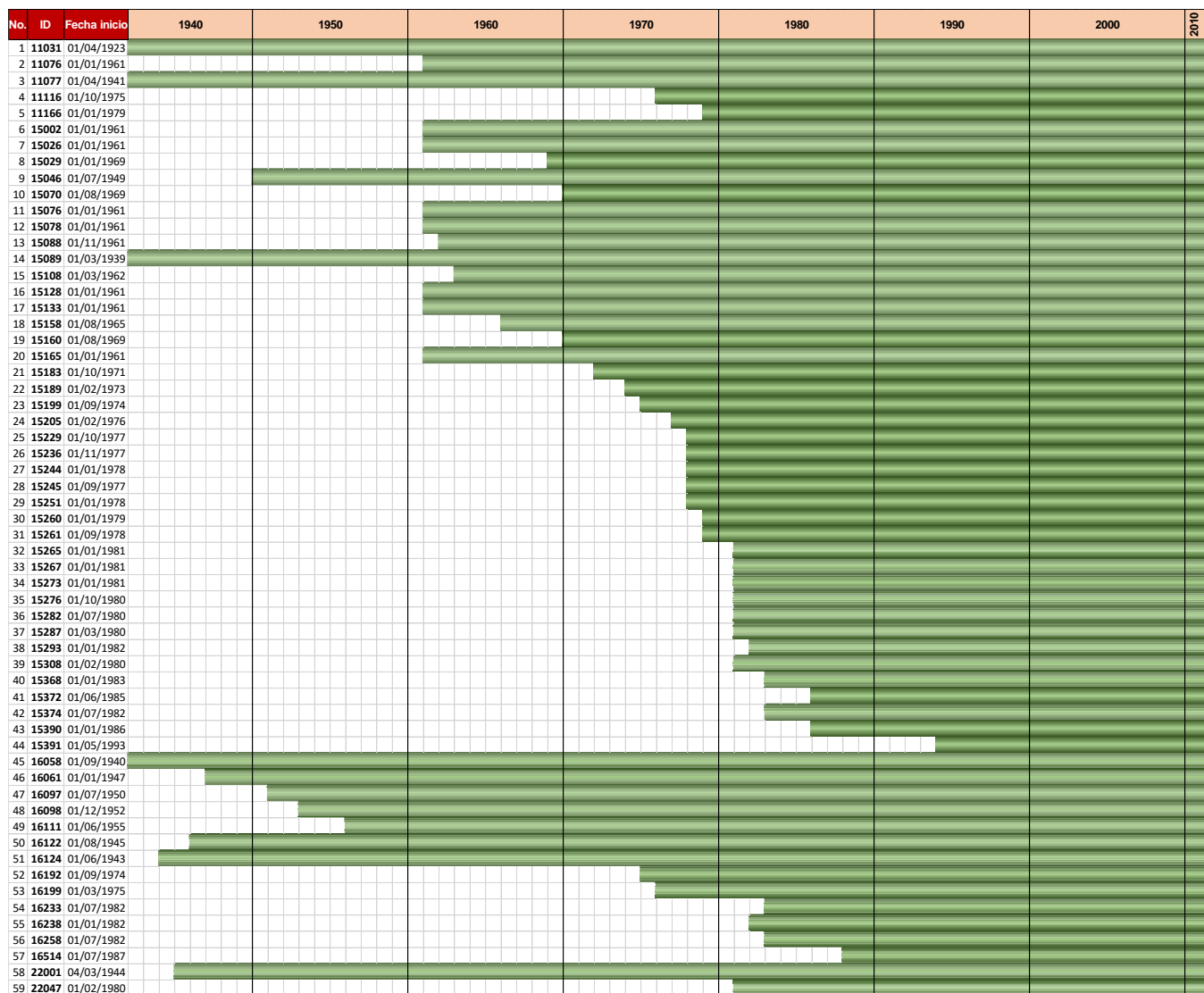


Figura 4. 3 Periodos de observación por Estaciones Climatológicas seleccionadas.

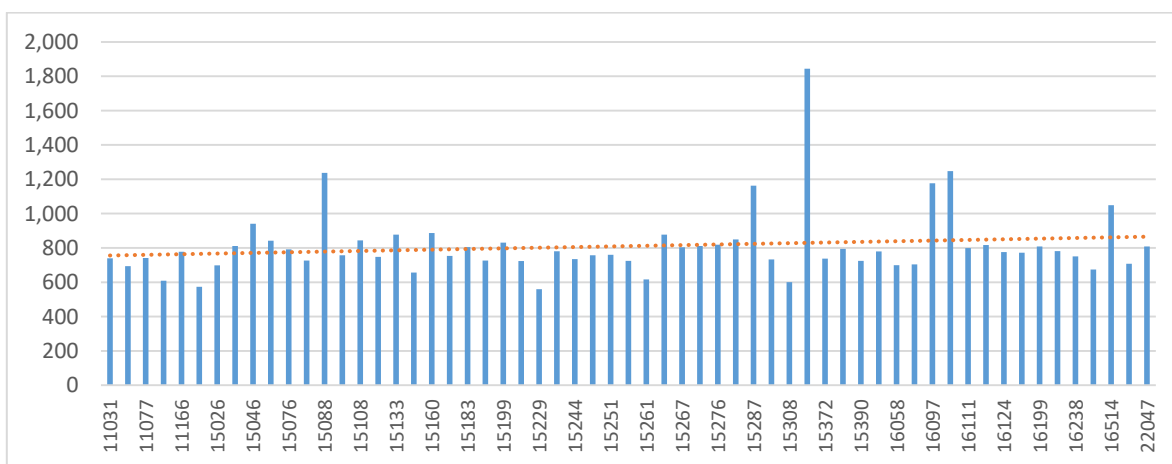


Figura 4. 4 Precipitación promedio anual (PPA) de las Estaciones Climatológicas seleccionadas.

Complementario a lo anterior, es importante mencionar que tanto pobladores como los registros meteorológicos disponibles, evidencian que previo a la ocurrencia de los PRM en la zona en estudio y durante los primeros días de lluvia, ésta estuvo acompañada de granizo, incluso algunos pobladores, dada la época del año, refieren la caída de nieve en ciertas regiones montañosas de la RBMM durante los días 1 y 2 de febrero (Figura 4.5).

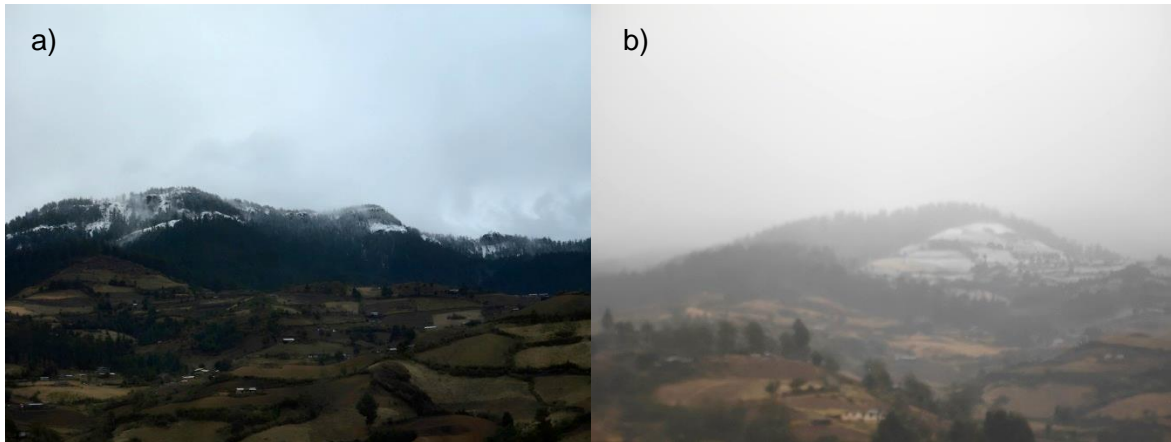


Figura 4. 5 a) Granizo en zona montañosa El Rosario, RBMM; b) Influencia del temporal como factor climático en la ocurrencia de PRM.

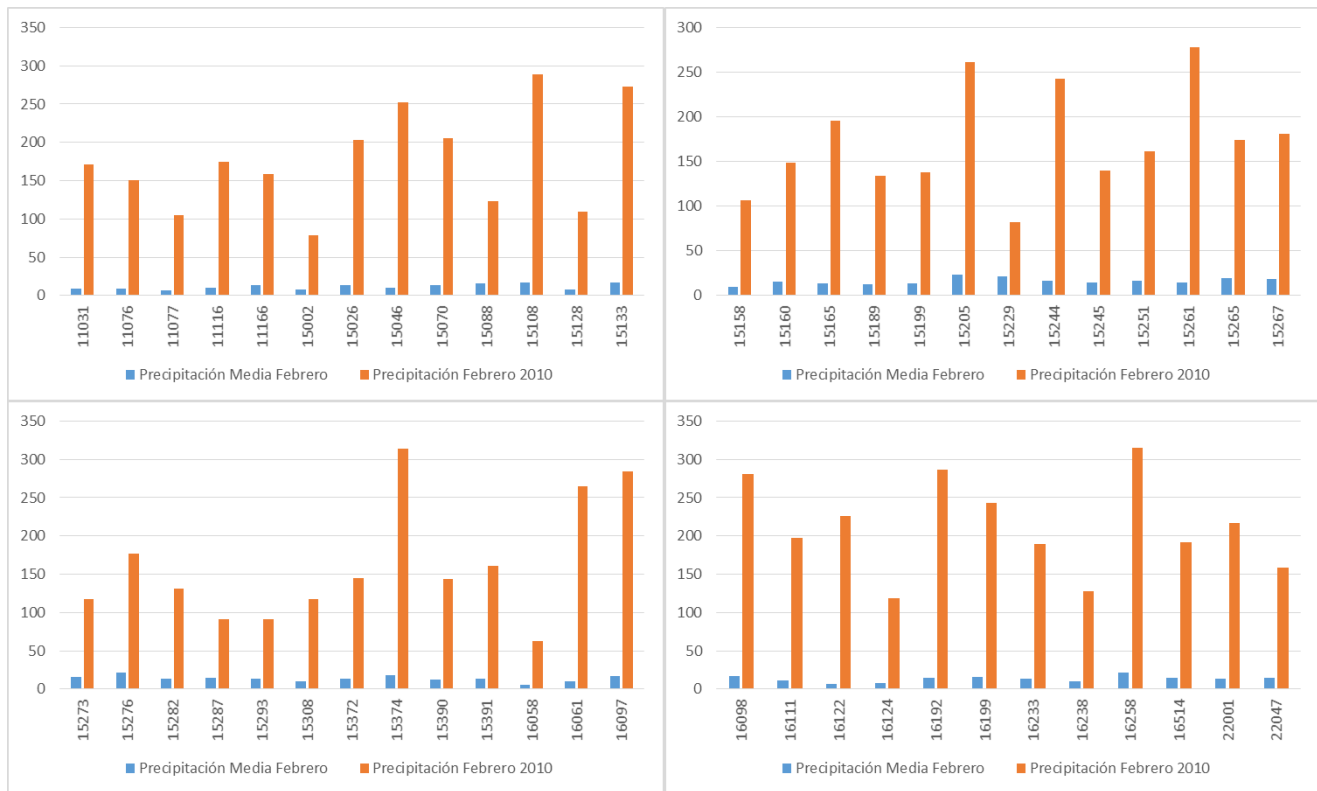


Figura 4. 6 Comparación entre precipitación promedio anual (PPA) y precipitación registrada durante febrero de 2010 en las Estaciones Climatológicas seleccionadas.

Lo anterior deja en evidencia lo atípico de la lluvia acontecida, tanto en su tipo, época del año de ocurrencia e intensidad, cuyo análisis será descrito más adelante, destacando así a la precipitación, como factor desencadenante de la inestabilidad de laderas de los eventos en estudio.

4.1.1 Lluvias intensas

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define como lluvias intensas o torrenciales, cuando la caída de agua pluvial es superior a los 60 mm en el transcurso de una hora. Debido a que en el presente estudio no se disponen de registros detallados de la precipitación por hora, se describen algunas características de la lluvia acontecida: 49 de las 59 estaciones climatológicas analizadas, registraron sus valores máximos históricos de lluvia en 24 horas durante los primeros días del mes de febrero de 2010; una estación lo registro el día 02 de febrero, 17 estaciones lo hicieron el 03 de febrero y el resto de ellas, (41) el día 04 del mismo mes; 30 de ellas registraron valores por encima de los 60 mm de lluvia, 12 por encima de los 100 mm de lluvia y dos superaron los 150 mm de lluvia máxima en 24 horas, sin especificar el intervalo de su ocurrencia con mayor detalle.

En las figuras 4.7 y 4.8 se observa la lluvia acumulada durante los primeros días del mes de enero de 2010, la cual en algunas de las estaciones fue constante e intensa, llegando a registrar un valor promedio de 140 mm, con máximo de 300 mm, se registró en la estación número 56, clave 16258, de nombre Presa Tuxpan, cuya PPA es de 674.4mm, lo que significa, que en solo 5 días llovió el 40% de la PPA, ubicada a tan solo 13 km al oeste de la RBMM, se puede hablar de lluvias extraordinarias. Finalmente, considerando las estaciones marcadas con asterisco de la Tabla 4.1, se recalcula en 3,600 años el Periodo de Retorno (T_r) de las lluvias de febrero de 2010 (Padilla-Doval, 2012).

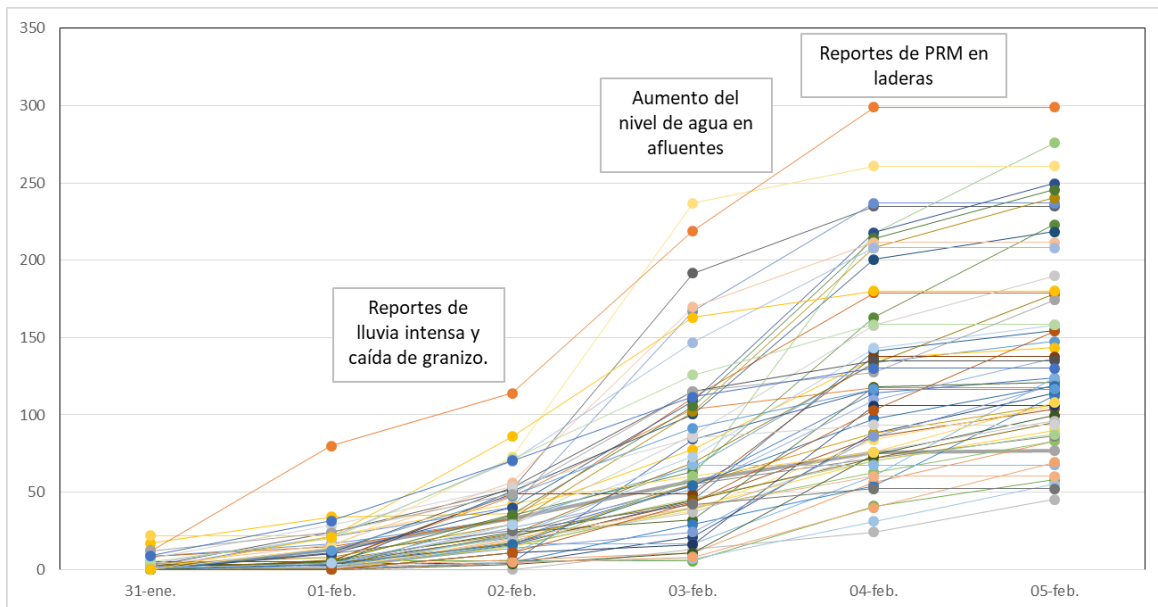


Figura 4. 7 Precipitación acumulada del 31 de enero al 05 de febrero de 2010.

Complementario a lo anterior, también se destacan los reportes de los pobladores de la localidad de Angangueo, quienes documentaron mediante videograbaciones la evolución de la precipitación (líquida y sólida), así como el desencadenamiento de los PRM, durante los días señalados en la figura 4.7; sin embargo, al no tener registros detallados, resulta imposible su correlación.

Generalmente hay consenso respecto que la rápida velocidad de infiltración del agua, causada principalmente por lluvias intensas y prolongadas, saturan el suelo y aumentan de manera temporal la presión del agua intersticial, desencadenando así durante las tormentas el mecanismo por el cual se generan la mayoría de los PRM poco profundos, y más específicamente los flujos (Iverson, 2000). Wiczorek y Gladee (2005), identifican factores climáticos primarios y secundarios que influyen en la ocurrencia de flujos. Las influencias climáticas primarias son aquellas que desencadenan directamente los flujos de escombros, como las lluvias intensas o el deshielo rápido. Las influencias climáticas secundarias son aquellas, como la lluvia o el deshielo antecedente, que influyen en si los flujos se desencadenan durante un terremoto, un evento volcánico o como subproducto de una tormenta de lluvia intensa.

Starkel (1979) concibió un umbral crítico de lluvia como una combinación de intensidad y duración de la lluvia. Las tormentas de muy alta intensidad, pero de duración relativamente corta, como menos de una hora, pueden causar una gran escorrentía superficial, pero generalmente una infiltración insuficiente para las altas presiones intersticiales que provocan PRM poco profundos. Por el contrario, las tormentas prolongadas de baja intensidad, que duran unos pocos días, pueden aumentar los niveles profundos de las aguas subterráneas, pero a menudo resultan en una presión intersticial insuficiente dentro de los suelos cercanos a la superficie para desencadenar PRM superficiales (Jakob y Hungr, 2005).

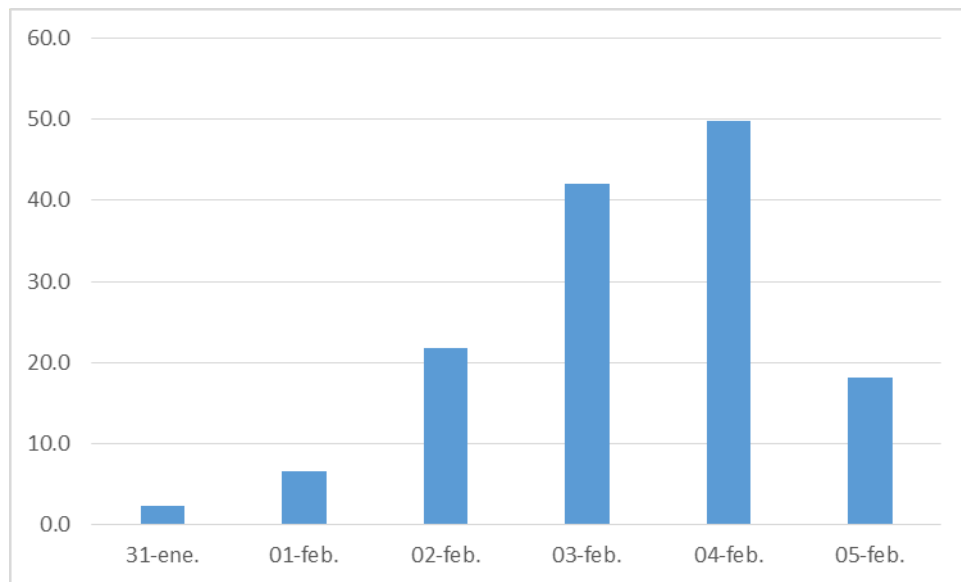


Figura 4. 8 Precipitación promedio del 31 de enero al 05 de febrero de 2010.

Lo ocurrido durante febrero de 2010 en la región de la RBMM es resultado de la conjunción de ambos factores climáticos antes mencionados. Primero respecto a los factores primarios debido a la caída de granizo durante los primeros días de lluvia, cuya duración de este no excede un par de horas, lo cual acelera la velocidad de infiltración del agua y satura el suelo, es decir, se trata de un deshielo rápido. Posteriormente, la influencia climática secundaria presente en estos eventos, radica en que los PRM son un subproducto de una lluvia intensa, quizá torrencial, la cual queda de manifiesto debido a la duración de la precipitación.

Es decir, la caída de granizo, su deshielo y la constante lluvia durante los primeros días del temporal, aumentaron los niveles de las aguas subterráneas o subsuperficiales, pero resultaron insuficientes para aumentar la presión intersticial del suelo y detonar los PRM, sin embargo, al continuar la precipitación, y esta alcanzar su pico máximo de intensidad en los días subsecuentes, dio inicio a una gran escorrentía superficial con el suelo ya saturado provocó los PRM mezclados de sedimentos y agua, como un fluido continuo impulsado por la gravedad, y alcanzando gran velocidad.

4.2 Caracterización de PRM

Derivado de lo observado en campo, así como tomando en consideración lo mencionado en el Capítulo I, específicamente la caracterización propuesta por Varnes (1978), se observa que la mayoría de los PRM siguieron una morfología en particular, compuesta por un escarpe y una zona de ruptura en la cima superior del movimiento (Figura 4.9a), mismos que se confinaron y fluyeron por medio de canales preexistentes (b), incrementando el material desplazado, para finalmente acumularlo en los flancos de los cauces (c), o depositarlo en zonas de menor pendiente (d), ya sea planicies o cauces de mayor orden fluvial. Por lo anterior, no es difícil identificar que los PRM analizados se tratan de flujos.

Ahora bien, respecto a lo propuesto también por Varnes (1978), y teniendo como antecedentes lo mencionado por Blackwelder, (1928), Crandell, (1957), Bull (1964), Hutchinson (1968), Skempton y Hutchinson (1969), Swanston (1974) y Dikau *et al.*, (1996), retomado en (Jakob y Hungr, 2005), el adjetivo que los identifica, en función del tipo de material involucrado, no resulta igualmente sencillo de definir.





Figura 4. 9 Morfología de flujos identificados: a) Escarpe y superficie de ruptura; b) Canal de erosión; c) Dique; d) Área de depósito o acumulación.

Ejemplo de ello es que Varnes (1978), Hutchinson (1988) y Cruden y Varnes (1996), distinguen a los flujos en función del tamaño predominante de los materiales transportados, de tal manera que se clasifican en: Flujo de rocas (Rock flow) aquellos con predominio del material basal o del lecho rocoso, sin especificar el porcentaje de los materiales contenidos; Corrientes de derrubios o flujos de escombros (Debris flow) aquellos que contienen menos del 80% de arenas y materiales más finos, simplemente predominantemente partículas

gruesas; y los Flujos de tierra, arena o suelo (Soil flow), deben constituirse por más del 80% de arenas y materiales finos.

Que al retomar lo descrito en el Capítulo III relativo a la granulometría y texturas obtenidas en laboratorio, particularmente lo señalado en los PRM número uno, dos y tres, es necesario aclarar que estas pruebas solo se realizaron en dichos flujos (Tablas 3.5 y 3.8), en los que se observa el alto contenido de arenas (>70%, Figura 4.10); Así mismo, en uno de ellos, el correspondiente a la microcuenca experimental del río *El Charco*, se llevó a cabo un análisis más detallado (Padilla-Doval, 2012), en el cual se observa que el contenido de materiales finos (limos y arcillas) se encuentra entre el 74% y el 91%.

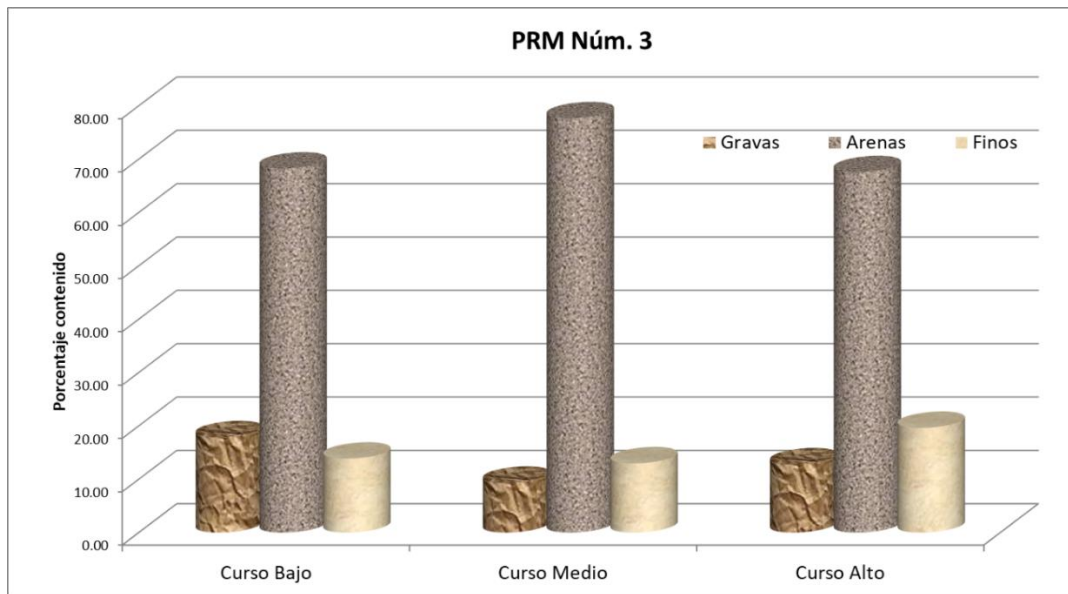


Figura 4. 10 Porcentaje de materiales contenidos por sección del cauce en microcuenca experimental.

Por lo anterior, tomando en consideración que los PRM número uno, dos y tres, son solo ejemplo muestra del total de los PRM analizados, sitios en los cuales fue posible llevar a cabo pruebas de granulometría y textura, estos serían categorizados de acuerdo con la propuesta de clasificación de Cruden y Varnes (1996) como flujos de tierra, arena o suelo.

Ahora bien, si tomamos en consideración la definición de Swanston (1974), donde los flujos que se originan en terrenos empinados boscosos, con alto contenido (hasta un 60%) de grandes desechos orgánicos (restos de madera), sería prudente entonces clasificarlos como torrente de escombros (Figura 4.11 a y b), salvo que dicha definición se encuentra en desuso y resulta impreciso cuantificar, de manera exacta, el contenido de desechos orgánicos dadas las dimensiones de los restos de madera identificados y la alteración por recolección dado el valor comercial de la misma.

Si bien es cierto, el sistema de clasificación de Varnes (1978) y su modificación por Cruden y Varnes (1996), distinguen a los flujos en función del tamaño de los materiales transportados; Swanston (1974) lo hace puntualmente con respecto al elevado contenido

de materia orgánica en áreas montañosas forestales. El presente trabajo toma como referencia la propuesta realizada por Hungr *et al.*, (2001), mediante la cual sugiere reemplazar las definiciones anteriores, por unas derivadas de sus propiedades geotécnicas, como se detalla en el Capítulo I (Tabla 4.2).



Figura 4. 11 Contenido de desechos orgánicos (madera) arrastrados por los flujos.

	Tierra	Lodo	Escombros
Materiales	Coluvio arcilloso (plástico) no clasificado derivado de arcillas o rocas erosionadas ricas en arcilla.	Suelos arcillosos remodelados blandos cuya matriz (arena y otros más finos) sea significativamente plástica.	Suelto sin clasificar de baja plasticidad (<i>Arena, grava, guijarros y cantos rodados, proporciones variables de limo y rastro de arcilla</i>).
Propiedades geotécnicas	Consistencia más cercana al límite plástico que del límite líquido.	Índice de plasticidad >5% e índice líquido durante el movimiento mayor a 0.5.	El índice de plasticidad es inferior al 5% en arena y fracciones más finas.

Tabla 4. 2 Propuesta de clasificación de PRM tipo flujo. Extracto de Hungr *et al.*, (2001).

Por lo que con respecto a las propiedades planteadas por Hungr *et al.*, (2001), así como tomando como referencia muestral las pruebas geotécnicas realizadas en el PRM No. 3 (Tabla 3.6), correspondientes a la microcuenca experimental del río *El Charco* (Padilla-Doval, 2012), en donde se calculan valores relacionados al Índice de plasticidad (I_p) por encima del 5% y mayores, aunado a los materiales dominantes observados, comportamiento y distancia recorrida, identificados en los PRM recorridos durante el trabajo de campo (Anexo 2), los PRM se clasifican de acuerdo a esta propuesta como flujos de lodo y escombros (Tabla 4.3).

En resumen, de los 36 PRM identificados, seis corresponden a deslizamientos, mismos que no son objeto de esta investigación; dos corresponden a zonas susceptibles a flujos, indeterminados dado que únicamente se observaron características de su posible desarrollo, no así su presencia; Tres corresponden a flujos de lodo, definidos así dado que se trata de materiales arcillosos. Finalmente el mayor número de ellos, veinticinco resultan en flujos de escombros, por tratarse de materiales sueltos sin clasificar compuesto por gravas, arena, guijarros y proporciones variables de limo y de arcilla (Tabla 4.4).

Núm. PRM	TIPO	Núm. PRM	TIPO	Núm. PRM	TIPO
1	Flujo Lodo	13	Flujo Escombros	25	Flujo Escombros
2	Flujo Lodo	14	Deslizamiento*	26	Flujo Escombros
3	Flujo Escombros	15	Deslizamiento*	27	Flujo Escombros
4	Flujo Escombros	16	Deslizamiento*	28	Flujo Escombros
5	Deslizamiento*	17	Deslizamiento*	29	Flujo Escombros
6	Flujo*	18	Flujo Escombros	30	Flujo Escombros
7	Flujo Lodo	19	Flujo Escombros	31	Flujo*
8	Flujo Escombros	20	Flujo Escombros	32	Flujo Escombros
9	Flujo Escombros	21	Flujo Escombros	33	Flujo Escombros
10	Flujo Escombros	22	Flujo Escombros	34	Flujo Escombros
11	Deslizamiento*	23	Flujo Escombros	35	Flujo Escombros
12	Flujo Escombros	24	Flujo Escombros	36	Flujo Escombros

*Clasificación indeterminada derivado de que se trata de sitios con alta susceptibilidad y no por su ocurrencia.

Tabla 4. 3 Clasificación de los PRM analizados durante febrero de 2010 (De acuerdo con Hungr *et al.*, 2001).

TIPO PRM	Total
Flujo Lodo	3
Flujo Escombros	25
Deslizamiento*	6
Flujo*	2
Gran Total	36

Tabla 4. 4 PRM totales de acuerdo con la Clasificación de Hungr *et al.*, (2001).

Si bien, la clasificación anterior cumple con los objetivos planeados para la presente investigación, las definiciones, así como la variedad y complejidad para consolidar un mismo término, respecto de los procesos de remoción aquí abordados, los resultados obtenidos, hacen necesaria la reflexión, sobre si dichas clasificaciones se encuentran actualizadas o vigentes en términos temporales, en función de las herramientas, instrumentos y técnicas disponibles en la actualidad.

Ya que, la sencillez de la clasificación propuesta por Varnes (1978) y sus subsecuentes modificaciones (1984 y 1996), en función de los materiales involucrados, resulta práctica en términos generales, sobre todo dada su utilidad para realizar comparaciones a nivel global, es limitada respecto del análisis a una escala más detallada, como el realizado en el presente trabajo. Lo anterior, se plantea ya que la disposición del tamaño de los materiales desplazados, varía en su ubicación a través de las distintas partes que integran los flujos, por ejemplo: en las zonas altas, donde iniciaron los PRM, el tamaño de los materiales involucrados es principalmente fino (suelo o tierra); mientras que en las zonas de arrastre o erosión se encontraron materiales de todo tipo de tamaño (finos, arenas, gravas y rocas en proceso de meteorización) revueltas, es decir no gradados; y finalmente, en las zonas de deposición y acumulación, se identificaron materiales de mayor tamaño y diámetro (rocas y gravas, en una matriz fina); lo cual dificulta su clasificación, ya que no es

prudente escindir en tramos de menor tamaño un mismo proceso o habla de secciones de distintos materiales.

Estas mismas dificultades, aunque con distintos indicadores aplican para la clasificación planteada por Hungr *et al.*, (2001), ya que si bien la propuesta plantea el establecimiento de una definición en función de los límites líquido, plástico y el índice de plasticidad, no se establecen umbrales máximos claros, y la clasificación se conjuga también, respecto del tamaño de los materiales involucrados, en porcentajes, lo que complejiza aún más la definición, si se toma en consideración por ejemplo, que no se plantea una técnica o método normalizado para la colecta de las muestras, ni en la ubicación de la selección de la muestra (partes que integran los flujos), y mucho menos en la selección de los materiales al momento de tomar las muestras, pues resulta sumamente complejo recabar el total de los materiales transportados por los flujos, como se muestra en la Figura 4.9, en donde están presentes rocas de gran tamaño, peso y cantidad, algunas imposibles de transportar, sin la maquinaria adecuada; o cuando se trata del contenido de la materia orgánica, en donde abundan troncos de árboles, que fueron arrancados desde la raíz, y yacen sepultados debajo de aludes de escombros, resulta imposible su cuantificación.

A raíz de limitaciones similares a las anteriormente descritas, y en un subsecuente intento de Hungr *et al.*, (2014) por actualizar la clasificación planteada por Varnes (1978), proponen la modificación de la definición de los materiales que forman PRM, para brindar compatibilidad con la terminología geotécnica y geológica aceptada de rocas y suelos, planteando para tal efecto una clasificación dinámica en donde un proceso como el antes mencionado, pueda ser abordado con la siguiente flexibilidad para adaptarse a todos los usos.

Para dar un ejemplo: un deslizamiento de tierra puede comenzar con una deformación lenta previa a la falla y agrietamiento del suelo superficial en una ladera empinada. Luego se desarrolla una falla superficial por deslizamiento. La masa del deslizamiento de tierra se acelera, se desintegra, se agranda por arrastre y se convierte en una avalancha de escombros similar a un flujo. La avalancha ingresa a un canal de drenaje, arrastra agua y suelo más saturado y se convierte en un flujo creciente de escombros. Al entrar en un abanico de deposición, el flujo deja caer las fracciones más gruesas y continúa como una inundación cargada de sedimentos. Este es un proceso complejo. Sin embargo, es común y debemos aplicar el simple término tradicional "flujo de escombros" a todo el escenario. De lo contrario, un artículo sobre un evento de este tipo tendría que dividirse en fragmentos antes de que pueda publicarse. Varios de estos términos integrales se han establecido en la literatura profesional durante más de 100 años.

Aquí se propone que el término simple asignado a un tipo de deslizamiento dado (o a un caso específico) debe reflejar el enfoque particular del investigador. Si él o ella está preocupado por el final del evento, entonces el término general "flujo de escombros" es apropiado. Si el enfoque principal es el mecanismo previo a la falla en el área fuente, entonces el "deslizamiento de escombros" o la "deformación de la pendiente" pueden ser más relevantes.

El sistema debe permitir al usuario si encuentra ventajoso construir una clase compuesta como "deslizamiento de rocas traslacional-avalancha de rocas", dentro del marco del sistema de clasificación.

Incluso a un precio de cierta simplificación, cada clase debería ser única. Una clase definida como "compleja" no es útil. Casi todos los deslizamientos de tierra son complejos hasta cierto punto. Por lo tanto, una clase "compleja" podría contener la mayor parte de la información, sin necesidad de otras.

Debe dejarse al usuario si encuentra ventajoso construir una clase compuesta como "deslizamiento de rocas traslacional-avalancha de rocas", dentro del marco del sistema de clasificación.

Incluso a un precio de cierta simplificación, cada clase debería ser única. Una clase definida como "compleja" no es útil. Casi todos los deslizamientos de tierra son complejos hasta cierto punto. Por lo tanto, una clase "compleja" podría contener la mayor parte de la información, sin necesidad de otras clases.

Si bien, la propuesta de actualización de Hungr *et al.*, (2014), plantea una clasificación que integre variables dinámicas a la definición de los PRM, está aún se encuentra en discusión y no ha logrado consolidarse como un referente en el estudio de estos fenómenos dada la gran utilidad y uso extendido del sistema de Varnes.

4.3 Análisis y modelación.

Como resultado del cálculo de los pesos de evidencia (WoE), en la Tabla 3.10, se muestran los pesos de contraste (W_c) calculados y ajustados para cada una de las categorías que integran las capas de factores considerados en el presente estudio, cuyos valores positivos indican que el factor es favorable a los procesos, mientras que los negativos lo revelan desfavorable.

Del análisis de los pesos de contraste calculados para cada una de los factores (Figura 4.12) se observa que las variables: altitud, las tres curvaturas, edafología, geología, geomorfología, hidrografía, longitud de flujo, orientación de la ladera, pendiente, tenencia de la tierra y vialidades, presentan una tendencia clara hacia los valores de contraste negativos, mientras que las capas: acumulación de flujo, densidad de cobertura vegetal, fracturas, índice de humedad topográfica, índice de potencia de la corriente y vegetación y uso de suelo, muestran equilibrio de pesos de contraste entre los positivos y negativos respecto de las categorías que las integran; el resto de los variables: fallas, insolación y localidades presentan un claro peso de contraste con tendencia favorable a la ocurrencia de estos fenómenos.

Ahora bien, respecto de las clases que integran la totalidad de capas o variables analizadas, 135 (66%) se revelan desfavorables para la ocurrencia de los PRM, mientras que 70 (34%)

se identifican con valores positivos, es decir favorables; logrando identificar así los factores determinantes presentes para el desarrollo de los PRM tipo flujos analizados.

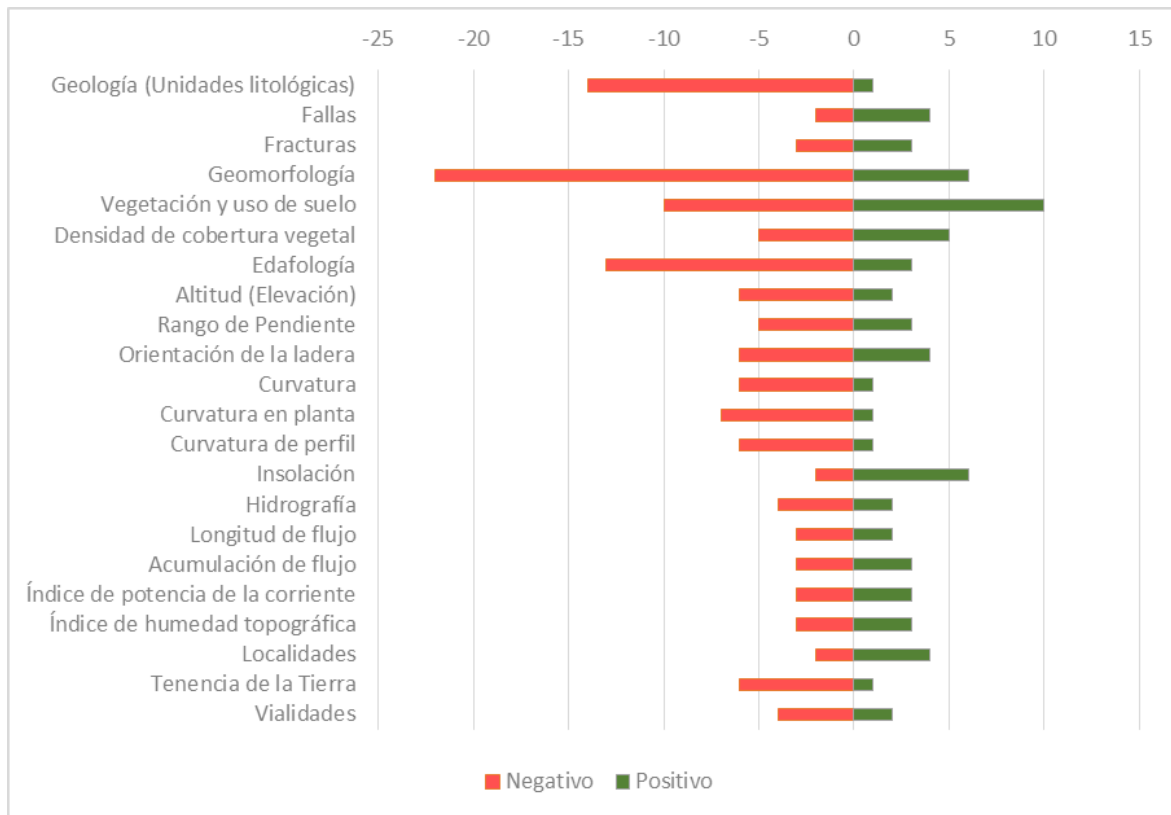


Figura 4. 12 Distribución de pesos de contraste (W_c) por clases de cada categoría (factores).

Destacan los siguientes valores de peso de contraste positivo:

Factores geológicos

Las rocas de tipo andesita en la variable litología (Figura 3.7), respecto a la proximidad a fallas y fracturas, las clases categorizadas con una distancia menor a 25 metros; respecto a la geomorfología, la unidad denominada Escarpes de falla.

Factor vegetación y usos del suelo

La vegetación con mayor relación a flujos identificada fue la asociación entre el oyamel y el encino, dados los sitios donde tuvieron origen los mismos; respecto a la densidad de cobertura vegetal y uso de suelo, fue la categoría deforestado (Figura 3.8).

Factor edafología

Con respecto a la edafología, que en este trabajo se ocupa en lugar de la plasticidad del suelo, es necesario mencionar la similitud de peso favorable identificado para los suelos Leptosol Dístico Lítico y Andosol Úmbrico Víttrico (Figura 3.9).

Factores topográficos

La altitud o elevación cuyo rango se clasifica entre los 3,400 y 3,641 msnm; el rango de pendiente ubicado entre 50° y 60° de inclinación; las laderas con orientación al suroeste; las curvaturas cóncavas no agudas; Insolación con valor menor a 1,000 WH/m² (Figura 3.10).

Factores relacionados con el agua

Dado que las variables acumulación y longitud de flujo, índice de potencia de la corriente, así como índice de humedad topográfica, son variables adimensionales resultado del procesamiento en un ambiente SIG, solo vale la pena mencionar la proximidad a los escurrimientos superficiales (ríos), particularmente la categoría identificada con una distancia menor a 25 metros (Figura 3.11).

Factores antrópicos

Respecto a la distancia a las localidades, el rango de mayor distancia (500 a más de 5,000 metros de distancia) es el que resulta relevante; La Tenencia de la Tierra con categoría de Ejido es claramente la única con peso favorable; finalmente la distancia a vialidades clasificadas entre 500 y 2,000 m (Figura 3.12).

4.3.1 Relaciones de la prueba de *chi-cuadrada*

Tomando en consideración el apartado anterior y una vez identificados los pesos de contraste (W_C) obtenidos del cálculo de peso de evidencia (W_oE), fue posible llevar a cabo la prueba de independencia condicional, mediante el test de *Chi-cuadrada*. Se realizaron 231 comparaciones por pares, de las cuales 32 se encontraron independientes entre sí con los PRM examinados (Tabla 4.5).

Respecto a los factores Geológicos, las unidades litológicas, la distancia a fallas y a fracturas, dependen condicionalmente entre sí, en menor medida lo hace de la Geomorfología; La densidad de vegetación, depende del tipo de vegetación y el uso del suelo; La Edafología depende de la longitud de flujo, las fallas y las fracturas; Respecto a los factores topográficos, son la insolación, orientación de las laderas y elevación, las variables con mayor dependencia, contrario a la curvatura y la curvatura de perfil; De los factores relacionados con el agua, la hidrografía o proximidad a los ríos, así como la longitud de flujo, presentan los valores más elevados de correlación, en contraste con el Índice de humedad topográfica (TW). Finalmente, respecto a los Antrópicos, la correlación es fuerte entre todos ellos.

Ahora bien, respecto del análisis anterior, fue posible configurar los tres modelos de susceptibilidad, recordemos que el primero de ellos toma en consideración la totalidad de las variables evaluadas en este estudio; el segundo modelo corresponde al mejor evaluado,

Tipo de factor	No.	Factor	GEOL	DF	DFR	GEOM	VUS	DV	S	EL	SL	AS	TC	PLC	PRC	SR	DS	FL	FA	SPI	TWI	DL	LT	DR
Geología	1	Unidades Litológicas (GEOL)		4.7	4.1	1.0	1.5	3.0	0.3	1.8	1.1	0.7	1.1	1.6	1.2	2.6	3.1	4.6	0.7	0.7	1.7	0.4	0.3	0.3
	2	Fallas (DF)			0.0	1.7	1.2	0.3	3.1	0.9	1.6	2.2	1.5	1.1	1.5	0.5	0.3	0.0	2.1	2.1	1.0	6.8	2.9	2.8
	3	Fracturas (DFR)				4.1	0.8	0.1	2.5	0.6	1.2	1.7	1.1	0.8	1.1	0.3	0.1	0.0	1.7	1.6	0.7	6.1	2.4	2.3
Vegetación y uso del suelo	4	Geomorfología (GEOM)					0.1	0.7	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	0.7	1.6	0.0	0.0	0.1	2.3	0.2	0.2
	5	Vegetación y uso de suelo (VUS)						0.3	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	1.1	0.2	0.2	0.0	3.0	0.5	0.5
Unidades de suelo	6	Densidad de cobertura vegetal (DV)							1.7	0.2	0.6	1.0	0.5	0.3	0.5	0.0	0.0	0.3	0.9	0.9	0.2	4.9	1.5	1.5
	7	Edafología (S)								0.8	0.3	0.1	0.3	0.6	0.4	1.3	1.7	3.0	0.1	0.1	0.7	1.2	0.0	0.0
Topografía	8	Altitud (EL)									0.1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.9	0.3	0.3	0.0	3.5	0.7	0.6
	9	Rango de Pendiente (SL)										0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	1.5	0.1	0.0	0.1	2.5	0.3	0.2
	10	Orientación de la ladera (AS)											0.1	0.2	0.1	0.7	1.0	2.1	0.0	0.0	0.3	1.9	0.1	0.1
	11	Curvatura (TC)												0.0	0.0	0.3	0.6	1.4	0.1	0.1	0.1	2.6	0.3	0.3
	12	Curvatura en planta (PLC)													0.0	0.1	0.3	1.1	0.2	0.2	0.0	3.1	0.5	0.5
Relacionados con el agua	13	Curvatura de perfil (PRC)													0.3	0.6	1.4	0.1	0.1	0.1	2.6	0.3	0.3	
	14	Insolación (SR)														0.0	0.4	0.7	0.6	0.1	4.4	1.2	1.1	
	15	Hidrografía (DS)															0.2	1.0	1.0	0.3	5.0	1.6	1.5	
	16	Longitud de flujo (FL)																2.0	2.0	1.0	6.7	2.8	2.7	
	17	Acumulación de flujo (FA)																		0.0	0.2	1.9	0.1	0.1
	18	Índice de potencia de la corriente (SPI)																			0.2	2.0	0.1	0.1
	19	Índice de humedad topográfica (TWI)																				3.2	0.6	0.5
Antrópico	20	Localidades (DL)																				1.3	1.3	
	21	Tenencia de la Tierra (LT)																						0.0
	22	Vialidades (DR)																						

*Los valores resultado de la prueba de Chi cuadrada, representados en esta tabla fueron divididos entre 1, 000,000, para facilita su lectura e interpretación.

Tabla 4. 5 Estadísticas de *chi-cuadrado* por pares de 22 factores.

de las variables definidas por Regmi *et al.*, (2010), es decir, corresponden a otra área geográfica y otras condiciones del medio natural.

Mientras que el tercero de ellos considera solo aquellas variables abordadas en el presente estudio, cuyo resultado de las pruebas de independencia condicional de *chi-cuadrada* calculada muestra menor correlación entre las unidades ambientales, del relieve y antrópicas (Tabla 4.6).

Factores	No.	Capas o variables	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
1. Geología	1	Unidades litológicas	✓	✗ ^a	✗
	2	Fallas (Proximidad)	✓	✗	✗
	3	Fracturas (Proximidad)	✓	✗	✗
	4	Geomorfología	✓	✗	✓
2. Vegetación y usos del suelo	5	Vegetación y usos de suelo	✓	✗	✓
	6	Densidad de cobertura vegetal	✓	✗	✗
3. Edafología	7	Unidades de suelo	✓	✓ ^a	✓
4. Topografía	8	Altitud (Rangos de elevación)	✓	✗	✗
	9	Pendiente (Rangos)	✓	✓	✗
	10	Orientación de la ladera	✓	✓	✗
	11	Curvatura	✓	✓	✓
	12	Curvatura en planta	✓	✗	✗
	13	Curvatura de perfil	✓	✗	✗
	14	Insolación	✓	✗	✗
5. Relacionados con el agua	15	Hidrografía (Proximidad)	✓	✓	✗
	16	Longitud de flujo	✓	✗ ^b	✗
	17	Acumulación de flujo	✓	✓ ^b	✗
	18	Índice de potencia de la corriente	✓	✗	✗
	19	Índice de humedad topográfica	✓	✗	✓
6. Antrópico	20	Localidades (Proximidad)	✓	✗	✗
	21	Tenencia de la Tierra	✓	✗	✗
	22	Vialidades (Proximidad)	✓	✓	✓
TOTAL			22	7	6

a.- Respecto al factor Geología, Regmi *et al.*, (2010) utilizaron la plasticidad del suelo en su modelo.

b.- Dado que longitud y acumulación de flujo están directamente relacionadas, Regmi *et al.*, (2010) utilizan la segunda.

Tabla 4. 6 Capas o variables de información utilizadas por modelo.

Ahora bien, respecto a los tres modelos propuestos, se realizaron los mapas con los valores relativos a las zonas con mayor o menor peso de contraste (W_c), resultado del análisis de Pesos de Evidencia (WoE). Se llevó a cabo la clasificación de los datos basados en la ruptura natural de la curva de distribución de frecuencias del total de los datos, de tal modo se agruparon 5 clases en cada uno de los modelos (Figura 4.13). Estos valores se modificaron levemente para que los datos coincidieran con valores enteros.

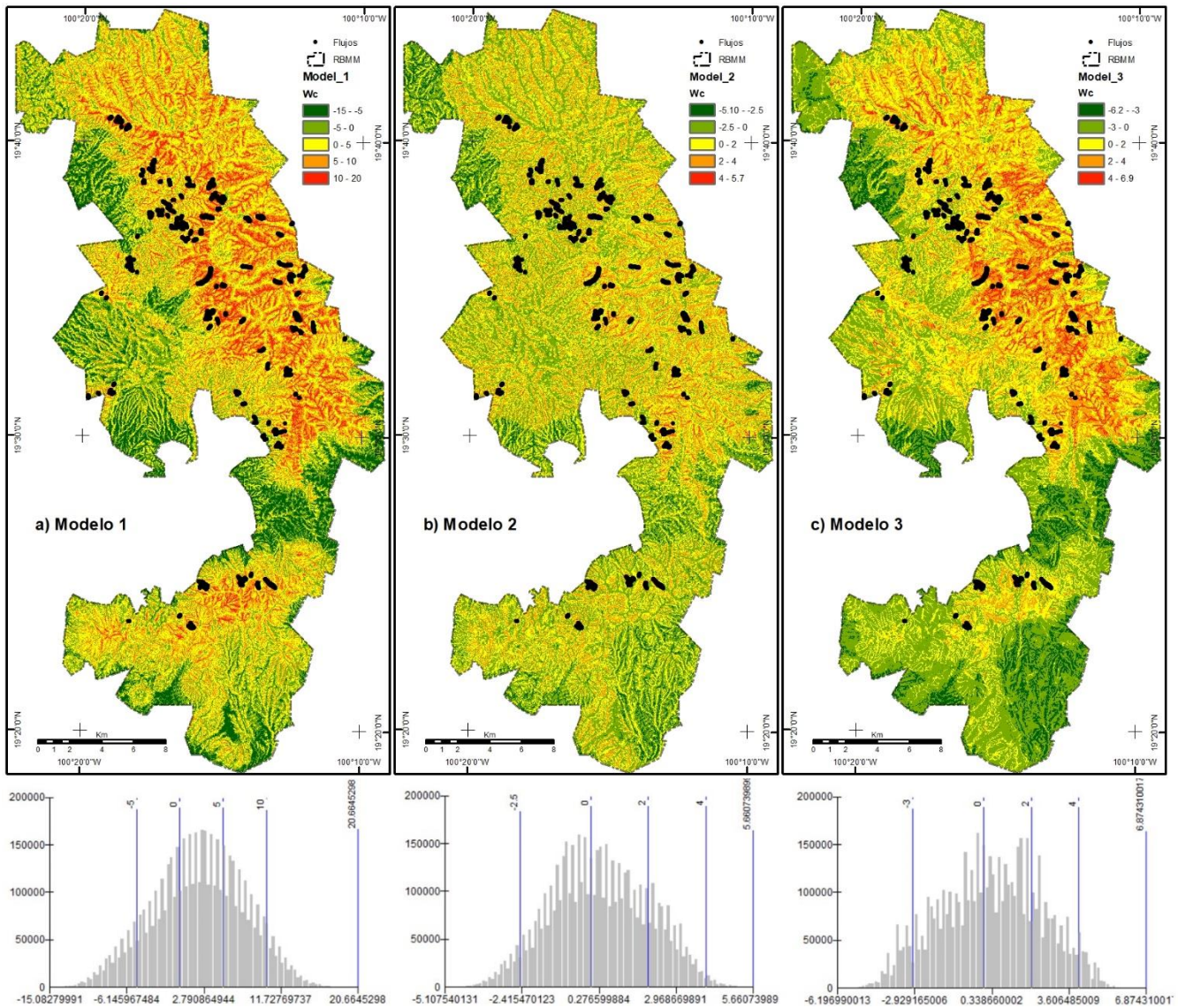


Figura 4. 13 Mapas de pesos de contraste (W_c) y distribución de frecuencias por Modelo.

Para la definición de las variables utilizadas en el tercer modelo, se consideró al menos una variable por cada factor, misma que resultara con menor valor de la prueba de independencia de *chi cuadrada* de entre aquellas del mismo factor, y finalmente tuviera lógica en su funcionamiento en el medio natural, específicamente en los flujos. Las variables seleccionadas consisten en Geomorfología, vegetación y usos de suelo, unidades de Suelo, curvatura, Índice de humedad topográfica (TWI) y proximidad a vialidades.

4.3.2 Evaluación de modelos mediante Curva ROC

La modelación es el esfuerzo por representar un sistema real con un modelo matemático, lógico o físico, con el fin de comprender su comportamiento o predecir su respuesta ante diferentes condiciones o escenarios. Destaca su utilidad para representar sistemas

complejos, lo que permite una mejor comprensión del fenómeno analizado, su comportamiento y la posibilidad de predecir su respuesta ante diferentes escenarios.

Resulta en un proceso basado en la repetición que implica la identificación de variables relevantes, la selección del modelo, así como la calibración y validación del mismo, en función de observaciones en el sistema real, que mejor dé respuesta al fenómeno analizado, sin sobre ajustarse, para finalmente llevar a cabo una interpretación y comunicación precisa de los resultados, y sus limitaciones.

Como ya se mencionó en el apartado anterior, se elaboraron tres modelos como resultado del análisis de Pesos de Evidencia (WoE). La exactitud de cada uno se calculó utilizando la totalidad de los píxeles correspondientes a flujos de lodo y escombros, es decir, los 7,800 píxeles de flujos de lodo y escombros observados seleccionados al azar (conjuntos de entrenamiento), con los cuales fueron calculados los pesos de contraste (Figura 4.14); Así mismo, la validez se comprobó por medio de los conjuntos de entrenamiento, es decir, frente a los 1,950 píxeles correspondientes a flujos de lodo y escombros restantes (conjuntos de validación).

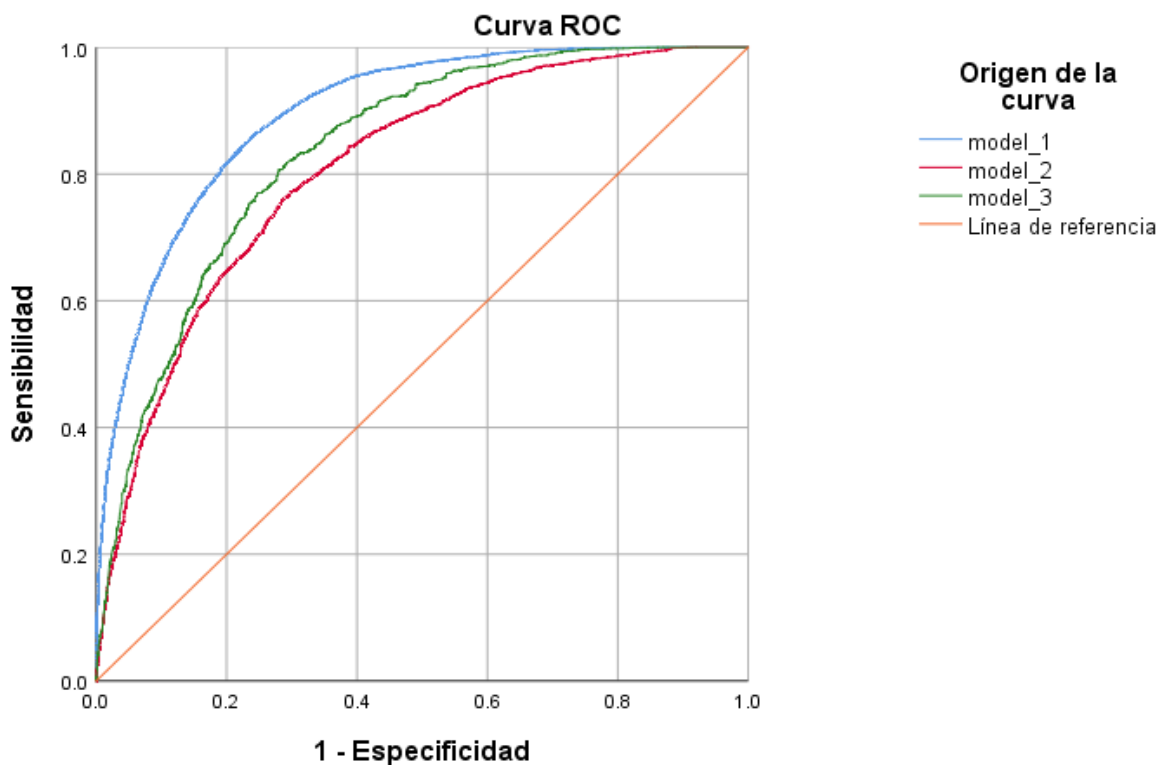


Figura 4. 14 Evaluación de la exactitud de los modelos mediante Curvas ROC.

La capacidad de predicción de cada modelo está determinada por el área bajo la curva (*AUC*), expresada por medio de la exactitud (*ACC*). Con base a dichos valores, en la Figura 4.15 se observa que todos los modelos se consideran precisos, dado que los valores se encuentran por encima del valor de 0.5; sin embargo, una de las principales diferencias es

el número de variables que integran cada uno de ellos; mientras que el Modelo No. 1 integra 22 variables, los Modelos No. 2 y 3 incorporan 7 y 6 variables respectivamente.

Los tres modelos coinciden al incorporar las variables relacionadas al Suelo, Curvatura y distancia a vialidades; mientras que el Modelo No. 2 hace uso de las variables Pendiente, Orientación de las laderas, distancia a ríos y Acumulación de flujo, el Modelo No. 3 utiliza Geomorfología, Vegetación y usos de suelo, así como Índice de humedad topográfica.

Variables de resultado de prueba	Área bajo la Curva (AUC)
	(ACC)
Modelo 1	0.895
Modelo 2	0.809
Modelo 3	0.837

Tabla 4. 7 Evaluaciones de la precisión de los modelos de susceptibilidad basados en el enfoque del área bajo la curva.

Ahora bien, respecto de la exactitud de cada uno de los modelos, el mejor evaluado es el Modelo No. 1 (0.895), seguido por el No. 3 (0.837), y finalmente el No. 2 (0.809), valores que se observan con claridad en la Tabla 4.7.

4.3.3 Selección del modelo

Lo anterior, dada la naturaleza de las variables incorporadas, el resultado que ubica al Modelo No. 1 debe ser analizado con prudencia, ya que este incorpora las 22 variables abordadas en el presente estudio, que si bien aparenta ser un mejor resultado, lo cierto es que, la combinación de las variables utilizadas hace redundante la información entre los factores, es decir la combinación de estos factores es lógicamente imposible porque son condicionalmente dependientes entre sí, o dicho de otra manera, es un modelo sobreentrenado o demasiado ajustado a los valores de entrenamiento, lo cual explica el valor de exactitud.

Ahora bien, respecto al Modelo No. 2, se tratan de variables seleccionadas para otra región geográfica, cuyas condiciones medioambientales varían respecto de las existentes en la RBMM, aunado a que las pruebas pesos de evidencia e independencia condicional, se realizaron tomando en consideración otros procesos de remoción en masa de referencia (Deslizamientos), por lo que las condiciones para su desarrollo varían de las analizadas aquí para los flujos.

Finalmente, aunque la prueba de exactitud ubica al Modelo No. 3 como el segundo mejor evaluado por lo mencionado anteriormente, este modelo responde de mejor manera al análisis de los datos de validación (Tabla 4.8), ya que presenta uniformidad en la distribución de los registros identificados en cada categoría, no sobreestima los registros en el rango 5. Muy Alta (Modelo No. 1), ni sobredimensiona aquellas en rango 2. Baja

(Modelo No. 2); así mismo resulta simple en cuanto al número de variables utilizadas (6), y dado que fue elaborado específicamente para el área en estudio, en función de las pruebas de pesos de evidencia e independencia condicional, este modelo se considera el idóneo para elaborar el mapa resultado concerniente a la susceptibilidad en la RBMM.

Modelo 1			Modelo 2			Modelo 3		
Rango	Registros	%	Rango	Registros	%	Rango	Registros	%
< -5	0	0.0	< -2.5	0	0.0	< -3	0	0
-5 a 0	56	0.6	-2.5 a 0	717	7.4	-3 a 0	337	3.5
0 a 5	748	7.7	0 a 2	2,873	29.5	0 a 2	2,075	21.3
5 a 10	3,265	33.5	2 a 4	5,456	56.0	2 a 4	4,398	45.1
> 10	5,681	58.3	> 4	704	7.2	> 4	2,940	30.2
	9,750	100		9,750	100		9,750	100

Tabla 4. 8 Evaluaciones de la precisión de los modelos de susceptibilidad basados los datos de entrenamiento y validación

4.4 Susceptibilidad a flujos de lodo y escombros en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

El mapa total ponderado del Modelo No. 3 se clasificó en cinco categorías o clases que representan los rangos de susceptibilidad, mismos que van de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (Figura 4.15 Mapa de Susceptibilidad). La clasificación se basa en la ruptura natural de la curva de distribución de frecuencias del peso total (Figura 4.13c).

	Rango	Categorías	Área (Ha)	%
1	< -3	Muy Baja	3,873.58	7.1
2	-3 a 0	Baja	19,915.46	36.5
3	0 a 2	Media	17,881.81	32.8
4	2 a 4	Alta	10,482.98	19.2
5	> 4	Muy Alta	2,335.00	4.3
		Total	54,488.84	100

Tabla 4. 9 Rangos utilizados para representar las categorías de Susceptibilidad

La clasificación de los rangos utilizados para definir las categorías de susceptibilidad es: Para la categoría Muy Baja un rango que va de -6.19 a -3, para la categoría Baja un rango que va de -3 a 0, para la Media un rango que va de 0 a 2, la Alta va de 2 a 4 y la susceptibilidad Muy Alta tiene un rango que va de 4 a 6.9 (Tabla 4.9).

De manera complementaria, en la Tabla 4.9 se cuantifican las categorías de susceptibilidad a flujos de lodo y escombros calculadas para la RBMM; En donde se observa que el 7.1% se clasifica con susceptibilidad Muy Baja, 36.5% como Baja, 32.8% como Media, el 19.2% como susceptibilidad Alta y el 4.3% como susceptibilidad Muy Alta.

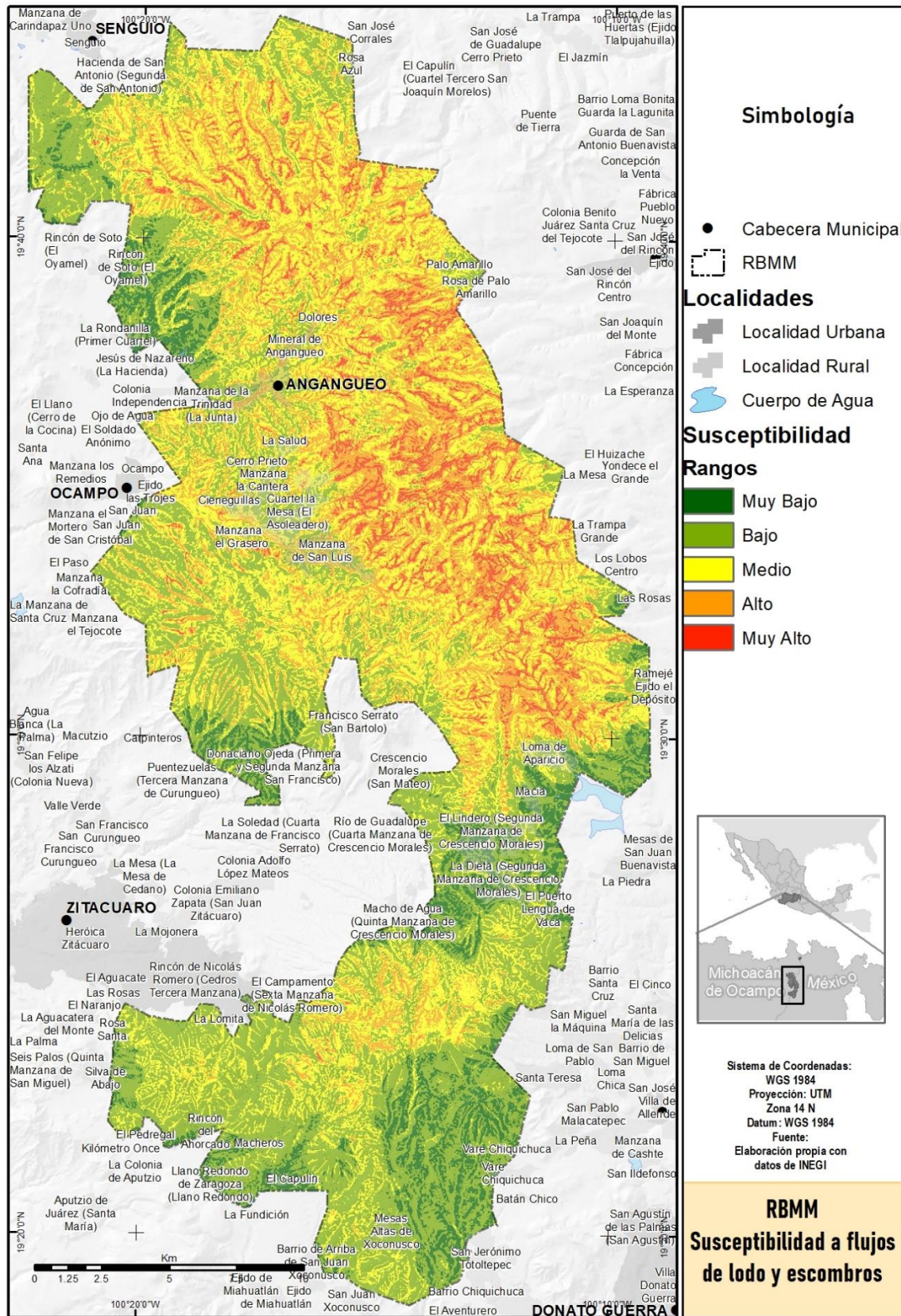


Figura 4. 15 Susceptibilidad a flujos de lodo y escombros en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.

Los resultados de esta investigación son coincidentes respecto a que los flujos de lodo y escombros están asociados directamente al relieve montañoso y pendientes fuertes, en la RBMM no es la excepción, ya que las zonas de mayor susceptibilidad (Alta y Muy Alta), se ubican principalmente en serranía al norte, noreste y este del área natural protegida; en ese sentido y de manera únicamente referencial, algunas de las localidades que se encuentran próximas a estos sitios son: Rosa de Palo Amarillo, Palo Amarillo, La Mesa y La Trampa Grande, en el municipio de San José del Rincón, estado de México; así como Dolores, Mineral de Angangueo y La Salud, en el municipio de Angangueo; Cerro Prieto, Manzana la Cantera, Cieneguillas, Manzana el Graseo, Cuartel la Mesa (El Asoleadero) y Manzana San Luis, en el municipio de Ocampo; Loma de Aparicio y el Lindero (Segunda Manzana de Crescencio Morales); finalmente una zona al sur de la RBMM, ubicada al norte de Cerro Pelón, próxima a la localidad de El Campamento (Sexta Manzana de Nicolás Romero), en el municipio de Zitácuaro, estado de Michoacán.

De manera complementaria es oportuno mencionar que las áreas boscosas, cubiertas principalmente por coníferas, de diversas asociaciones de oyamel, pino y juníperos, así como los campos de cultivo colindantes a las zonas descritas anteriormente, resultan ser las superficies clasificadas con mayor susceptibilidad.

Congruente con lo anterior, la mayor parte de la zona norte, así como una porción al sur de la RBMM, se clasifican con susceptibilidad media, distinguido por tonos amarillos. Para finalmente, en tonos verdes observar los clasificados con susceptibilidad baja y muy baja, localizados al noroeste, centro y sureste del área en estudio.

Es importante hacer mención, que lo anteriormente señalado, identifica zonas con mayor o menor grado de susceptibilidad donde pueden tener origen los flujos de lodo y escombros analizados, sin embargo, es obligatorio recordar que estos fenómenos de inestabilidad de laderas, dada su alta velocidad de desplazamiento, fuerzas de impacto, longitud de recorrido y poca previsibilidad temporal, pueden afectar zonas más alejadas de lo que aquí se identifican; por lo que, si bien se destacan algunas de las áreas donde pudieran tener comienzo estos fenómenos, no significa que estos se limiten exclusivamente en esas áreas, ya que como se mencionó en el marco conceptual, estos fenómenos pueden explayarse más allá del cauce de confinamiento o desarrollar erosión remontante. Por lo anterior, es que se alienta a lector al desarrollo de nuevas investigaciones para profundizar en el conocimiento de esta amenaza.

Ahora bien, la modelación a inestabilidad de laderas es el proceso de representar el comportamiento de una ladera, y la evaluación de la susceptibilidad a identificar zonas o regiones con propensión al desplazamiento en términos de sus características, con el fin de predecir su ocurrencia y evaluar las potenciales consecuencias de dichos eventos, en este caso en particular, la modelación consistió en el desarrollo de escenarios de susceptibilidad, en función de la selección y el peso asignado a las variables medioambientales y antrópicas a través de métodos estadísticos, mismos que pueden ser replicados en esta u otras áreas de interés en función de la técnica descrita.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos, es posible dividir las conclusiones en tres vertientes:

Respecto a las condiciones de los fenómenos hidrometeorológicos acontecidos durante los primeros días del mes de febrero de 2010, en la región oriente de Michoacán y poniente del estado de México; dado que tuvieron lugar durante la temporada invernal, excediendo en más del doble la precipitación históricamente esperada para esa época del año, registrada además en un periodo sumamente corto, que quedó de manifiesto con periodo de retorno calculado en 3,600 años, es posible concluir que se trataron de eventos atípicos de características extraordinarias, las cuales fungieron como precursores en la ocurrencia de los procesos de remoción en masa, logrando así definir a la intensa lluvia como factor detonante de los flujos.

Los resultados de manera general, identifican como flujos de lodo y escombros a los procesos de remoción en masa ocurridos en la RBMM, sin embargo, el presente trabajo concluye que las clasificaciones que determinan el tipo de proceso, resultan variables e imprecisas de aplicar en la realidad, en función de diversos factores, tales como la escala de análisis, la delimitación del contenido de los materiales involucrados y en menor medida, de la antigüedad de las técnicas e instrumentos utilizados para realizar las pruebas diagnósticas.

Respecto al método de análisis de la Susceptibilidad (*Pesos de Evidencia*), se concluye que es necesario llevar a cabo, en su totalidad el proceso planteado en el presente trabajo, pues resulta imposible definir fuera del análisis estadístico, realizado para cada área y tipo de proceso en específico (deslizamiento, caídas, flujos, etc.), los factores o variables preponderantes que influyen en la ocurrencia de estos fenómenos. Respecto a los factores involucrados en el análisis de Pesos de Evidencia (*WoE*), vale la pena destacar a la Geomorfología, cuya definición *per se*, incorpora elementos relativos al origen (litología) de los materiales, su evolución o dinámica (fallas o fracturas), así como expresión en el relieve (curvatura, pendiente, elevación, orientación de la ladera, algunos incluyen la dinámica misma de procesos en particular); lo que conlleva a que esta variable pueda considerarse por sí misma, una especie de *modelo realizado por un experto*. De manera complementaria es oportuno mencionar que diversos autores obtuvieron una exactitud de entre el 95% y 78.3%, por lo que el 83.7% obtenido en el presente trabajo, se considera adecuado y la modelación obtenida y el mapa resultado brinda una herramienta clave para la toma de decisiones informadas en diversas áreas, incluyendo la planificación, el ordenamiento territorial, la reglamentación en materia de construcciones, los usos de suelo, es decir aquellos que deben ser vinculados a la gestión del riesgo a desastres.

Finalmente es necesario considerar en la evaluación de la susceptibilidad, que las condiciones cambian y se desarrollan otras, que pueden favorecer y dar lugar a nuevos procesos de remoción en masa, y por consiguiente, a nuevos escenarios de susceptibilidad para una nueva situación; sobre todo cuando hay cambios en los factores causales, en tal

caso la información debe ser actualizada. Por lo que la elaboración y actualización de estos insumos, requiere el establecimiento de vigencia a partir de su elaboración y su permanente actualización.

Con relación a las recomendaciones es posible mencionar:

Dado que los procesos de remoción no tuvieron lugar sino, hasta el cuarto día de lluvia ininterrumpida, que de acuerdo con Wieczorek (1987), quien identificó que en el norte de California ninguna tormenta, por intensa que fuera, produjo flujos de detritos a menos que la lluvia antecedente estacional excediera los 280 mm, es que se recomienda de manera impostergable, la urgente necesidad de contar con una red meteorológica al interior de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, distribuida de tal modo que los datos puedan ser interpolados de manera precisa, confiable y compatible con otras estaciones meteorológicas vinculadas a instancias gubernamentales. Dicho planteamiento debe ser de interés, en principio con fines de conservación, para el monitoreo de las condiciones meteorológicas de la región, especialmente de aquellos sitios donde hibernan las Mariposas Monarcas, dada la relevancia de la especie; así como importante en la gestión de riesgos y prevención de desastres, derivado de la compilación de registros diarios o idealmente cada hora, con miras hacia un monitoreo de condiciones meteorológicas variables y adversas que pudieran desencadenar condiciones similares a los ocurridas durante febrero de 2010, con la finalidad de identificar umbrales e instrumentar sistemas de alertamiento temprano, es decir hacia la prevención de desastres; lo anterior cobra relevancia, si es que llegasen a ser considerados los escenarios de Cambio Climático para estudios futuros en la región.

Ahora bien, relacionado a las propuestas de clasificación, se encuentra prudente continuar con el planteamiento de Hungr *et al.*, (2014), respecto de actualizar la clasificación realizada por Varnes (1978), no así con la propuesta de modificación planteada, dadas las particularidades mencionadas durante la clasificación de los flujos aquí abordados. Así mismo, se considera necesario incorporar de mejor manera criterios diagnósticos, pruebas paramétricas o umbrales precisos, así como técnicas de campo estandarizadas, en la actualización planteada a la clasificación de Varnes, de lo contrario solo se complejiza la existente y no se logran incorporar, como se pretende, a la Geotecnia y otras especialidades en el análisis de inestabilidad de laderas.

Finalmente, derivado del análisis estadístico de la prueba de *chi cuadrada*, la variable Tenencia de la Tierra mostró tener valores que le permitirían ser considerada como factor antrópico durante la evaluación de los modelos de susceptibilidad, pero dados los objetivos planteados en este trabajo no fue incluida. Sin embargo, es importante reflexionar que esta variable explica de manera indirecta diversos fenómenos sociales que tienen lugar en el territorio, ya que otorga la facultad del aprovechamiento de la Tierra y de algunos recursos que ahí se encuentra para sus propietarios, por lo que su análisis a profundidad podría resultar de interés para otros investigadores.

Bibliografía

- Agterberg, F.P.**, (1992). Combining indicator patterns in weights of evidence modeling for resource evaluation. *Natural Resources Research*, 39–50.
- Agterberg, F.P.**, Bonham-Carter, G.F., Cheng, Q., Wright, D.F., (1993). Weights of evidence modeling and weighted logistic regression for mineral potential mapping. En J. y. David, *Computers in Geology, 25 Years of Progress* (págs. 13–32). Oxford: Oxford University Press.
- Albino Tiburcio, C.**, (2016). Análisis de Laboratorio en Muestras de Suelo para estudiar el efecto de la compacidad relativa en la susceptibilidad al fenómeno de licuación. *Informe del Proyecto: Investigaciones en dinámica de suelos y procesos gravitacionales*, 36.
- Alcántara-Ayala I., López-García, J., y Garnica-Peña, R.J.**, (2012). On the landslide event in 2010 in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Angangueo, Michoacán, Mexico. *Landslides*, 9(2), 263-273.
- Alcántara-Ayala, I.**, (1999). ¿Se cae o no se cae? Procesos de remoción en masa, avances y perspectivas. *Ciencia y Desarrollo*, 24-31.
- Alcántara-Ayala, I.**, (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas*, 7-25.
- Alcántara-Ayala, I.**, (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. (47), 107–124.
- Alcántara-Ayala, I.**, (2008). On the historical account of disastrous landslides in Mexico: the challenge of risk management and disaster prevention. *Advances in Geosciences*(14), 159–164.
- Alcántara-Ayala, I.**, (2010). Disasters in Mexico and Central America: A Little Bit More than a Century of Natural Hazards. En E. M. Latrubesse, *Developments in Earth Surface Processes* (págs. 75-97). Austin, Texas, USA: Elsevier.
- Alcántara-Ayala, I.**, Esteban-Chávez, O., y Parrot, J.F., (2006). Landsliding related to land-cover change: A diachronic analysis of hillslope instability distribution in the Sierra Norte, Puebla, Mexico. *Catena*(65), 152 – 165.
- Alcántara-Ayala, I.**, Echavarría-Luna, A., Gutiérrez-Martínez, C., y Domínguez-Morales, L. (2001). *Inestabilidad de Laderas*. Distrito Federal: CENAPRED.
- Alcántara-Ayala, I.**, y **Murillo-García, F.G.**, (2007). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones Geográficas*, 47-64.
- Aleotti, P. C.**, (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 21–44.
- Alvarado-Batres, C. y Barahona-Palomo, M.**, (2016). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 23-33.
- Atterberg, A.**, (1911). Über die physikalische Bodenuntersuchung, and ubre die Plastizität der Tone. *Internationale Mgen für Bodenkunde; Vol.1*.
- Ayala-Carcedo, F. J., y Olcina-Cantos, J.**, (2002). *Riesgos Naturales*. España: Ariel.
- Ayalew, L., y Yagamishi, H.**, (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 15–31.

- Barredo, J., Benavides, A., Hervás, J., y Van Westen, C. J.,** (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9–23.
- Bates, R.L., y Jackson, J.A.,** (1987). *Glossary of Geology*. Alexandria, VA.: American Geological Institute.
- Bertrand, G.,** (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 249-272.
- Bertrand, G.,** (1972). Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des Montagnes Cantabriques Centrales (Nord-Ouest de l'Espagne). *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 175-206.
- Beven, K.,** (1997). TOPMODEL: a critique. *Hydrological Processes*, 1069–1085.
- Bitrán, D.B.,** (2001). *Características del Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99* (Vol. Libro 1. Serie impacto Socioeconómico de los Desastres en México). México, D.F., México: CENAPRED.
- Blackwelder, E.,** (1928). Mudflow as a geologic agent in semi-arid mountains. *Bulletin of the Geological Society of America*, 465-484.
- Blong, R.,** (1973). Relationships between morphometric attributes of landslides. *Zeitschrift für Geomorphologie*, pp. 18, 66-77.
- Blyth, E.F.,** (2004). Can soil moisture be mapped onto the terrain? *Hydrology and Earth System Sciences*, 923–930.
- Bonham-Carter, G.,** (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS*. Canada: Pergamon Press.
- Bonham-Carter, G.F.,** (2002). Geographic information systems for geoscientist: modelling with GIS. En D. Merriam, *Computer Methods in the Geosciences* (págs. 302–334). New York: Elsevier.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F.,** (1988). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova-Scotia. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1585–1592.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., y Wright, D.F.,** (1989). Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential. En Agterberg, F.P., y Bonham-Carter, G.F., *Statistical Applications in the Earth Science* (págs. 171–183). Canada: Geological Survey of Canada Paper.
- Borja-Baeza, R.C.,** (2006). *Inestabilidad de laderas en Tlatlauquitepec, Sierra norte de Puebla: análisis y modelación en materiales sedimentarios*. México: Tesis de Maestría, UNAM.
- Bouyoucos, G.,** (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 464-465.
- Brabb, E.,** (1984). Innovative approaches to landslide hazard mapping. *4th Int. Symp. Landslides*, (págs. 307–324). Toronto.
- Brabb, E., Pampeyan, E.H., y Bonilla, M.G.,** (1972). *Landslide susceptibility in San Mateo County, California. Scale 1:62,500*. US Geological Survey.
- Brabb, E., y Pampeyan, E.H.,** (1972). *Preliminary map of landslide deposits in San Mateo County, California*. US Geological.
- Brenner, L.,** (2006). Áreas naturales protegidas y ecoturismo: el caso de la Reserva de Biosfera Mariposa Monarca, México. *Relaciones*, 237- 265.
- Broscoe, A.J., y Thomson, S.,** (1969). Observations on an alpine mudflow, Steele Creek, Yukon. *Canadian Journal of Earth Science*, 219-229.

- Brunsdén, D.**, (1973). The application of systems theory of the study of mass movement. *Geologia Applicata e hidrogeologia*, 8, 185-207.
- Bull, W.**, (1964). *Alluvial Fans and Near-surface Subsidence in Western Fresno County, California*. Reston, VA., US Geological Survey.
- Campbell, R.H.**, (1975). *Soil Slips, Debris Flows, and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California*. Reston, VA., US Geological Survey.
- Carranza, E.J.M., y Hale, M.**, (2002). Spatial association of mineral occurrences and curvilinear geological features. *Mathematical Geology*, 203–221.
- Carrara, A.**, (1993). Uncertainty in Evaluating Landslide Hazard and Risk. En Nemec, J. N., *Prediction and Perception of Natural Hazards* (págs. 101–109), Italy, Springer.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., y Reichenbach, P.**, (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. En Carrara, A.G., *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* (págs. 135–175). Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P.**, (1999). Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Natural Hazards*, 117–135.
- Casadei, M., Dietrich, W.E., y Miller, N.L.**, (2003). Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 925–950.
- Casagrande, A.**, (1932). Research on the Atterberg limits of Soils. *Public Roads, Vol.13, Nº 8.*, 121-136.
- CENAPRED**, (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED**, (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CENAPRED**, (2014). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (Fenómenos Geológicos)*. Ciudad de México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- CEPRENAC-PNUD.**, (2003). *La Gestión Local del Riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*. Panamá.
- Cerda, J., y Cifuentes, L.**, (2012). Uso de curvas ROC en investigación clínica. Aspectos teórico-prácticos. *Revista Chilena de Infectología*, 138-141.
- Chacón, J., Irigaray, C., Fernández, T. y El-Hamdouni, R.**, (2006). Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 341–411.
- Champo-Jiménez, O., Valderrama-Landeros, L., y España-Boquera, M.L.**, (2012). Pérdida de Cobertura Forestal en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, Michoacán, México. *Chapingo*, 143-157.
- Chen, T., Niu, R., y Jia, X.**, (2016). A comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS. *Environmental Earth Sciences*.
- Cheng, Q.**, (2004). Application of weights of evidence method for assessment of flowing wells in the Greater Toronto area, Canada. *Natural Resource Research*, 77–86.
- Chung, C.J.**, (2006). Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment. *Computers & Geosciences*, 1052–1068.
- Chung, C.F., y Fabbri, A.**, (1993). Representation of geoscience data for information integration. *Nonrenewable Resources*, 122–139.

- CIMMYT**, (2013). *Resistencia a la Penetración: Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., y Vescovi, P.**, (2002). A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology*, 349–364.
- Coates, D.**, (1977). Landslides. *Reviews in Engineering Geology*, 3-28.
- Cohan, S.**, (2007). *La organización social del turismo en la Reserva De La Biosfera Mariposa Monarca: el caso de los ejidos el Rosario y Cerro Prieto, Michoacán*. México: Tesis de Maestra, UNAM.
- CONANP**, (2001). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Corominas, J., Van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M.G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Herva's, J., y Smith J.T.**, (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 209–263.
- Corsini, A., Cervi, F., y Ronchetti, F.**, (2009). Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology*, 79–87.
- Crandell, D.R.**, (1957). Some features of mudflow deposits. *Bulletin of the Geological Society of America*, 18-21.
- Crozier, M.**, (1973). Techniques for the morphometric analysis of landslips. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 17, 78-101.
- Cruden, D.M.**, (1991). A Simple Definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* (43), 27-29.
- Cruden, D. M., y Varnes, D.J.**, (1996). Landslides types and processes. (A. K. Turner, Ed.) *Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special Report*, 36-75.
- Dafonte, D.J., Valcársel, A.M., Neira, X.X., y Paz, A.**, (1999). Análisis de los métodos de cálculo de la conductividad hidráulica saturada de campo medida con permeámetro Guelph. En Muñoz-Carpena, R.R., *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* (pág. 5-10). USA: Prentice Hall.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., y Paudyal, P.**, (2008). Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. *Geomorphology*, 496–510.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W.**, (2000). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environ Geol*, 381–391.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y.**, (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 65–87.
- Daneshfar, B., y Benn, K.**, (2002). Spatial relationships between natural seismicity and faults, southeastern Ontario and north-central New York State. *Tectonophysics*, 31–44.
- De Graff, J.V., Brabb, E., y King, A.**, (1991). *Landslide hazard assessment In: Primer on natural hazard management in integrated regional development planning*. Washington, D.C.: DRDE, General Secretariat, OAS.
- De la Cruz-Reyna, S.**, (2011). Investigación de fenómenos naturales y antropogénicos para la mitigación del riesgo y la prevención de desastres en México. Breve historia de un

megaproyecto. *Sesión especial: fenómenos naturales y desastres en México: propuesta de una nueva red temática del Conacyt* (pág. 166). Ensenada, BC: GEOS.

- De Pedraza, J.**, (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Madrid: Rueda.
- Dikau, R., Brunnsden, D., Schrott, L., Ibsen, M., (1996). *Landslide recognition, identification, movement and causes*. Chichester, U.K.: John Wiley & Sons.
- Dobrovlny, E.**, (1971). *Landslide susceptibility in and near anchorage as interpreted from topographic and geologic maps, in The great Alaska earthquake of 1964*. USA: U.S. Geological Survey.
- DOF.** (10 de noviembre de 2000). Decreto que se declara área natural protegida, con carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Mariposa Monarca. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF.** (21 de diciembre de 2016). Acuerdo por el que se emite la Guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos. *Diario Oficial De La Federación*.
- Domínguez-Morales, L., Castañeda-Martínez, A., y Galicia-Nieto, A.**, (2013). *Inventario Nacional de Inestabilidad de Laderas; Formato con Macros para la captura y ordenamiento de Información Georreferenciada*. México: CENAPRED.
- Einstein, H.H.**, (1988). Special lecture: landslide risk assessment procedure. *proceedings of the Vth ISL Lausanne*, 1075–1090.
- Elrick, D.E., Reynolds, W.D., y Tan, K.S.**, (1989). Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Ground Water Monit.*, 184-193.
- Emmanuel, J., Carranza, M., y Hale, M.**, (2000). Geologically constrained probabilistic mapping of gold potential, Baguio district, Philippines. *Natural Resource Research*, 237–253.
- EPOCH.** (1993). Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community. *Supl. Geogr. Fis. Dinam.*, 193-198.
- Erskine, C.F.**, (1973). *Landslides in the vicinity of the first Randall Reservoir, S. Dakota*. U.S. Geol. Survey.
- Evans, N.C., Huang, S.W., y King, J.P.**, (1997). *The natural terrain landslide study phases I and II. Special Project Report, SPR 5/97. Planning Division*. Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department.
- Evans, N.C., y King, J.P.**, (1998). *The natural terrain landslide study: debris avalanche susceptibility*. Hong Kong: Technical Note TN 1/98. Planning Division, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department.
- FAO.** (1995). *Evaluación de recursos forestales*. Roma, Italia: UN para la Alimentación y la Agricultura.
- Fetter, C.W.**, (2001). *Applied Hydrogeology*. New Jersey, USA: MacMillan College Publishing.
- Florinsky, I.V.** (2016). *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology*. Amsterdam: Academic Press.
- Galindo-Leal, C. y Rendón-Salinas, E.**, (2005). *Danaidas: Las Maravillosas Mariposas Monarca*. México: WWF-Telcel.
- García, E.**, (1998). *Climas, Clasificación de Köppen, modificado por García*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- García-Romero, A., y Muñoz-Jiménez, J.**, (2002). *El Paisaje en el Ámbito de la Geografía*. México: Temas Selectos de Geografía de México, Instituto de Geografía, UNAM.
- Garnica-Peña, R.J.**, (2003). *Riesgos por inundaciones e inestabilidad de laderas en el municipio de Tecolutla, Veracruz*. México: Tesis de Licenciatura, UNAM.

- Garnica-Peña, R.J.**, (2007). *Procesos de remocion en masa: instrumentacion, monitoreo y modelacion*. México: Tesis de Maestría, UNAM.
- Geist, H.**, (1999). Exploring the Entry Points for Political Ecology in the International Research Agenda on Global Environmental Change. *Zeitschrift fur Wirtschaftsgeographie*, 158-168.
- Glade, T.** (2001). Landslide hazard assessment and historical landslide data an inseparable couple? En T. A. Glade, *The Use of Historical Data in Natural Hazards Assessment (Advances in Natural and Technological Hazard Research)* (págs. 153–168). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Glade, T., y Crozier, M.J.**, (2005). A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis. En T. A. Glade, *Landslide Hazard and Risk* (págs. 75–138). West Sussex, England: John Wiley and Sons.
- Goodacre, A.K., Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., y Wright, D.F.**, (1993). A Statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic-anomalies in Western Quebec. *Tectonophysics*, 285–305.
- Gorsevski, R.B., Gessler, P.V., y Foltz, P.**, (2000). Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Discriminant Analysis and GIS. *4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling Problems, Prospects and Research Needs*.
- Greenway, D.R.**, (1987). Vegetation and slope stability. En M. y. Anderson, *Slope stability* (págs. 187–230). New York: Wiley.
- Guzzetti, F.**, (2006). *Landslide Hazard and Risk Assessment*. Bonn, Germany: Ph.D. Thesis.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P.**, (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. *Geomorphology*, 181–216.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F.**, (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 272–299.
- Hanna, T.H.**, (1985). *Field instrumentation in geotechnical engineering*. United States: Trans Tech.
- Harris, J.R., Wilkinson, L., y Grunsky, E.C.**, (2000). Effective use and interpretation of lithogeochemical data in regional mineral exploration programs: application of Geographic Information Systems (GIS) technology. *Ore Geology Reviews*, 107–143.
- Hartlen, J., y Viberg, L.**, (1988). General report: evaluation of landslide hazard. *Proceedings of the Vth ISL, Lausanne*, 1037–1057.
- Herrick, J.E., y Jones, T.L.**, (2002). A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*, 1320–1324.
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N.**, (2001). Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, 221-238.
- Hungr, O., Leroueil, S., y Picarelli, L.**, (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 167–194.
- Hutchinson, J.N.**, (1968). Mass movement. En R. Fairbridge, *Encyclopedia of earth Sciences* (págs. 688-695). New York: Reinhold.
- Hutchinson, J.N.**, (1988). General report morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology. *Proceedings of the fifth Intemational Symposium on Landslides*, 3-35.
- Ibsen, M., y Brunnsden, D.**, (1996). The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight. *Geomorphology*, 241–258.

- INEGI**, (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI**, (2021). *Diccionario de datos edafológicos: escala 1:250 000: versión 3*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Iverson, R.M.**, (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 1897-1910.
- Jakob, M., y Hungr, O.**, (2005). *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Bath, U.K.: Springer-Praxis.
- Jennings, D.S., Thomas, M.D., y Gardner, M.**, (1922). A new method of mechanical analysis of soils. *Soil Science*, 485-499.
- Jenson, S.K., y Dominguez, J.O.**, (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information-system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1593–1600.
- Jordan, R.P.**, (1994). *Debris flows in the southern Coast Mountains, British Columbia: Dynamic behaviour and physical properties*. Vancouver: Ph.D. thesis, University of British Columbia.
- Juárez-Badillo, E., y Rico-Rodríguez, A.**, (2005). *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México, D.F.: Limusa.
- Koepfen, W.**, (1936). *Das geographische System der Klimate, Handbuch der Klimatologie*. Borntraeger, Berlin.
- Kraus, G.** (1923). Ergänzer Bericht über Eine Dem Prager Bodenkundlichen Kongress Vorgetragene Neue Methode Der Mechanischen Bodenanalyse, Sowie Ein Einfaches Graphisches Verfahren Zur Bestimmung Der Kornoberfläche, Ferner Praktisches Gerät Zur Probeentnahme Zwecks Ermi. *Internatl. Mitt. Bedenk.*, 147-160.
- IUGS Working group on landslide** (1995). A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 75–78.
- IUGS Working group on landslide** (2001). A suggested method for reporting landslide remedial measures. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 69–74.
- Lang, A., Moya, J., Corominas, J., Schrott, L., Dikau, R.**, (1999). Classic and new dating methods for assessing the temporal occurrence of mass movements. *Geomorphology*, 33–52.
- Leautaud-Valenzuela, P.**, (2014). *Fragmentación Forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca: Cuantificación, Caracterización, y Correlaciones (1999-2010)*. México: Tesis de Maestría, UNAM.
- Lee, S., Choi, J., y Min, K.**, (2002). Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology*, 120–131.
- Lee, S., Choi, J., y Min, K.**, (2004). Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, 2037–2052.
- Lee, S., y Choi, J.**, (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS and the weights-of-evidence model. *International Journal of Geographical Information Science*, 789–814.
- Lee, S., y Sambath, T.**, (2006). Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 847–855.
- Leontiev, O.K., y Richagov, G.I.**, (1979). *Obshchaya geomorfologiya*. Moscú: Visshaya Shkola.
- López, S.B.**, (2019). Comparación de los ensayos de penetración de cono dinámico (DCP) y penetrómetro de cono dinámico de energía variable PANDA. *Geotechnical Engineering in the XXI Century*, 1552-1561.

- López-García, J.**, (2006). *Pérdida y deterioro de los bosques en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca 2005-2006*. México: Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (WWF y FMCN).
- López-García, J.**, (2013). *Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca: aportes para su conocimiento y conservación*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- López-García, J. y Alcántara-Ayala, I.**, (2012). Land-Use Change and Hillslope Instability in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico. *Land degradation & development*, 384-397.
- López-García, J., y Vega-Guzmán, A.**, (2010). Vegetation and land use 2009: Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Journal of Maps*, 665-673.
- Lugo-Hubb, J.I.**, (2011). *Diccionario geomorfológico*. Ciudad Universitaria: Instituto de Geografía.
- Lugo-Hubb, J.I.**, (1988). *La superficie de la Tierra I. Un vistazo a un mundo cambiante*. México: Fondo de Cultura Económica, SEP, CONACYT.
- Lugo-Hubb, J.I.**, (1992). *La superficie de la Tierra II, Procesos catastróficos, mapas, el relieve mexicano*. México: Fondo de Cultura Económica, SEP, CONACYT.
- Lusted, L.B.**, (1968). *Introduction to Medical Decision Making*. Springfield.
- Machado, S.R., López-García, J., Cañete, P.J., García de León, L.A., Vega, G.A., Zarco, P.D.**, (2012). *La Región y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México*. Granada: Universidad de Granada.
- Martínez-Pérez, J.A., y Pérez-Martin, P.S.**, (2022). La curva ROC. *Medicina de Familia. SEMERGEN*.
- Mendoza-Ramírez, J. y Aristizábal, E.**, (2017). Metodología para la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en proyectos lineales. Estudio de caso en el acueducto del municipio de Fredonia, Antioquia. *Ingeniería y Ciencia*, 173–206.
- Miccadei, E., Carabella, C., Paglia, G.**, (2022). *Landslide Hazard and Environment*. Italy: MDPI.
- Michoacán**, (02-06 de febrero de 2010). *La Jornada Michoacán*. Obtenido de <http://www.lajornadamichoacan.com.mx/>
- Mittal, S.K., Singh, M., Kapur, P., Sharma, B.K., y Shamshi, M.A.**, (2008). Design and development of instrumentation network for landslide monitoring, and issue an early warning. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 361–365.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., y Ladson, A.R.**, (1991). Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 3–30.
- Neuhauser, B., y Terhorst, B.**, (2007). Landslide susceptibility assessment using “weights of evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW—Germany). *Geomorphology*, 12–24.
- Neulands, H.**, (1976). A prediction model of Landslip. *Catena*, 215–230.
- New Zeland**, (2005). *Field description of soils and rocks*. New Zeland: New Zeland Geotechnical Society.
- Núñez-Solís, J.**, (2000). *Fundamentos de Edafología*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Padilla-Doval, H.**, (2012). *Análisis de deslizamientos de ladera de febrero de 2010 en la cuenca del Río el Charco, Angangueo, Michoacán*. México: Tesis de Licenciatura, UNAM.
- Pierson, T.C., Janda, R.J., Thouret, J.C., y Borrero, C.A.**, (1990). Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow, and deposition of lahars. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17-66.

- Radbruch, D.** (1970). *Map of relative amounts of landslides in California. 1:500,000.* US Geological Survey.
- Rapp, A.** (1960). Recent development of mountain slopes in Karkevagge and surroundings, Northern Scandinavia. *Geografiska Annaler*, 55-200.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., y Vitek, J.D.,** (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, , 172–187.
- Reichenbach, P., Rossia, M., Malamud, B. D., Mihirb, M., y Guzzettia, F.,** (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 60-91.
- Restrepo, C., Walker, L.R., Shiels, A.B., Bussmann, R., Claessens, L., Fisch, S., Lozano, P., Negi, G., Paolini, L., Poveda, G., Ramos-Scharrón, C., Richter, M., y Velázquez, E.,** (2009). Landsliding and Its Multiscale Influence on Mountainscapes. *BioScience*, 59, 685–698.
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E y Clothier, B.E.,** (1985). The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. *Soil Science Society of America Journal*, 173-180.
- Reynolds, W.D., y Elrick, D.E.,** (1985). *Measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship using the “Guelph permeameter”.* Denver, CO.: Proc. National Water Well Association Conference on Characterization and Monitoring of the Vadose.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z.,** (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*(102), 85–98.
- Robinson, G.W.,** (1922). A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. *Engineering The Journal of Agricultural Science*, 306-321.
- Sanahuja-Rodríguez, H.E.,** (1999). *El daño y la evaluación del riesgo en America Central: Una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica.* Costa Rica: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Scott, G.R.,** (1972). *Map showing landslides and areas susceptible to landslides in the Morrison Quadrangle, Jefferson County, Colorado.* US Geological Survey.
- Scott, K.M., Pringle, P.T., y Vallance, J.W.,** (1992). *Sedimentology, Behavior, and Hazards of Debris Flows at Mount Rainier, Washington.* Reston, VA.: US Geological Survey.
- SGM,** (2000). *Carta Geológico-Minera. E14A26, Esc.1:50,000.* Servicio Geológico Mexicano.
- Sharpe, C.,** (1938). *Landslides and related phenomena.* New York: Columbia University Press.
- Skempton, A.W.,** (1953). Soil mechanics in relation to Geology. *Proceeding of the Yorkshire Geological Society*, 29, 33-62.
- Skempton, A.W., y Hutchinson, J.N.,** (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations. *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 291-340.
- Slymaker, O.,** (1988). The distinctive attributes of debris torrents. *Hydrological Sciences Journal*, 567-573.
- Soeters, R., y Van Westen, C.J.,** (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. En A. S. Turner, *Landslides investigation and mitigation* (págs. 129–177). Washington: National Academy Press.
- Spiegelhalter, D.J., y Knill-Jones, R.P.,** (1984). Statistical and knowledge-based approaches to clinical decision-support systems, with an application in gastroenterology. *Journal of the Royal Statistical Society*, 35–77.

- Spiegelhalter, D.J.** (1986). A statistical view of uncertainty in expert systems. En W. Gale, *Artificial Intelligence and Statistics* (págs. 17–55). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Spiker, E.C., y Gori, P.L.**, (2000). *National landslide hazards mitigation strategy: a framework for loss reduction*. Department of Interior, U.S.G.S.
- Spiker, E.C., y Gori, P.L.**, (2003). *Partnerships for reducing landslide risk: assessment of the national landslide hazards mitigation strategy*. Washington, DC.: The National Academy of Sciences Press.
- Starkel, L.**, (1979). The role of extreme meteorological events in the shaping of mountain relief. *Geographia Polonica*, 13-20.
- Stiny, J.**, (1910). *Die Muren*. Innsbruck: Verlag der Wagner schen Universitäts-buchhandlung.
- Stonich, S.**, (1998). Political Ecology of Tourism. *Annals of Tourism Research*, 25-54.
- Styczen, M.E., y Morgan, R.P.C.**, (1995). Engineering properties of vegetation. En R. y. Morgan, *Slope Stabilization and Erosion Control: a Bioengineering Approach* (págs. 5–58). London: E&FN Spon.
- Swanston, D.N.**, (1974). *Slope Stability Problems Associated with Timber Harvesting in Mountainous Regions of the Southwestern United States*. Washington, DC.: US Department of Agriculture.
- Takahashi, T.**, (1978). Mechanical characteristics of debris flow. *Journal of the Hydraulics Division*, 1153-1169.
- Takahashi, T.**, (1991). *Debris Flow*. Balkema, Rotterdam: IAHR Monograph.
- Terzaghi, K.** (1950). Mechanisms of landslides. *Geotechnical Society of America*, 83-125.
- UNISDR**, (2005). *Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015*. Kobe: UN International Strategy for Disaster Reduction.
- UNISDR**, (2009). *Terminología sobre reducción del Riesgo de Desastres*. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas.
- Van Asch, T.W., Malet, J.P., Van Beek, L.P., y Amitrano, D.**, (2007). Techniques, issues and advances in numerical modelling of landslide hazard. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 65–88.
- Van Westen, C.J.**, (1993). *Application of geographic information systems to landslide hazard zonation*. Netherlands: PhD Thesis.
- Van Westen, C.J., Castellanos, E., y Kuriakose, S.L.** (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 112–131.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., y Soeters, R.**, (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 399–419.
- Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., y Soeters, R.**, (2006). Landslide hazard and risk zonation, why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 167–184.
- Vanags, C.P., Minasny, B., y McBratney**, (2004). The dynamic penetrometer for assessment of soil mechanical resistance In Supersoil 2004. *Program and Abstracts for the 3rd Australian New Zealand Soils Conference* (págs. 5-9). Sydney, Australia: University of Sydney.
- Vandine, D.F., Moore, G., Wise, M., Vanbuskirk, C., y Gerath, R.**, (2004). Chapter 3 — Technical terms and methods. En Wise, *Landslide Risk Case Studies in Forest Development Planning and Operations* (págs. 13–26). Forest Science Program.
- Varnes, D.J.**, (1954). Landslide types and processes. *Landslides and Engineering Practice*, 20-47.
- Varnes, D.J.**, (1978). Slope movements, types and processes. *Landslides and Engineering Practice*, 20-47.

- Varnes, D.J.**, (1984). *International Association of Engineering Geology*. Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice.
- Vorpahl, P., Elsenbeer, H., Märker, M., y Schröder, B.**, (2012). How can statistical models help to determine driving factors of landslides? *Ecological Modelling and Systems Ecology*, 27–39.
- Ward, W.**, (1945). The stability of natural slopes. *Geographical Journal*, 105, 170-197.
- Wieczorek, G.**, (1987). Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. En Costa, J.E., y Wieczorek, G.F., *Debris flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation* (págs. 93-104). Boulder, CO.: Geological Society of America.
- Wieczorek, G. F., y Glade, T.**, (2005). Climatic factors influencing occurrence of debris flows. En Jakob, M., y Hungr, O., *Debris-flow Hazards and Related Phenomena* (págs. 325-362). Chichester, U.K.: Springer-Praxis.
- WP/WLI**, (1990). A suggested method for reporting a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 5-12.
- WP/WLI**, (1991). A suggested method for a landslide summary. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 101 -110.
- WP/WLI**, (1993a). A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 53-57.
- WP/WLI**, (1993b). Multilingual landslide glossary. *BiTech Publishers*.
- WRB**, (2014). *Base referencial mundial del recurso suelo*. Roma: FAO.
- Zahiri, H., Palamara, D.R., Flentje, P., Brassington, G.M., y Baafi, E.**, (2006). A GIS-based weights-of-evidence model for mapping cliff instabilities associated with mine subsidence. *Environmental Geology*, 377–386.
- Zaruba, Q., y Mencl, V.**, (1969). *Landslides and their control*. Amsterdam: Elsevier.
- Zimmerer, K.S., y Bassett, T.J.**, (2003). Approaching Political Ecology: Society, Nature, and Scale in Human-Environment Studies. *Political Ecology*, 1-28.
- Zubieta-Hernández, R.**, (2007). *Dinámica de la cubierta vegetal en el Área Natural Protegida de la Mariposa Monarca en el periodo 1986-2003*. México: Tesis de Licenciatura, UNAM.

Anexo 1. Estaciones climatológicas

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación	Estatus	Estado	Municipio	Organismo	Cuenca	inicio	Fin	P.O.	TMA	PPA	PMF	PMaxF	AMF	P Max 24H F	APMax 24H F	DGF 10	P 31 E	P 1 F	P 2 F	P 3 F	P 4 F	P 5 F	PA 20 10
11018	EL CHILARILLO	-100.4581	20.1208	2110	Suspendida	Guanajuato	Jerécuaro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/05/1965	31/05/1972	7.1	19.9	785.6	5.4	13.5	1968	11	1968	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
11031	JERECUARIO	-100.5189	20.1431	1787	Operando	Guanajuato	Jerécuaro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/04/1923	30/04/2019	96.1	17.7	739.8	8.8	171.7	2010	67.4	04/02/2010	0	8.3	8.3	16.4	33.3	67.4	13.8	147.5
11076	PRESA SOLIS	-100.6728	20.0539	1901	Operando	Guanajuato	Acámbaro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Salamanca	01/01/1961	30/04/2019	58.4	19.4	694.2	8.6	150.1	2010	56.3	03/02/2010	0	SD	5.4	42	56.3	14	SD	117.7
11077	TARANDACUAO	-100.5122	19.9975	1937	Operando	Guanajuato	Tarandacua	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/04/1941	30/06/2018	77.3	18.9	741	7.1	105	2010	24	03/02/2010	0	0	13	20	24	19	1	77
11090	PURUAGUA (SMN)	-100.4567	20.0758	2013	Suspendida	Guanajuato	Jerecuaro	CONAGUA-SMN	Rio Lerma-Toluca	01/12/1941	31/12/1983	42.1	16.9	735.9	12.0	120	1978	60	1978	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
11116	HACIENDA SAN LUCAS	-100.555	20.1761	2027	Operando	Guanajuato	Jerecuaro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1975	30/06/2018	42.8	16.9	608.5	9.7	174.5	2010	59	04/02/2010	1	17	17	2	41.5	59	7	143.5
11132	PURUAGUA (DGE)	-100.4575	20.0747	2013	Suspendida	Guanajuato	Jerecuaro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1980	30/06/1995	15.5	17.6	774.5	7.4	40	1990	20	18/02/1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
11139	CAMINO BLANCO	-100.6422	20.1758	2490	Suspendida	Guanajuato	Jerecuaro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Salamanca	01/10/1979	31/12/1990	11.3	16.3	783.4	11.5	48.8	1981	23.4	23/02/1981	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
11166	EL GIGANTE	-100.4511	19.9725	1971	Operando	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1979	31/03/2019	40.3	18.3	777.9	13.1	158.1	2010	59.8	04/02/2010	0	1.4	3.4	15.8	33.7	59.8	9.6	123.7
15001	ACAMBAY	-99.8458	19.9567	2544	Suspendida	México	Acambay	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/05/1957	31/12/2006	49.7	13.9	765	8.9	46	1981	20	1981	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15002	ACULCO (SMN)	-99.82	20.1	2490	Operando	México	Aculco	CONAGUA-SMN	Rio Moctezuma	01/01/1961	31/12/2017	57.0	13.7	573.8	8.2	79.2	2010	35.5	04/02/2010	0	0	5.3	0	0	35.5	17.1	57.9
15003	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99.7589	19.3672	2595	Suspendida	México	Almoleya De Juárez	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1959	31/01/2000	41.1	13.3	732.3	6.1	41	1982	23	04/02/1982	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15005	AMANALCO DE BECERRA	-100.0228	19.255	2365	Suspendida	México	Amanalco	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/03/1962	31/08/2005	43.5	14.5	1,073.40	10.4	53	1981	27	14/02/1981	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15009	ATLACOMULCO (SMN)	-99.8833	19.8	2560	Suspendida	México	Atlacomulco	CONAGUA-SMN	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	30/06/1976	15.5	14.7	799.6	6.0	38.5	1975	20	01/02/1975	0	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15010	ATOTONILCO	-99.7756	19.4622	2557	Operando	México	Almoleya De Juárez	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	31/10/2018	57.9	12.9	823.9	11.9	107.5	2010	50	04/02/2010	0	0	0	0	0	0	0	0
15026	ENYEJE	-99.85	19.5639	2550	Operando	México	Ixtlahuaca	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	30/06/2018	57.5	12.2	698.1	13.1	203.5	2010	96.2	04/02/2010	0	0	0	16	28.8	96.2	13.8	154.8
15029	EL TEJOCOTE	-99.9175	19.8617	2449	Operando	México	Atlacomulco	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1969	31/10/2018	49.9	13.7	810.9	11.9	127.6	1992	42.7	02/02/1992	0	2.5	1.3	13.6	26	42.7	17.7	103.8
15031	HACIENDA SOLIS	-100.0536	19.9711	2355	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	31/07/1989	28.6	14.7	627.9	8.0	31.3	1982	24.5	07/02/1982	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15035	IXTAPAN DEL ORO	-100.2661	19.2664	1719	Suspendida	México	Ixtapan Del Oro	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/01/1961	30/11/1986	25.9	18	878.6	7.9	39.3	1979	15.5	12/02/1979	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15036	IXTLAHUACA (SMN)	-99.76	19.5642	2535	Suspendida	México	Ixtlahuaca	CONAGUA-SMN	Rio Lerma-Toluca	01/08/1923	31/12/1992	69.5	14.4	690.3	11.5	33.3	1978	20	02/02/1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15046	PRESA COLORINES (CFE)	-100.2164	19.1764	1645	Operando	México	Valle De Bravo	CFE	Rio Cutzamala	01/07/1949	31/12/2017	68.5	19	940.3	10.2	252.5	2010	140	02/02/2010	0	2	22	27.5	140	43.5	0	235
15051	LOS VELAZQUEZ	-99.8694	19.4239	2577	Operando	México	Villa Victoria	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1963	30/06/2018	54.8	12.9	831.9	8.6	35.9	1992	26.6	02/02/1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15062	NEVADO DE TOLUCA	-99.7814	19.1186	4283	Operando	México	Zinacantepec	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/07/1964	31/03/2019	54.8	3.8	1,066.30	11.6	56.2	1982	17	22/02/1982	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15066	PALIZADA	-100.0978	19.5075	2635	Operando	México	Villa Victoria	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/09/1958	30/06/2018	59.9	11.9	746.6	7.3	32.3	1992	28.3	02/02/1992	0	0	0	0	0	0	0	0
15070	PRESA BROCKMAN	-100.1403	19.7692	2929	Operando	México	El Oro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/08/1969	30/06/2018	48.9	11.5	841.5	14.0	205	2010	64	04/02/2010	0	0	3	17	46	64	45	175
15072	PRESA EMBAJOMUY	-99.9453	19.7103	2670	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	30/06/1995	34.5	13	737.8	10.9	38	1992	23	1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15076	PRESA TEPETITLAN	-99.9578	19.6625	2564	Operando	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	30/06/2018	57.5	13.1	791.7	10.6	46.67	2007	20	06/02/2007	SD	0	4	0	17.1	67	26	114.1

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación	Estatus	Estado	Municipio	Organismo	Cuenca	inicio	Fin	P.O.	TMA	PPA	PMF	PMaxF	AMF	P Max 24H F	APMax 24H F	DGF 10	P 31 E	P 1 F	P 2 F	P 3 F	P 4 F	P 5 F	PA 20 10	
15078	PRESA FRANCISCO TRINIDAD FABELA	-99.7908	19.825	2718	Operando	México	Atzacmulco	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	30/06/2017	56.5	12.6	726.3	13.5	149	1992	86	02/02/1992	0	5	0	19	8	86	3	121	
15079	PUENTE ANDARO	-100.0233	19.9081	2370	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/04/1968	31/10/2006	38.6	15.8	774.7	10.6	47.5	1992	38	02/02/1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15087	SAN FELIPE DEL PROGRESO (SMN)	-99.9617	19.7167	2550	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-SMN	Rio Lerma-Toluca	01/06/1947	30/04/1976	28.9	14.7	844.7	7.8	50.5	1975	32	1975	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15088	SAN FRANCISCO OXTOTILPAN	-99.9072	19.1558	2605	Operando	México	Temascaltepec	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/11/1961	30/09/2017	56.0	13	1,236.80	16.1	123.7	2010	63.4	2010	0	0	0	16.3	0	44	63.4	123.7	
15089	SAN FRANCISCO TLALCICALCALPAN	-99.7678	19.2922	2773	Operando	México	Almoloya De Juárez	CONAGUA-SMN	Rio Lerma-Toluca	01/03/1939	30/06/2017	78.4	13.7	757.3	9.3	113.5	1979	45.5	20/02/1979	2	0	2	4.3	4.5	45.5	26.7	83	
15102	SAN ONOFRE	-100.0953	19.6919	2677	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1965	31/03/1990	24.5	11.3	792.3	11.2	37	1982	28.5	1982	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15104	SAN PEDRO POTLA	-99.9678	19.855	2450	Operando	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1969	30/06/2017	48.5	13.8	834.1	12.6	119	2010	55	04/02/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15107	SANTA BARBARA (CFE)	-100.3247	19.2061	1346	Suspendida	México	Santo Tomas	CFE	Rio Cutzamala	01/01/1961	31/08/1989	28.7	24	904	4.0	26.7	1983	12.5	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15108	SANTA MARIA DEL MONTE	-99.8247	19.3061	2839	Operando	México	Zinacantepec	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/03/1962	31/03/2016	54.1	13.4	843.6	17.3	289.3	2010	73	2010	2	0	0	0	13	11.3	21	45.3	
15110	ACULCO (DGE)	-99.8333	20.1	2446	Suspendida	México	Aculco	CONAGUA-DGE	Rio Moctezuma	01/03/1970	30/09/1989	19.6	13.4	589.1	8.3	28.3	1989	18.5	1989	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15117	TEMASCALCINGO	-100.0122	19.9197	2377	Operando	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/07/1962	30/06/2018	56.0	15.1	649.2	8.5	50.4	2015	32	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15128	TULTENANGO	-100.0814	19.8119	2601	Operando	México	El Oro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	30/06/2017	56.5	14	747.7	8.1	109.5	2010	30	04/02/2010	0	0	0	15	25	30	20	90	
15130	PRESA VALLE DEL BRAVO (CFE)	-100.1333	19.2333	1942	Suspendida	México	Valle De Bravo	CFE	Rio Cutzamala	01/01/1969	31/12/2017	49.0	18.9	890.9	5.5	24.8	2010	19.4	03/02/2010	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15131	VILLA DE ALLENDE	-100.0833	19.3667	2550	Suspendida	México	Villa De Allende	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/01/1961	30/04/1985	24.3	14	933.4	13.1	47.9	1978	23	1978	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15133	PRESA VILLA VICTORIA	-100.0539	19.4611	2552	Operando	México	Villa Victoria	CONAGUA	Rio Cutzamala	01/01/1961	31/12/2017	57.0	13.2	876.9	16.6	272.5	2010	127	02/07/1905	0	1	20	19	127	70	0	237	
15139	ATLACOMULCO I (DGE)	-99.8811	19.7958	2550	Suspendida	México	Atzacmulco	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	31/10/1992	31.9	13.5	778.4	10.0	37.7	1978	27.5	1978	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15140	PRESA CHILESDO	-100.1519	19.3475	2365	Operando	México	Villa De Allende	CONAGUA	Rio Cutzamala	01/01/2002	31/12/2017	16.0	15	980.3	28.4	312.4	2010	160	02/07/1905	0	0	0	0	0	0	0	0	
15146	PUEBLO NUEVO	-100.0458	19.8994	2758	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	31/01/1987	26.1	12.1	850.7	7.9	27.4	1978	16.2	1978	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15148	SAN FELIPE DEL PROGRESO (DGE)	-99.9511	19.7125	2583	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1961	31/10/1988	27.8	14.1	765.2	11.5	50.5	1975	32	1975	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15158	SAN PEDRO DE LOS BAÑOS	-99.8308	19.6692	2552	Operando	México	Ixtlahuaca	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/08/1965	30/06/2017	51.9	13.1	656.5	10.1	106.4	2010	24.2	2010	0	0.3	0	15.1	24.2	23.3	20.2	83.1	
15160	SANTIAGO DEL MONTE	-99.945	19.4008	2770	Operando	México	Villa Victoria	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/08/1969	30/06/2017	47.9	12.8	886.3	15.3	148.5	2010	58.4	2010	0	0	0	4.7	24.5	24.6	58.4	112.2	
15165	VALLE DEL BRAVO	-100.1306	19.1925	1948	Operando	México	Valle De Bravo	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/01/1961	31/08/2014	53.7	18.4	753	14.1	195.3	2010	78	2010	0	8.5	6.5	18	78	68	0	179	
15174	PALO MANCORNADO	-99.9222	19.2925	3000	Operando	México	Amanalco	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/06/1964	30/06/2018	54.1	12.4	809.6	10.8	77.2	1981	39	22/02/1981	0	4.5	0	4.2	5	2.1	0	15.8	
15178	IXTAPANTONGO	-100.2417	19.1731	1377	Suspendida	México	Santo Tomas	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/02/1973	31/12/1991	18.9	22.7	775.7	5.2	21.5	1983	11	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15183	EL ORO	-100.1294	19.8092	2731	Operando	México	El Oro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1971	31/03/2015	43.5	10.1	804.8	9.6	181.4	1984	32.3	06/02/1984	3	0.6	0	22.5	32.3	16.4	14.6	86.4	
15189	LA CONCEPCION	-99.9147	20.1467	2351	Operando	México	Aculco	CONAGUA-DGE	Rio Moctezuma	01/02/1973	30/06/2017	44.4	14	726.5	13.0	134	2010	48.3	2010	0	0.5	0	17	37.5	33	18.5	106.5	
15194	AGOSTADERO	-99.9947	20.0483	2713	Suspendida	México	Acambay	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/07/1974	31/01/1987	12.6	13.9	723.8	11.3	39.4	1979	13.5	1979	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15197	CUESTA DEL CARMEN	-100.1978	19.4628	2750	Operando	México	Villa De Allende	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/08/1974	30/06/2018	43.9	14.7	676.5	6.3	50.6	1995	46	1995	0	0	0	0	0	0	0	0	
15199	MINA VIEJA	-99.9475	19.5561	2927	Operando	México	Villa Victoria	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/09/1974	30/06/2017	42.9	11.8	830.5	13.7	138.1	2010	80	2010	0	0	0.2	4	80	32	0	116.2	

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación	Estatus	Estado	Municipio	Organismo	Cuenca	inicio	Fin	P.O.	TMA	PPA	PMF	PMaxF	AMF	P Max 24H F	APMax 24H F	DGF 10	P 31 E	P 1 F	P 2 F	P 3 F	P 4 F	P 5 F	PA 20 10	
15205	DOLORES PRESA	-99.9083	19.3992	2616	Operando	México	Villa Victoria	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1976	30/06/2017	41.4	12.2	723.4	23.3	261.7	2010	100	04/02/2010	0	0	0	34.8	28.3	100	60.1	223.2	
15206	EL GUARDA	-100.0975	19.79	2722	Suspendida	México	El Oro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1976	31/08/1986	10.6	12.6	550.9	13.0	30.8	1979	16.5	1979	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15208	POZO CUATRO	-99.8303	19.7106	2538	Suspendida	México	Jocotitlán	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1976	28/02/1987	11.1	12.3	693.7	14.5	27.8	1984	15.5	1984	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15219	PRESA PINZANES (CFE)	-100.3831	19.1139	1878	Suspendida	México	Otzoloapan	CFE	Rio Cutzamala	01/04/1975	31/12/1989	14.8	23.3	857.1	3.8	22	1983	12.8	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15227	CONCEPCION DEL MONTE	-100.1333	19.65	2695	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1977	31/01/1987	9.3	12.1	702.9	12.3	38	1978	38	1978	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15229	LOMA ALTA	-99.8061	19.1719	3432	Operando	México	Zinacantepec	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1977	30/06/2016	38.8	7.5	559.6	21.0	82	2010	25	2010	0	1	0	4	2	24	24	55	
15230	PALO AMARILLO	-100.2167	19.65	3080	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1977	31/01/1987	9.3	10.2	754.9	28.2	66.2	1983	30.2	1983	0	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15233	SAN NICOLAS MAVATI	-99.9456	19.5867	2910	Operando	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1977	30/06/2016	38.8	13.4	679.5	11.3	53.3	2010	25	2010	0	0	0	13.3	0	0	0	0	13.3
15236	OCOYOTEPEC	-99.8417	19.4939	2706	Operando	México	Almoloya De Juárez	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/11/1977	30/06/2016	38.7	13.6	780.6	15.1	88.1	2012	32.5	2012	0	0	0	20	20	20.2	0	60.2	
15243	PRESA JUANACATLAN	-100.0778	19.9131	2444	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/09/1978	31/12/2000	22.3	14.6	883.2	5.9	44	1989	40	04/02/1989	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15244	MUYTEJE	-99.9308	20.0219	2840	Operando	México	Acambay	CONAGUA-DGE	Rio Moctezuma	01/01/1978	30/06/2018	40.5	11.1	734.6	17.0	242.9	2010	71.2	04/02/2010	0	0	0	29.4	57.3	71.2	32	189.9	
15245	LA JORDANA	-99.995	19.7961	2620	Operando	México	El Oro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/09/1977	31/03/2019	41.6	13.7	757.4	14.9	140	2010	46	04/02/2010	0	1	0	18	19	46	21.5	105.5	
15247	LA CIENEGA	-100.0389	19.6356	2610	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1977	31/07/1990	12.8	10.8	765.1	15.6	41.4	1979	19.4	1979	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15251	ATLACOMULCO II (DGE)	-99.8744	19.7975	2574	Operando	México	Atlacomulco	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1978	30/04/2019	41.4	12.9	759.8	16.3	161.3	2010	57.7	04/02/2010	0	3.2	0	23.7	24.9	57.7	27.1	136.6	
15260	SAN LUCAS TOTOLMALOYA	-99.9069	20.0842	2737	Operando	México	Aculco	CONAGUA-DGE	Rio Moctezuma	01/01/1979	30/06/2016	37.5	14	724.3	18.7	223	2007	97	05/02/2007	0	1.5	0	19.5	25.2	23.8	17.5	87.5	
15261	EL JAZMIN	-99.88	20.0208	2650	Operando	México	Aculco	CONAGUA-SMN	Rio Moctezuma	01/09/1978	30/06/2017	38.9	13	616	14.4	278	2010	100	04/02/2010	0	2.5	0	48	50	100	18	218.5	
15265	CAMPAMENTO LOS BERROS	-100.0758	19.3894	2541	Operando	México	Villa De Allende	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/01/1981	31/12/2017	37.0	13.5	877.6	19.3	174.1	2010	88.9	04/02/2010	SD	0	5.6	43	0	88.9	0	137.5	
15267	CHICHILPA	-100.0419	19.7194	2795	Operando	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1981	30/06/2017	36.5	13.9	803.3	19.0	181	2010	62	03/02/2010	0	0	11	42	62	20	0	135	
15273	PRESA ÑADO	-99.8644	20.0386	2600	Operando	México	Aculco	CONAGUA-DGE	Rio Moctezuma	01/01/1981	30/06/2018	37.5	13.6	810.8	16.4	117	2010	27	04/02/2010	0	3	0	19	23	27	23	95	
15276	SAN JOSE DEL CONTADERO	-99.8081	19.2344	3045	Operando	México	Zinacantepec	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1980	30/06/2017	36.8	9.6	819.1	22.1	176.9	2010	90	04/02/2010	0	0	0	10.5	5.5	90	0	106	
15277	SAN MIGUEL TENOCHTITLAN	-99.9214	19.7581	2566	Suspendida	México	Jocotitlán	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	SD	SD	SD	14.1	675.8	12.7	13	1983	7	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15278	SANTIAGO ACUTZILAPAN	-99.7586	19.7603	3061	Suspendida	México	Atlacomulco	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15279	SANTIAGO COACHOCHITLAN	-100.0081	19.8578	2615	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1981	30/11/1993	12.8	13.9	601.9	6.8	18	1981	13	1981	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15282	TRES BARRANCAS	-99.7983	19.3408	2682	Operando	México	Almoloya De Juárez	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/07/1980	30/06/2018	38.0	SD	849.7	13.0	131	2010	63.5	04/02/2010	0	0	0	3.5	7	63.5	25.5	99.5	
15287	LA COMUNIDAD D-8	-99.93	19.1347	2500	Operando	México	Temascaltepec	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/03/1980	31/05/2017	37.3	16.2	1,162.90	14.8	91	2010	45.5	2010	1	0	2	20	45.5	0	0	67.5	
15293	SAN JUAN DE LAS HUERTAS	-99.7642	19.2375	2905	Operando	México	Zinacantepec	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1982	31/12/2017	36.0	12.4	732.6	13.9	91.7	2010	32.1	2010	0	0	0	4.5	3.5	32.1	29.1	69.2	
15308	SAN CRISTOBAL DE LOS BAÑOS	-99.8717	19.6894	2570	Operando	México	Ixtlahuaca	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1980	30/06/2017	37.4	13.3	600.6	10.7	117	2010	39	2010	0	0	0	19	18	39	20	96	
15310	SAN PEDRO EL ALTO	-99.9597	19.9103	2764	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1982	30/11/1989	7.8	13.6	678.4	10.6	23	1985	19	1985	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15322	ASUNCION DONATO GUERRA	-100.1511	19.3089	2183	Suspendida	México	Donato Guerra	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/03/1982	31/12/1998	16.8	16	1,024.40	3.1	17.7	1995	9.8	1995	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación	Estatus	Estado	Municipio	Organismo	Cuenca	inicio	Fin	P.O.	TMA	PPA	PMF	PMaxF	AMF	P Max 24H F	APMax 24H F	DGF 10	P 31 E	P 1 F	P 2 F	P 3 F	P 4 F	P 5 F	PA 20 10	
15332	OTZOLOAPAN	-100.295	19.1169	707	Suspendida	México	Otzoloapan	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15334	PALO SECO	-100.1597	19.5272	2925	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/02/1982	31/08/1994	12.6	12.6	529.3	16.1	32.8	1983	22	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15337	POZO UNO	-99.7542	19.5942	2558	Suspendida	México	Ixtlahuaca	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1982	31/12/1989	8.0	13.5	698.7	6.7	20.1	1982	9	1982	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15344	SAN MATEO EL VIEJO	-99.9081	19.9131	2575	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/03/1982	31/12/1987	5.8	14	90	0.6	1.7	1985	1	1985	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15345	SAN NICOLAS AMEALCO	-99.8775	19.3297	2833	Suspendida	México	Almoloya De Juárez	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/10/1981	28/02/1987	5.4	12.4	545.5	20.8	54	1985	20	1985	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15347	TEPETITLAN	-99.8867	19.6525	2530	Suspendida	México	San Felipe Del Progreso	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1972	30/11/2005	33.9	12.8	653.4	8.1	25.1	1989	16	1989	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15355	DOSHTAJE	-99.95	19.9667	2555	Suspendida	México	Acambay	CONAGUA-DGE	Rio Moctezuma	SD	SD	SD	15	639.5	6.7	13.2	1983	7.9	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15360	POZO SIETE	-99.8806	19.9311	2509	Suspendida	México	Acambay	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15363	PUEBLO NUEVO	-100.0167	19.7833	2956	Suspendida	México	El Oro	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15368	EL FRESNO	-100.0628	19.1461	2160	Operando	México	Valle De Bravo	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/01/1983	30/06/2018	35.5	15.2	1,843.50	20.0	390	1992	37.6	02/02/1992	0	22	0	20.4	18	15.6	32	108	
15372	IXTLAHUACA (DGE)	-99.7669	19.5689	2540	Operando	México	Ixtlahuaca	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/06/1985	31/12/2017	32.6	14.5	738	13.6	144.6	2010	61.8	04/02/2010	0	1.6	0	11.9	10.8	61.8	33	119.1	
15374	AGUA BENDITA	-99.9503	19.2672	2817	Operando	México	Amanalco	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/07/1982	31/12/2017	35.5	13.5	794.8	18.3	313.4	2010	157.5	04/02/2010	0	0	0	11	49	157.5	58.5	276	
15376	SAN JOSE IXTAPA	-100.0931	19.9781	2540	Suspendida	México	Temascalcingo	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/06/1984	31/12/1994	10.6	SD	279.4	3.7	10	1994	6	24/02/1994	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15378	SAN PABLO MALACATEPEC	-100.1569	19.3703	2383	Operando	México	Villa De Allende	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/01/1988	30/06/2018	30.5	13.8	868.2	11.8	93.5	2006	19.5	12/02/2006	0	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
15388	YEBUCIVI	-99.9067	19.5047	2245	Operando	México	Almoloya De Juárez	CONAGUA	Rio Lerma-Toluca	01/05/1984	31/12/2017	33.7	12.6	711	11.4	65	1997	30.3	04/02/1997	0	0	0	0	0	0	0	0	
15390	E. T. A. 013 JOCOTITLAN	-99.7889	19.7111	2650	Operando	México	Jocotitlán	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1986	31/03/2019	33.3	13.1	724.5	12.6	143.5	2010	43	04/02/2010	SD	0	3	13.5	38	43	21	118.5	
15391	E. T. A. 026 VILLA VICTORIA	-100.0694	19.4561	2580	Operando	México	Villa Victoria	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/05/1993	30/06/2017	24.2	13.5	779.6	13.4	161	2010	60	04/02/2010	0	0	0	11	32	60	51	154	
16002	AGOSTITLAN (CFE)	-100.6183	19.5369	2520	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Hidalgo	CFE	Rio Cutzamala	01/07/1950	31/12/2006	56.5	14.2	1,288.90	11.2	52.1	1987	36.2	02/02/1987	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16020	CIUDAD HIDALGO (DGE)	-100.5536	19.6917	2060	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Hidalgo	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/01/1959	30/11/2006	47.9	16.9	813.8	9.6	46.1	1992	34.4	1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16033	CHINCUA	-100.2883	19.7725	2415	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Senguío	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/11/1966	31/12/2006	40.2	14.8	787.6	7.3	52.5	1992	25	1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16036	PRESA EL BOSQUE (CFE)	-100.3833	19.3833	1909	Operando	Michoacán De Ocampo	Zitácuaro	CFE	Rio Cutzamala	01/02/1952	31/12/2017	66.0	18.5	865.6	6.6	31.4	2007	28	04/02/2007	SD	0	0	0	0	0	0	0	0
16040	EL GIGANTE	-100.4525	19.9692	1961	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/08/1970	30/09/2003	33.2	17.5	606.8	9.8	49.1	1979	21.3	1979	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16058	JUNGAPEO	-100.4942	19.4583	1248	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Jungapeo	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/09/1940	31/12/2015	75.4	21.7	699.3	5.9	62.9	2010	20	2010	0	2	8	15.2	17	10.1	0	52.3	
16061	LAGUNA DEL FRESNO	-100.4156	19.8164	2080	Operando	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1947	31/12/2017	71.0	16.7	704.3	10.6	264.5	2010	106	04/02/2010	0	4	4	21	73	106	32.5	240.5	
16071	LOS AZUFRES	-100.65	19.7667	2953	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Hidalgo	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/10/1964	31/01/1997	32.4	11	1,260.40	17.0	79	1965	40	1965	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación	Estatus	Estado	Municipio	Organismo	Cuenca	inicio	Fin	P.O.	TMA	PPA	PMF	PMaxF	AMF	P Max 24H F	APMax 24H F	DGF 10	P 31 E	P 1 F	P 2 F	P 3 F	P 4 F	P 5 F	PA 20 10
16078	MARAVATIO	-100.4425	19.8928	2020	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA-SMN	Rio Lerma-Toluca	01/05/1923	31/12/2006	83.7	17.6	785.4	8.9	53	1981	21.5	1981	0	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16079	MELCHOR OCAMPO	-100.3333	19.5833	2300	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Ocampo	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/05/1961	31/08/1988	27.4	26.1	1,067.70	1.0	14	1968	7	1968	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16092	PRESA AGOSTITLAN	-100.6	19.5667	2443	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Hidalgo	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/01/1961	31/08/1984	23.7	14	1,281.10	17.3	79	1981	47.5	1981	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16097	PRESA PUCUATO	-100.6856	19.6222	2490	Operando	Michoacán De Ocampo	Hidalgo	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/07/1950	31/12/2016	66.5	13.8	1,176.10	16.5	284.1	2010	109	04/02/2010	0	0	10	30	69	109	31.5	249.5
16098	PRESA SABANETA	-100.6692	19.6106	2510	Operando	Michoacán De Ocampo	Hidalgo	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/12/1952	28/02/2017	64.3	13.9	1,247.70	16.5	280.6	2010	108.5	04/02/2010	0	0	5	30.5	70	108.5	31.5	245.5
16099	PRESA TUXPAN (CFE)	-100.4761	19.5628	1750	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Tuxpan	CFE	Rio Cutzamala	01/11/1952	30/06/1995	42.7	17.9	787.4	10.8	62	1992	39.2	1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16111	SAN JOSE	-100.3192	19.9075	2043	Operando	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/06/1955	31/12/2017	62.6	17.5	798.8	11.8	197.5	2010	70	2010	0	1	3	25	44	70	15	158
16115	SAN NICOLASITO	-100.4061	19.9194	2030	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/04/1955	30/06/1971	16.3	16.7	753.6	5.3	41.2	1965	19.3	1965	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16121	SENGUIO	-100.3522	19.7328	2260	Operando	Michoacán De Ocampo	Senguío	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/01/1969	30/11/2016	47.9	16.1	800.1	6.7	34	1981	22.5	23/02/1981	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16122	SUSUPUATO DE GUERRERO	-100.4067	19.2147	1260	Operando	Michoacán De Ocampo	Susupuato	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/08/1945	31/12/2017	72.5	20.2	816.5	7.3	226.5	2010	113.5	03/02/2010	0	2.6	13.1	40.5	113.5	41.8	0	211.5
16124	TEMASCALES	-100.1494	20.0508	2409	Operando	Michoacán De Ocampo	Contepec	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/06/1943	31/12/2017	74.6	13.8	775.5	8.4	119	2010	32	03/02/2010	0	7.5	21	25	32	8	0	93.5
16129	TEPUXTEPEC	-100.2303	19.9967	2358	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Contepec	CONAGUA-DGE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1947	31/08/2001	54.6	15.5	824.1	9.6	46	1992	34.7	1991	0	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16134	TUXPAN	-100.45	19.5667	1800	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Tuxpan	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/04/1941	30/04/1985	44.1	19.3	761.1	4.8	33.5	1968	20	1968	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16135	TUZANTLA (SMN)	-100.5833	19.2167	666	Operando	Michoacán De Ocampo	Tuzantla	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/08/1940	31/03/2010	69.7	26.8	956.4	2.9	44	1983	21	1983	0	SD	0	0	0	0	0	0
16148	ZITACUARO	-100.3667	19.4333	1870	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Zitácuaro	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/10/1921	31/01/1983	61.4	17.4	907.2	24.6	413.4	1955	49.7	1955	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16152	CIUDAD HIDALGO (SMN)	-100.55	19.7167	2327	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Hidalgo	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	01/06/1922	30/09/1988	66.4	17.3	831.3	10.3	46.7	1927	41.3	1927	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16163	TUZANTLA (DGE)	-100.5747	19.2058	600	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Tuzantla	CONAGUA-DGE	Rio Cutzamala	01/01/1969	30/06/1985	16.5	26.2	728.3	2.5	18.2	1983	12.5	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16175	TEPUXTEPEC (CFE)	-100.225	19.9892	2370	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Contepec	CFE	Rio Lerma-Toluca	01/02/1969	31/10/2002	33.8	15.4	671.1	9.3	40.8	1992	30	02/02/1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16189	C.R.E.D.F.F.A.	-100.2333	19.5333	3090	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Zitácuaro	CONAGUA-SMN	Rio Cutzamala	SD	SD	SD	15.5	661.8	10.5	45.7	1983	16	1983	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0

ID	Nombre	Longitud	Latitud	Elevación	Estatus	Estado	Municipio	Organismo	Cuenca	inicio	Fin	P.O.	TMA	PPA	PMF	PMaxF	AMF	P Max 24H F	APMax 24H F	DGF 10	P 31 E	P 1 F	P 2 F	P 3 F	P 4 F	P 5 F	PA 20 10	
16192	LA ENCARNACION	-100.3939	19.4128	1720	Operando	Michoacán De Ocampo	Zitácuaro	CONAGUA- DGE	Rio Cutzamala	01/09/1974	31/10/2017	43.2	18.8	772	14.4	286.9	2010	164.2	2010	0	0	14.4	58.2	164.2	24.1	0	260.9	
16199	SAN MIGUEL CURINHUATO	-100.5892	19.9894	2020	Operando	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA- DGE	Rio Lerma- Toluca	01/03/1975	31/12/2017	42.9	17.6	808.4	16.0	243.2	2010	77	2010	0	4	17	49	77	61	0	208	
16206	SAN JOSE PURUA	-100.4833	19.4833	1572	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Jungapeo	CONAGUA- DGE	Rio Cutzamala	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16213	IRIMBO	-100.4783	19.6992	2180	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Irimbo	CONAGUA- DGE	Rio Cutzamala	01/01/1978	31/05/2007	29.4	15.3	676.3	9.2	37.9	1992	29.6	02/02/1992	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16233	EPITACIO HUERTA	-100.2972	20.1492	2503	Operando	Michoacán De Ocampo	Epitacio Huerta	CONAGUA- DGE	Rio Lerma- Toluca	01/07/1982	31/10/2016	34.4	15.9	781.6	13.9	189.2	2010	54.3	03/02/2010	0	4.8	15.3	51.5	54.3	32.6	0	158.5	
16238	MELCHOR OCAMPO	-100.6586	19.0956	496	Operando	Michoacán De Ocampo	Tuzantla	CONAGUA- DGE	Rio Cutzamala	01/01/1982	31/12/2017	36.0	26.8	750.4	9.6	128.2	2010	44	2010	0	0	12.5	35	44	25	0	116.5	
16252	SAN LORENZO	-100.4333	19.95	2205	Suspendida	Michoacán De Ocampo	Maravatío	CONAGUA- DGE	Rio Lerma- Toluca	01/01/1982	31/12/1990	9.0	17.8	710.9	11.1	24.5	1990	18	1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0
16255	UCAREO	-100.6917	19.9	2554	Operando	Michoacán De Ocampo	Zinapécuaro	CONAGUA- DGE	Laguna De Pátzcuaro- Quitzeo- Yuriria	01/01/1981	31/12/2017	37.0	14.9	635.7	6.7	48.7	1992	46.4	02/02/1992	0	0	2	0	0	0	0	2	
16258	PRESA TUXPAN	-100.4822	19.5397	1747	Operando	Michoacán De Ocampo	Tuxpan	CONAGUA- DGE	Rio Cutzamala	01/07/1982	31/12/2017	35.5	18.1	674.4	21.1	315	2010	105	03/02/2010	0	12	68	34	105	80	0	299	
16514	JARIPEO	-100.4828	19.6511	1880	Operando	Michoacán De Ocampo	Irimbo	CONAGUA- DGE	Rio Cutzamala	01/07/1987	31/10/2015	28.4	18.4	1,048.80	14.4	191.9	2010	66.5	03/02/2010	0	12	12	24.6	66.5	12.4	46.8	174.3	
22001	AMEALCO	-100.1456	20.1847	2629	Operando	Querétaro	Amealco De Bonfil	CONAGUA- SMN	Rio Moctezuma	04/03/1944	30/09/2018	74.6	15.2	707.4	13.4	217	2010	77	2010	0	0	21	65	77	17	0	180	
22033	SAN PABLO	-99.9967	20.1283	2404	Suspendida	Querétaro	Amealco De Bonfil	CONAGUA- DGE	Rio Moctezuma	01/02/1973	29/02/1992	19.1	14.5	835.4	9.1	45.5	2002	20.5	21/02/2002	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0	
22037	EL RINCON	-100.15	20.1833	2670	Suspendida	Querétaro	Amealco De Bonfil	CONAGUA- SMN	Rio Moctezuma	04/03/1944	30/09/2018	74.6	14	261.9	5.8	11.5	1975	9.5	1975	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0	
22047	PRESA EL CAPULIN	-100.0097	20.1292	2746	Operando	Querétaro	Amealco De Bonfil	CONAGUA- DGE	Rio Moctezuma	01/02/1980	31/07/2016	36.5	15	808.2	14.7	159	2010	41.3	03/02/2010	0	8.9	22.4	39	41.3	18.5	0	130.1	

P.O.-Periodo de Observación; TMA-Temperatura media anual; PPA-Precipitación promedio anual; PMF-Precipitación media de febrero; PMaxF-Precipitación máxima de febrero; AMF-Año de precipitación máxima de febrero; PMax24HF- Precipitación máxima en 24 horas de febrero; APMax24HF- Año de precipitación máxima en 24 horas de febrero; DGF-Días con granizo en febrero; P31E-Precipitación 31 de enero 2010; P1F- Precipitación 1 de febrero 2010; P2F- Precipitación 2 de febrero 2010; P3F- Precipitación 3 de febrero 2010; P4F- Precipitación 4 de febrero 2010; P5F- Precipitación 5 de febrero 2010; PA2010-Precipitación acumulada entre el 31 de enero y 5 de febrero de 2010.

Anexo 2. Fichas de campo

1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-FluL1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Lodo</u>	FECHA	<u>08/04/2010</u>
COORDENADAS	<u>-100.2881</u>		<u>19.6250</u>	ALTITUD	<u>2876 msnm</u>
COLONIA	<u>Cerro de Guadalupe</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>Anganguero</u>		
<u>Laboratorio Muestra 1</u>		<u>Pruebas GUELP 2 y 3</u>			
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO PRM1; Flu14. PANDAS No. 1(4), 2(5), 3(6), 4(7), 5(8), 6 (Flujo10)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>ENCINO (SECUNDARIA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>50°</u>	LONGITUD	<u>450 m</u>	ANCHURA	<u>15 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>1 m</u>				
PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)					
OBSERVACIONES:	<u>Material predominante: Suelo, seguido de restos de vegetación y rocas de todo tipo de tamaño</u>				

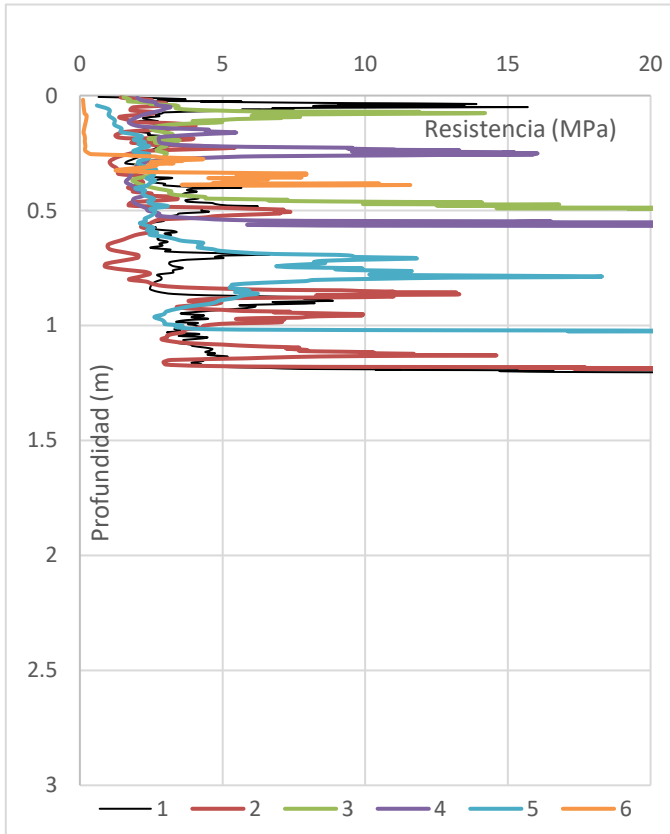
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>LOCALIDAD-VIALIDAD</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>450 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>TABIQUE</u>					
HABITANTES AFECTAL	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDAD <u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>					
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO



Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	2.8442	MPa
PROM(qd) 40cm	3.7004	MPa
PROM(qd)	5.6596	MPa
Profundidad MAX	1.2050	cm
Profundidad MED	0.4871	cm

Descripción:

Las pruebas 1 y 2 se realizaron en un punto con estrato arenoso-limoso delgado, pues no supera los 1.3 mts. de profundidad, con artefactos de tipo gravoso grueso en su contenido, que bien puede ser material acumulado o en tránsito de procesos gravitacionales previos.

Las pruebas 3, 4, 5 y 6 se realizaron en la zona más delgada, pues las pruebas no reflejan una profundidad mayor a 1 mt., y demuestran los valores más inferiores de resistencia, es decir puede ser esta una zona con altos niveles erosivos.

Propiedades Físicas y Químicas

Muestra 1

Densidad Aparente (g/ml)	Densidad Real (g/ml)	Porosidad (%)	Color Seco	Color Húmedo
0.8	1.7	53	10 YR 4/4 pardo Amarillento Oscuro	10 YR 2/2 Negro

pH		M. O. (%)	C (%)	N (%)
H ₂ O	KCl			
5.44	4.13	3.72	2.15	0.193

Arena (%)	70.8
Arcilla (%)	10.4
Limo (%)	18.8
Textura	Franco arenoso

Conductividad hidrahúlica

Cerro de Guadalupe	No. Prueba GUELP	20 cm		50 cm		Total K (cm/hr)
		Q _s	K	Q _s	K	
	2	4.3E-03	15.5	1.1E-03	4.1	9.8
	3	3.6E-03	12.8	1.6E-03	5.6	9.2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ER-FluL-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Lodo</u>	FECHA	<u>08/04/2010</u>
COORDENADAS	<u>-100.2746</u>	,	<u>19.6360</u>	ALTITUD	<u>2786 msnm</u>
COLONIA	<u>Catingón</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>Escuela</u>		
	<u>Laboratorio Muestra 2</u>	<u>Prueba GUELP 4</u>			
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO PRM2. PANDAS No. 7(9), 8(10), 9(11)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

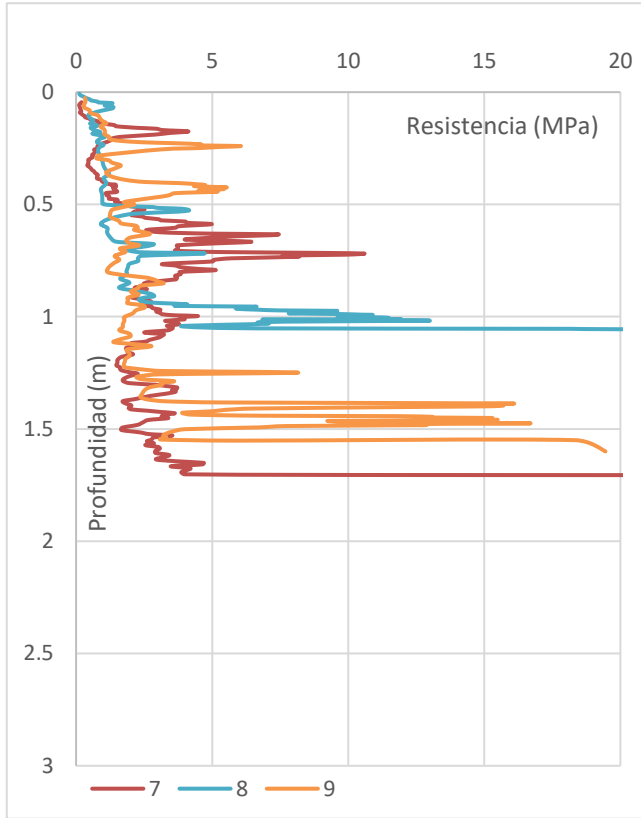
GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>ENCINO (SECUNDARIA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>30°</u>	LONGITUD	<u>180 m</u>	ANCHURA	<u>5 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>2 m</u>				
	<u>PROCESO: ACTIVO (x) LATENTE () RELICTO ()</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Material predominante: Suelo, arenas y rocas de diverso tamaño (Vegetación)</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>LOCALIDAD-VIALIDAD</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>TABIQUE</u>				
HABITANTES AFECT.	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.8813	MPa
PROM(qd) 40cm	1.3409	MPa
PROM(qd)	3.7493	MPa
Profundidad MAX	1.7070	cm
Profundidad MED	0.7877	cm

Descripción:

Las pruebas 7, 8 y 9, mantienen las tendencias al observarse en las gráficas el contacto entre estratos a una profundidad que oscila en 1.5 mts., y una resistencia del terreno ligeramente superior y variable, los que puede suponer un breve incremento en la consolidación, aunque sin romper la tendencia general de la zona.

Propiedades Físicas y Químicas

Muestra 2

Densidad Aparente (g/ml)	Densidad Real (g/ml)	Porosidad (%)	Color Seco	Color Húmedo
0.7	2.2	69	10 YR 3/4 pardo amarillento obscuro	10 YR 2/1 Negro

pH		M. O. (%)	C (%)	N (%)
H ₂ O	KCl			
5.9	4.6	0.96	0.55	0.124

Arena (%)	66.4
Arcilla (%)	10.8
Limo (%)	22.8
Textura	Franco arenoso

Conductividad hidrahúlica

Escuela Catingon	No. Prueba Guelp	20 cm		50 cm		Total K (cm/hr)
		Q _s	K	Q _s	K	
	4	1.2E-03	4.4	1.0E-02	36.5	20.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ER-FluE-2</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>09/04/2010</u>
COORDENADAS	<u>-100.2718</u>		<u>19.6344</u>	ALTITUD	<u>2900 msnm</u>
COLONIA	<u>Río El Charco</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
	<u>Laboratorio Muestra 3 y pruebas de Geotécnia</u>		<u>Pruebas GUELP 5 y 6</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO PRM3. PANDAS No. 10(Anga1), 11(Anga2), 12(Anga3), 13(Anga4), 14(Anga5).</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL, LITOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>CONIFERAS</u>	ORIENTACIÓN	<u>DIVERSAS</u>		
PENDIENTE	<u>30°</u>	LONGITUD	<u>2900 m</u>	ANCHURA	<u>30 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>10 m</u>				
	<u>PROCESO: ACTIVO (x) LATENTE () RELICTO ()</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Material: Escombros de troncos (Vegetación), suelo y rocas de diverso tamaño</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>LOCALIDAD-VIALIDAD</u>			
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>2000 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS-INFRAESTR</u>	
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>TABIQUE</u>			
HABITANTES AFECTADOS:	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>	
DIVIDIDOS POR EDADES	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>			
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>			

ESQUEMA IDEALIZADO

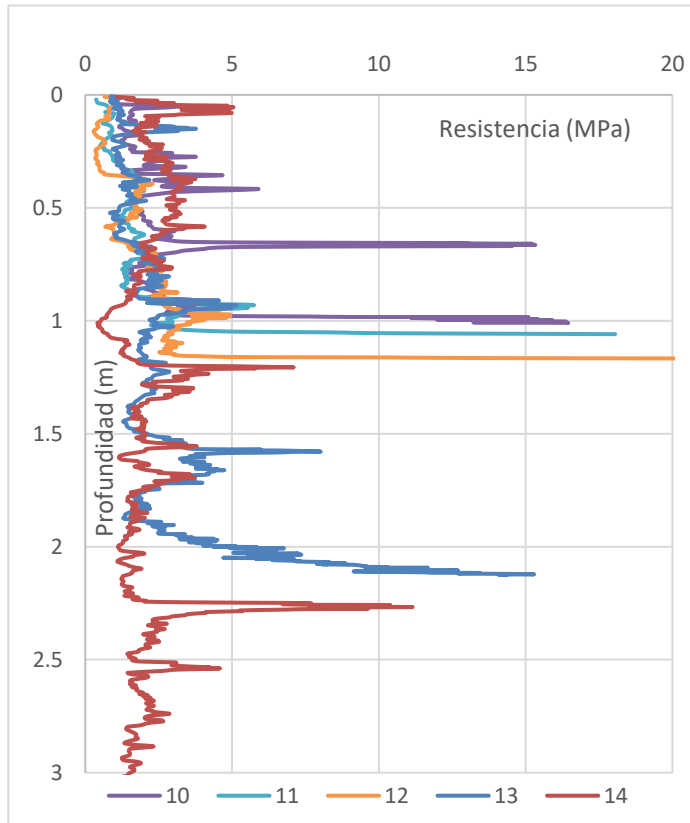
<<<Izquierda
Cabecera del
Proceso de
remoción



Prueba de
velocidad de
infiltración

Derecha>>>

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	1.4664	MPa
PROM(qd) 40cm	1.7838	MPa
PROM(qd)	2.9843	MPa
Profundidad MAX	3.3020	cm
Profundidad MED	0.9522	cm

Descripción:

Las pruebas 10, 11 y 12 se realizaron en un punto con estrato arenoso-limoso delgado, pues no supera los 1.3 mts. de profundidad, con artefactos de tipo gravoso gruesas en su contenido, que bien puede ser material acumulado o en tránsito de procesos gravitacionales previos.

Las pruebas 13 y 14, se realizaron en la zona más gruesa pues las pruebas reflejan una profundidad mayor a 2 mt., y demuestran valores similares en resistencia, respecto del resto de los sondeos, es decir, son zonas de acumulación de materiales con altos niveles erosivos con material el tránsito ladera abajo.

Propiedades Físicas y Químicas

Muestra 3

Densidad Aparente (g/ml)	Densidad Real (g/ml)	Porosidad (%)	Color Seco	Color Húmedo
0.6	2.2	73	10YR 3/1 Gris muy obscuro	7.5 YR 2.5/1 Negro

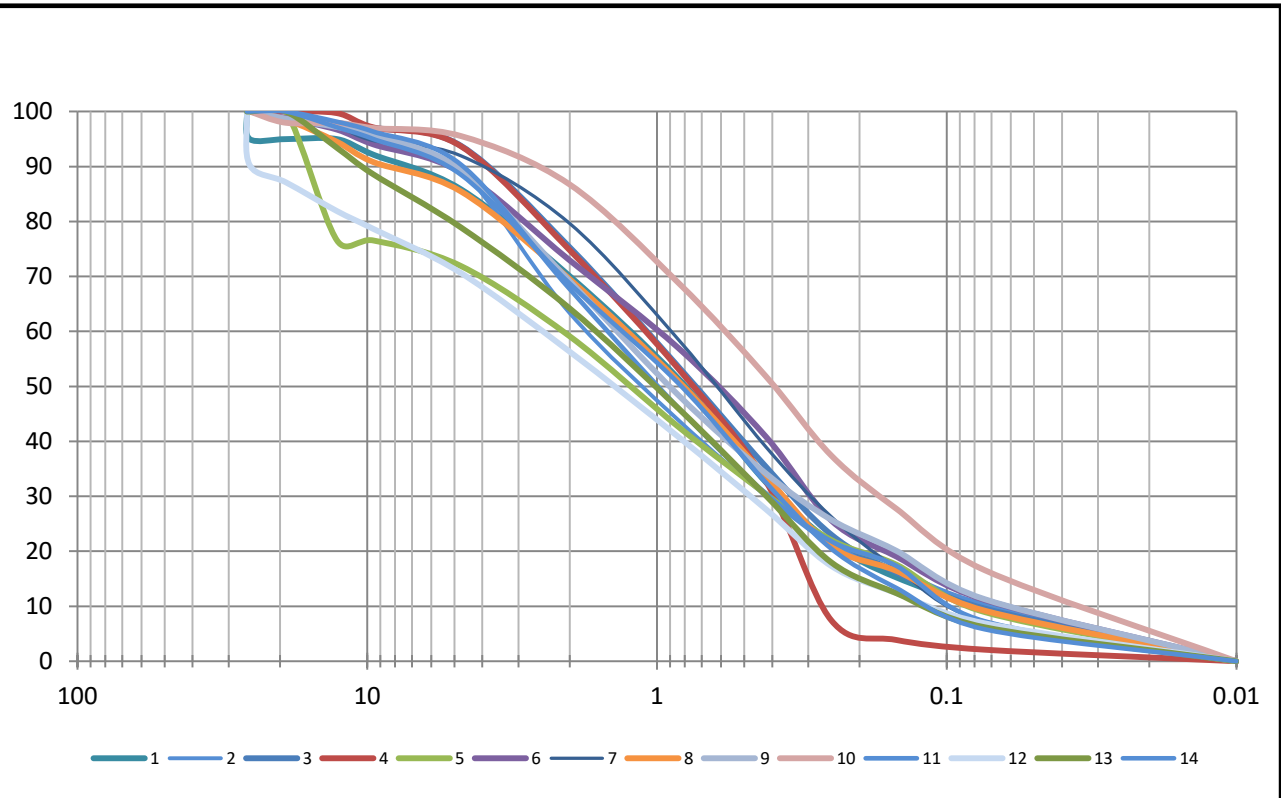
pH		M. O. (%)	C (%)	N (%)
H ₂ O	KCl			
5.62	4.6	0.96	0.55	0.124

Arena (%)	76.8
Arcilla (%)	2.8
Limo (%)	20.4
Textura	Arena franca

Conductividad hidrahúlica

Escuela Catingon	No. Prueba Guelp	20 cm		50 cm		Total K (cm/hr)
		Q _s	K	Q _s	K	
	5	1.4E-03	5.0	2.3E-05	0.1	2.5
6	3.3E-04	1.2	SD	SD	1.2	

Granulometría



Clases Texturales

Muestra	Arenas %	Limos %	Arcilla %	Textura
1	9.73	65.56	24.71	Migajón limoso
2	8.04	73.05	18.91	Migajón Limoso
3	16.04	59.35	24.61	Migajón Limoso
4	14.59	61.66	23.76	Migajón Limoso
5	13.49	58.80	27.71	Migajón Limoso
6	19.51	52.53	27.96	Migajón Limoso
7	11.22	60.37	28.41	Migajón Limoso
8	12.64	70.40	16.96	Migajón Limoso
9	18.32	52.22	29.46	Mijagon Arcillo Limoso
10	23.28	50.32	26.41	Migajón Limoso
11	9.72	62.02	28.26	Mijagon Arcillo Arenoso
12	12.89	62.10	25.01	Migajón Limoso
13	23.42	57.08	19.51	Migajón Limoso
14	25.80	51.60	22.61	Migajón Limoso

Límites de Plasticidad

Muestra	Contenido de humedad W%	Límite líquido Lw%	Límite plástico Pw%	Índice de plasticidad Ip%	Zona
5	30.44	71.74	57.14	14.59	Curso alto
6	13.36	52.64	43.08	9.57	
7	7.88	47.62	35.86	11.76	
8	22.82	48.26	34.85	13.42	
9	9.58	73.61	59.42	14.19	
10	10.95	52.24	34.85	17.39	
1	4.02	45.26	31.37	13.88	Curso medio
2	5.31	50.12	43.08	7.05	
3	11.72	34.21	29.17	5.05	
4	4.35	38.72	27.78	10.95	
11	9.45	37.33	25.00	12.33	Curso bajo
12	11.11	38.09	20.20	17.89	
13	8.70	48.48	31.67	16.81	
14	7.70	48.59	36.93	11.66	

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-FluE-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>07/04/2010</u>
COORDENADAS	<u>-100.2797</u>	,	<u>19.6196</u>	ALTITUD	<u>3200 msnm</u>
COLONIA	<u>Río San Luis</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO PRM4</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>LUVISOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>ENCINO (SECUNDARIA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>		
PENDIENTE	<u>30°</u>	LONGITUD	<u>3200 m</u>	ANCHURA	<u>20 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>8 m</u>				
	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)				
OBSERVACIONES:	<u>Material: Escombros de troncos (Vegetación), rocas de diverso tamaño y suelo parte baja</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>LOCALIDAD-VIALIDAD</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>2000 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS-INFRAESTR</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>TABIQUE</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

<<<Izquierda
 Proceso de
 remoción

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>SDT-Des-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Susceptible Deslizamiento</u>	FECHA	<u>18/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.2340</u>	<u>,</u>	<u>19.4463</u>	ALTITUD	<u>2650 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.		<u>N/A</u>	
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA		<u>N/A</u>	
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO REG_DESLIZ</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>N/A</u>	SUELO	<u>N/A</u>
VEGETACIÓN	<u>N/A</u>	ORIENTACIÓN	<u>N/A</u>
PENDIENTE	<u>28°</u>	LONGITUD	<u>N/A</u>
ANCHURA	<u>N/A</u>		
ALTURA DEL ESCARPE	<u>N/A</u>	PROCESO: ACTIVO () LATENTE (X) RELICTO ()	
OBSERVACIONES:	<u>N/A</u>		

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>N/A</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>N/A</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>N/A</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>N/A</u>
HABITANTES AFECTADOS	<u>N/A</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)	
OBSERVACIONES:	

ESQUEMA IDEALIZADO

Sin datos de Campo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>SDT-Fluj-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Suscep Flujo</u>	FECHA	<u>18/11/203</u>
COORDENADA	<u>-100.2343</u>		<u>19.4451</u>	ALTITUD	<u>2649 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO REG. FLUJO</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>N/A</u>	SUELO	<u>N/A</u>
VEGETACIÓN	<u>N/A</u>	ORIENTACIÓN	<u>N/A</u>
PENDIENTE	<u>21°</u>	LONGITUD	<u>N/A</u>
		ANCHURA	<u>N/A</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>N/A</u>		
	PROCESO: ACTIVO () LATENTE (X) RELICTO ()		
OBSERVACIONES:	<u>N/A</u>		

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>N/A</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>N/A</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>N/A</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>N/A</u>
HABITANTES AFECTADOS	<u>N/A</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>N/A</u>
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)	
OBSERVACIONES:	

ESQUEMA IDEALIZADO

--

Sin datos de Campo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-FluL-2</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Lodo</u>	FECHA	<u>08/04/2010</u>
COORDENADAS	<u>-100.2881</u>	,	<u>19.6250</u>	ALTITUD	<u>2876 msnm</u>
COLONIA	<u>Afluente del Río San Luis</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>Anganguero</u>		
<u>Prueba GUELP 1</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO PRM5. PANDAS No. 15(1) y 16(2).</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>LUVISOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>ENCINO (SECUNDARIA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>		
PENDIENTE	<u>30°</u>	LONGITUD	<u>3200 m</u>	ANCHURA	<u>20 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>8 m</u>	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)			
OBSERVACIONES:	<u>Material predominante: Suelo, arenas y vegetación</u>				

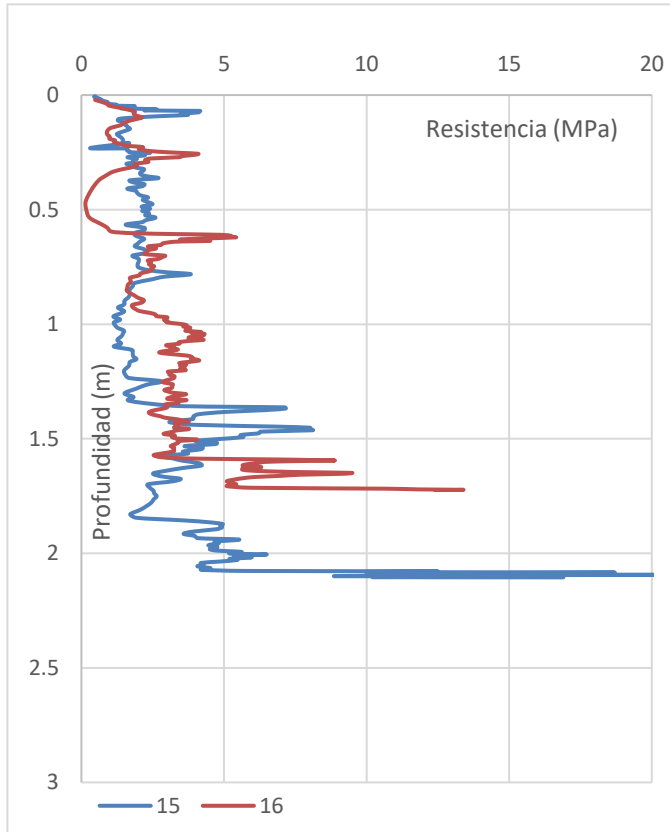
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>LOCALIDAD-VIALIDAD</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>2000 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS-INFRAESTR</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>TABIQUE</u>					
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)					
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

<<<Izquierda
 Proceso de
 remoción

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	1.5478	MPa
PROM(qd) 40cm	2.0273	MPa
PROM(qd)	3.3539	MPa
Profundidad MAX	2.1050	cm
Profundidad MED	1.0280	cm

Descripción:

Las pruebas 1 y 2 se realizaron en puntos con una profundidad del estrato superior de dos metros en promedio, con resistencias variables que denotan la predregosidad del sitio y con un ligero incremento en la resistencia directamente proporcional a la profundidad.

Conductividad hidrahúlica

Cerro el Carmen	No. Prueba Guelp	20 cm		50 cm		Total K (cm/hr)
		Q_s	K	Q_s	K	
	1	1.6E-03	5.7	5.4E-05	0.2	3.0

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-FluE-3</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>07/04/2010</u>
COORDENADA	<u>-100.2815</u>	,	<u>19.6124</u>	ALTITUD	<u>3200 msnm</u>
COLONIA	<u>Río Carrillos</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO PRM6</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>LUVISOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>ENCINO (SECUNDARIA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>W</u>		
PENDIENTE	<u>30°</u>	LONGITUD	<u>3000 m</u>	ANCHURA	<u>20 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>5 m</u>				
	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)				
OBSERVACIONES:	<u>Material: Escombro de troncos (Vegetación), rocas de diverso tamaño y suelo parte baja</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>LOCALIDAD-VIALIDAD</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>2000 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS-INFRAESTR</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>TABIQUE</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO



<<<Izquierda
Proceso de
remoción

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-FluE-4</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>07/04/2010</u>
COORDENADAS	<u>-100.2887</u>	,	<u>19.6177</u>	ALTITUD	<u>2500 msnm</u>
COLONIA	<u>Anganguero</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
	<u>Río Puerco</u>				
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO PRM7</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>LUVISOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>ENCINO (SECUNDARIA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>W</u>		
PENDIENTE	<u>30°</u>	LONGITUD	<u>>3000 m</u>	ANCHURA	<u>20 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>5 m</u>				
	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)				
OBSERVACIONES:	<u>Material: Escombro de troncos (Vegetación), rocas de diverso tamaño y suelo</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>LOCALIDAD-VIALIDAD</u>		
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>2000 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS-INFRAESTR</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>TABIQUE</u>		
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>		
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>		

ESQUEMA IDEALIZADO

<<<Izquierda
 Proceso de
 remoción

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>CM-FluE-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>18/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.217942</u>		<u>19.442861</u>	ALTITUD	<u>2756 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>Sobre Autopista Lengua de Vaca-Zitácuaro</u> <u>Autopista Toluca-Zitácuaro; después de intersección entre carretera y autopista</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>200m al sur de autop.</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU1;</u>		<u>PANDA No.18 (Flujo1:FLUJOUNO)</u>		

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>PUMICITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL-(LUVISOL)</u>		
VEGETACIÓN	<u>B.ENCINO (AILE-HOJOSA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>NE</u>		
PENDIENTE	<u>35°</u>	LONGITUD	<u>350 m</u>	ANCHURA	<u>50 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>N/A</u>				
OBSERVACIONES:	<u>PROCESO: ACTIVO () LATENTE (X) RELICTO ()</u> <u>Material: Desplazamiento de suelo y vegetación (De apariencia remontante)</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u></u>	LOCALIDAD	<u></u>	
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>400 a 600 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS Y COMERCIO</u>	
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>LADRILLO-LOZA-MADERA</u>			
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>	
DIVIDIDOS POR EDADES	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>			
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>			

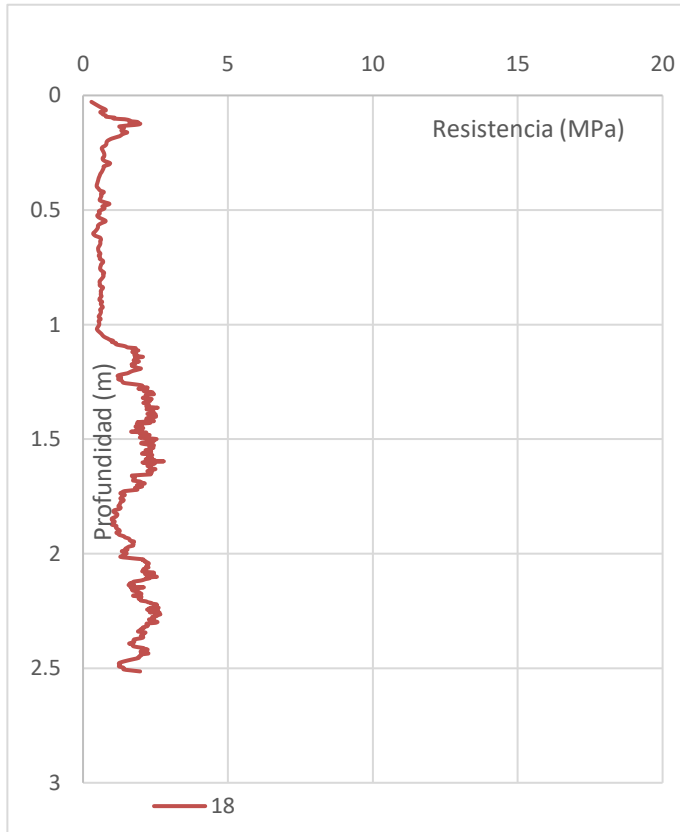
ESQUEMA IDEALIZADO

<<<Izquierda
Cabecera del
Proceso de
remoción

Sondeo de
resistencia a
la
penetración
en la
cabecera del
proceso
Derecha>>>



Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	1.228 MPa
PROM(qd) 40cm	0.682 MPa
PROM(qd)	1.631 MPa
Profundidad MAX	2.514 cm
Profundidad MED	1.506 cm

Descripción:

La prueba se llevó a cabo en un sitio profundo, ya que el sondeo se interrumpió a poco más de 2.5 mts. En el primer metro se observa un estrato de materiales finos, con pocos artefactos de tipo gravoso en su contenido, lo cual es producto de la pedógenes. En una profundidad mayor a 1 mt., la resistencia aumenta para luego descender, los valores del sondeo claramente definen los estratos del suelo, que a mayor profundidad reflejan un mayor contenido de arcillas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>CM-SUDes-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Suscep Deslizamiento</u>	FECHA	<u>18/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.220392</u>		<u>19.448225</u>	ALTITUD	<u>2679 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>La Dieta (Este); Macho de Agua (Suroeste); Roca de la Cañada (Noroeste). Montículo relicto entre carretera y autopista.</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU2;</u>		<u>PANDA No.19 (Flujo2:FLUJODOS)</u>		

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>(PUMICITA) CENIZAS</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓ	<u>INDUCIDA (Seimbra de PINO navideño)</u>	ORIENTACIÓN	<u>NE</u>		
PENDIENTE	<u>13°</u>	LONGITUD	<u>N/A</u>	ANCHURA	<u>N/A</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>6m</u>				
OBSERVACIONES:	<u>PROCESO: ACTIVO () LATENTE () RELICTO (X) Montículo relicto entre la carretera y la autopista</u>				

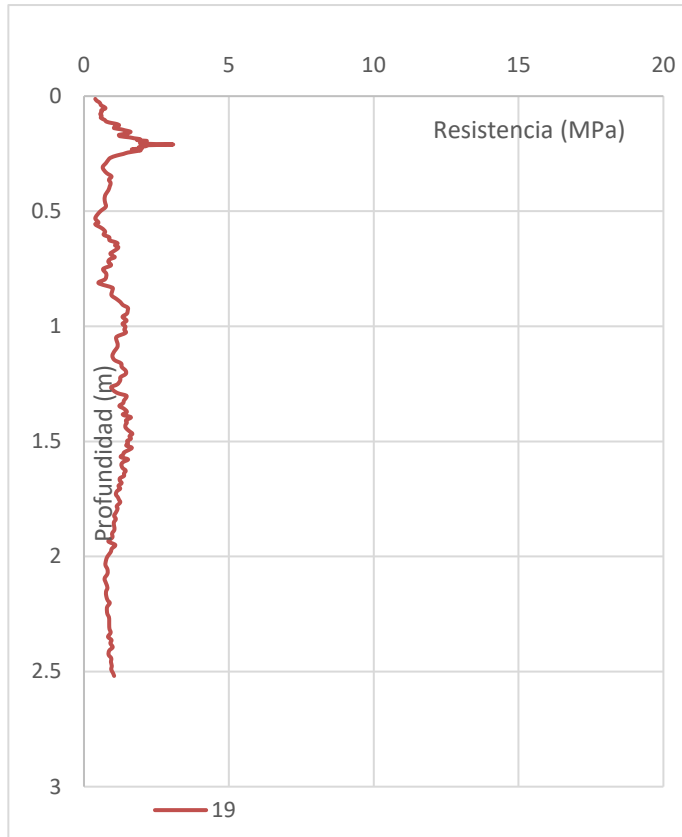
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>20 m</u>	VIALIDADES	<u>AUTOPISTA Y CARRETERA</u>		
DISTANCIA AL INMUEBLE		TIPOS DE INMUEBLES			
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>CARPETA ASFÁLTICA DE LA CARRETERA</u>				
HABITANTES AFECTADC	<u>0</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADES	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:					

ESQUEMA IDEALIZADO

	<p><<<Izquierda Proceso de remoción</p> <p>Sondeo de resistencia a la penetración en la cabecera del proceso</p> <p>Derecha>>></p>	
---	--	---

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	1.103 MPa
PROM(qd) 40cm	1.491 MPa
PROM(qd)	1.146 MPa
Profundidad MAX	2.519 cm
Profundidad MED	1.037 cm

Descripción:

La prueba se llevó a cabo en un sitio profundo, ya que el sondeo se interrumpió a poco más de 2.5 mts. En el primer metro se observa un estrato de materiales finos, con pocos artefactos de tipo gravoso en su contenido. Posterior al metro de profundidad, la resistencia disminuye y se mantiene en valores bajos, por lo que es clara que se trata de un suelo en desarrollo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>CM-FluE-2a</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>18/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.223335</u>		<u>19.448665</u>	ALTITUD	<u>2676 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>A un costado de carretera y autopista</u> <u>Al norte de la carretera y la autopista</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU3; PANDA No.20 (Flujo3:FLUJOTRES)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>TOBA ANDESITICA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>INDUCIDA (PINO), AILE, ENCINO</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>		
PENDIENTE	<u>29°</u>	LONGITUD	<u>120 m</u>	ANCHURA	<u>5 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>0</u>	PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()			
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, arenas, suelo y rocas.</u>				

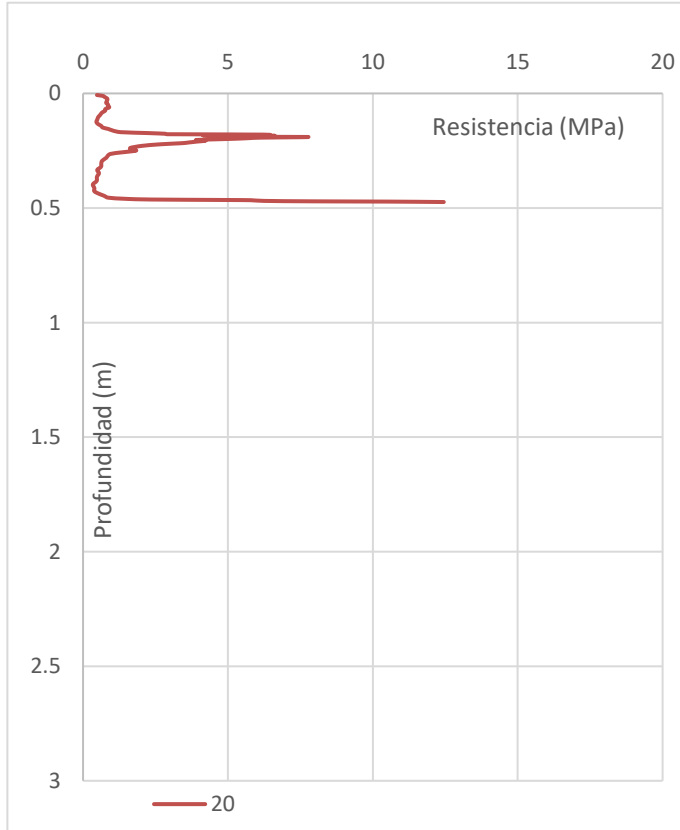
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u></u>	VIALIDADES	<u></u>		
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>5 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>CARRETERA Y AUTOP</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>ASFALTO</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>3</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADES	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u></u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

	<p><<<Izquierda Proceso de remoción</p> <p>Sondeo de resistencia a la penetración n la cabecera del proceso Derecha>>></p>	
---	--	---

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	2.488 MPa
PROM(qd) 40cm	1.747 MPa
PROM(qd)	2.592 MPa
Profundidad MAX	0.474 cm
Profundidad MED	0.195 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un punto con estrato arenoso-limoso delgado, cercano al afloramiento rocoso pues no supera los 0.5 mts. de profundidad, con artefactos de tipo gravoso gruesas en su contenido, que bien puede ser material acumulado o en tránsito de procesos gravitacionales previos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>CM-FluE-2b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>18/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.222875</u>	,	<u>19.448606</u>	ALTITUD	<u>2676 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>Costado norte de carretera y autopista</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU4;</u>		<u>PANDA No.21 (Flujo4:FLUJOCUATRO)</u>		

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

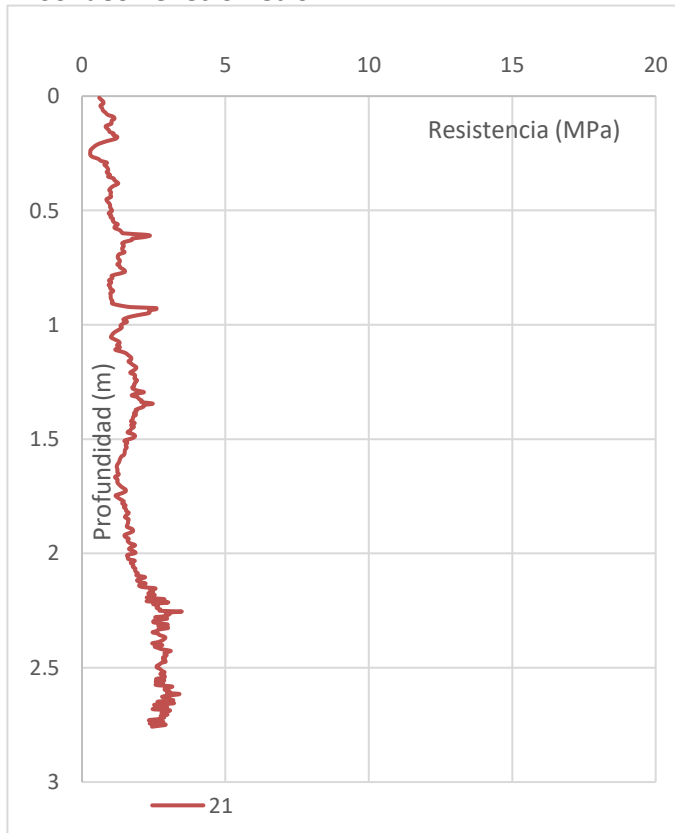
GEOLOGÍA	<u>TOBA ANDESITICA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>INDUCIDA (PINO), AILE, ENCINO</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>		
PENDIENTE	<u>28°</u>	LONGITUD	<u>150 m</u>	ANCHURA	<u>5 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>0</u>				
OBSERVACIONES:	<u>PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()</u> <u>Material: Vegetación, arenas, suelo y rocas.</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDADES</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>5 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>CARRETERA Y AUTOP</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>ASFALTO</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>3</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADES	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:					

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.910 MPa
PROM(qd) 40cm	0.800 MPa
PROM(qd)	1.805 MPa
Profundidad MAX	2.758 cm
Profundidad MED	1.459 cm

Descripción:

La prueba se llevó a cabo en un sitio de suelo bien desarrollado, pues el sondeo superó fácilmente los 2.5 mts. de profundidad; si bien se observan artefactos de tipo gravas en su contenido, estas no son abundantes ni se manifiestan posteriores al metro de profundidad. Cuya resistencia del sondeo aumenta en función de la profundidad.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-Des-1a</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Deslizamiento</u>	FECHA	<u>19/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.181539</u>		<u>19.58051</u>	ALTITUD	<u>2863 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Ejido la Mesa</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>Oeste del camino a la Mesa</u>	REFERENCIA	<u>50m de la carretera</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU5</u>	<u>PANDA No.22 (Desliz1:DESLIZUNO)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

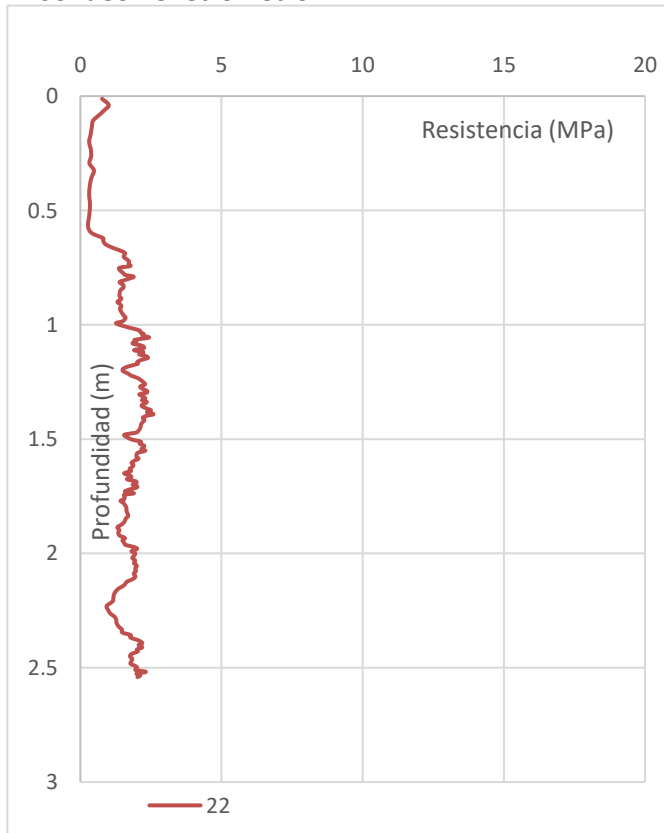
GEOLOGÍA	<u>BRECHA/PIROCLASTOS/ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>PASTIZAL INDUCIDO</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>		
PENDIENTE	<u>25°</u>	LONGITUD	<u>20 m</u>	ANCHURA	<u>100 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>15</u>				
PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()					
OBSERVACIONES:	<u>Material: Suelo, rocas y cultivos.</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDAD-VIVIENDAS</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>200 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>TABIQUE-LAMINA-MADERA</u>					
HABITANTES AFECTADOS	<u>5</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: <u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>					
OBSERVACIONES:					

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.712 MPa
PROM(qd) 40cm	0.369 MPa
PROM(qd)	1.671 MPa
Profundidad MAX	2.541 cm
Profundidad MED	1.438 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un sitio claramente relabrado en superficie, producto de actividad agrícola, pues la resistencia en el primer medio metro es sumamente homogénea y baja; Posterior a esa profundidad se observa un aumento de la resistencia, sin ser demasiado dura, con presencia de artefactos de tipo gravoso gruesos en su contenido, que bien puede ser material acumulado. El sondeo se interrumpe a poco más de 2.5mts.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-Des-1b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Deslizamiento</u>	FECHA	<u>19/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.181669</u>	,	<u>19.580583</u>	ALTITUD	<u>2866 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Ejido la Mesa</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>Oeste del camino a la Mesa</u>	REFERENCIA	<u>50m de la carretera</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU6</u>	<u>PANDA No.23 (Desliz:DESLIZDOS)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>BRECHA/PIROCLASTOS/ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>PASTIZAL INDUCIDO</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>		
PENDIENTE	<u>25°</u>	LONGITUD	<u>20 m</u>	ANCHURA	<u>100 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>15</u>	PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()			
OBSERVACIONES:					

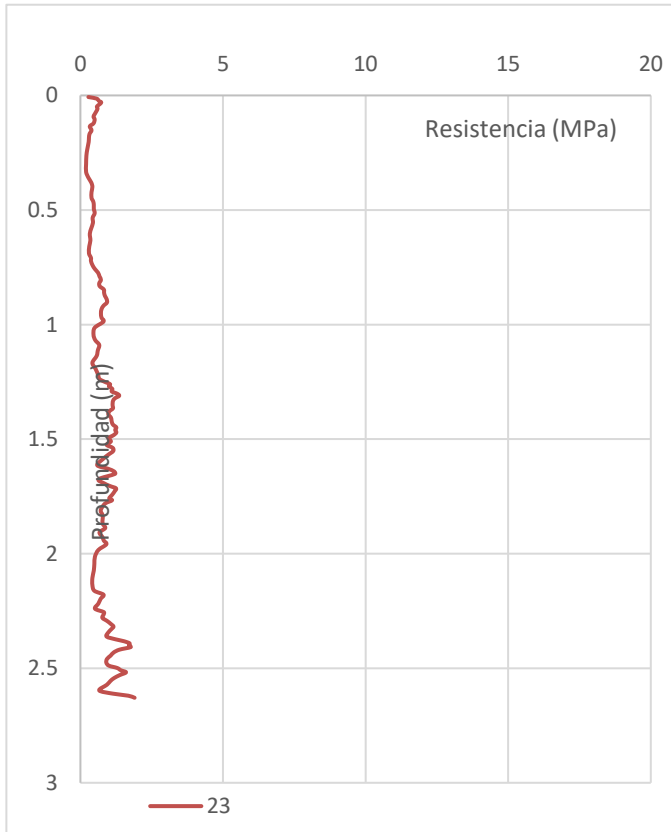
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDAD-VIVIENDAS</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>200 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>TABIQUE-LAMINA-MADERA</u>					
HABITANTES AFECTADOS	<u>5</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)					
OBSERVACIONES:					

ESQUEMA IDEALIZADO

<<<Izquierda
 Zona
 afectada por
 el proceso de
 remoción

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	23.000 MPa
PROM(qd) 40cm	0.494 MPa
PROM(qd)	0.278 MPa
Profundidad MAX	2.629 cm
Profundidad MED	1.399 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un sitio con valores de resistencia muy bajos, producto de suelo labrado por actividad agrícola, pues la resistencia en el primer medio metro es sumamente homogénea y baja; Posterior a esa profundidad se observa un ligero aumento de la resistencia, con presencia de artefactos de tipo arenas gruesas, o agregados de suelo. El sondeo se interumpio a poco mas de 2.5mts. al demostrar gravas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

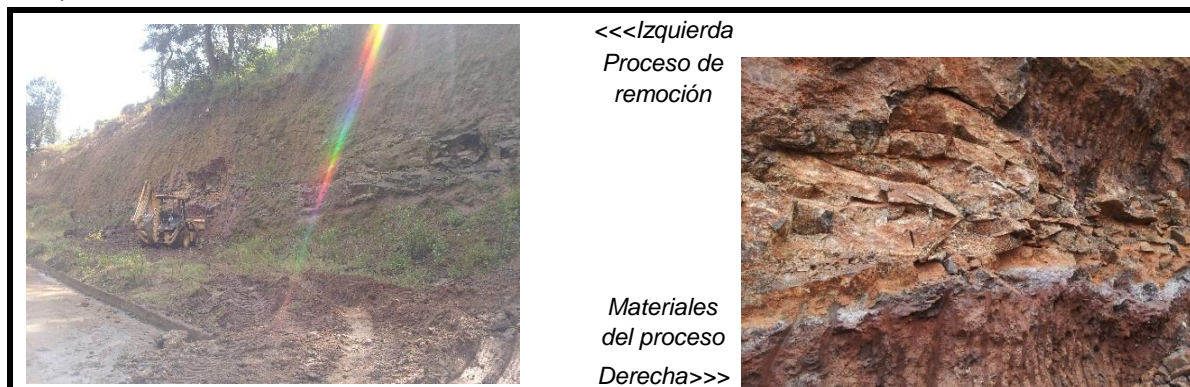
SITIO	<u>ME-Des-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Deslizamiento</u>	FECHA	<u>19/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.181506</u>	,	<u>19.580839</u>	ALTITUD	<u>2845 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Ejido la Mesa</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>Oeste del camino a la Mesa</u>	REFERENCIA	<u>50m de la carretera</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO DESLIZA1</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>BRECHA/PIROCLASTOS/ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>
VEGETACIÓN	<u>PASTIZAL INDUCIDO</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>
PENDIENTE	<u>25°</u>	LONGITUD	<u>20 m</u>
		ANCHURA	<u>100 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>15</u>		
PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()			
OBSERVACIONES:	<u>Inducido por corte de la carretera</u>		

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDAD-VIVIENDAS</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>200 m</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>VIVIENDAS</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>TABIQUE-LAMINA-MADERA</u>
HABITANTES AFECTADOS	<u>5</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE:(0-5, 5-18, 18-65, >65)	
OBSERVACIONES:	

ESQUEMA IDEALIZADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS

Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-Des-1c</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Deslizamiento</u>	FECHA	<u>19/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.18401</u>	,	<u>19.581284</u>	ALTITUD	<u>2863 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO DESLIZA2</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>S/D</u>	SUELO	<u>S/D</u>		
VEGETACIÓN	<u>S/D</u>	ORIENTACIÓN	<u>S/D</u>		
PENDIENTE	<u>16°</u>	LONGITUD	<u>0 m</u>	ANCHURA	<u>0 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>0</u>				
PROCESO: ACTIVO () LATENTE (X) RELICTO ()					
OBSERVACIONES:					

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>S/D</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>S/D</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>S/D</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>0</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)					
OBSERVACIONES:					

ESQUEMA IDEALIZADO

--

Sin datos de Campo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-FluE-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>19/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.201744</u>	,	<u>19.590319</u>	ALTITUD	<u>3035 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Camino al Santuario de la Mesa</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>Camino abajo</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU7</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA INTEMPERIZADA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL (ABIES RELIGIOSA)</u>	ORIENTACIÓN	<u>NE</u>		
PENDIENTE	<u>36°</u>	LONGITUD	<u>130 m</u>	ANCHURA	<u>30 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>10</u>				
PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()					
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>PINO, ENCINO, OYAMEL</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>ECOSISTEMA</u>					
HABITANTES AFECTADOS	<u>2</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)					
OBSERVACIONES:					

ESQUEMA IDEALIZADO

<<<Izquierda
Cabecera del
Proceso de
remoción

Canal de
transporte
del proceso
Derecha>>>



LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-FluE-2</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>19/11/203</u>
COORDENADAS	<u>-100.203761</u>	,	<u>19.590882</u>	ALTITUD	<u>3045 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>Cabecera del PRIM</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU8</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL, ENCINO, CIPRES</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>24°</u>	LONGITUD	<u>150 m</u>	ANCHURA	<u>20 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>2</u>				
PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()					
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDADES-BOSQUE</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>TERRACERIA-BOSQUE</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA</u>					
HABITANTES AFECTADOS	<u>0</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)					
OBSERVACIONES:					

ESQUEMA IDEALIZADO



<<<Izquierda
Proceso de
remoción

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-FluE-2b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>19/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.204138</u>		<u>19.590991</u>	ALTITUD	<u>3059 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Camino a la Mesa</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>Cabecera del PRM</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU8b</u>	<u>PANDA No.24 (Flujo5:FLUJOCINCO)</u>			


CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL, ENCINO, CIPRES</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>24°</u>	LONGITUD	<u>150 m</u>	ANCHURA	<u>20 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>2 m</u>				
PROCESO: ACTIVO (X) LATENTE () RELICTO ()					
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>				

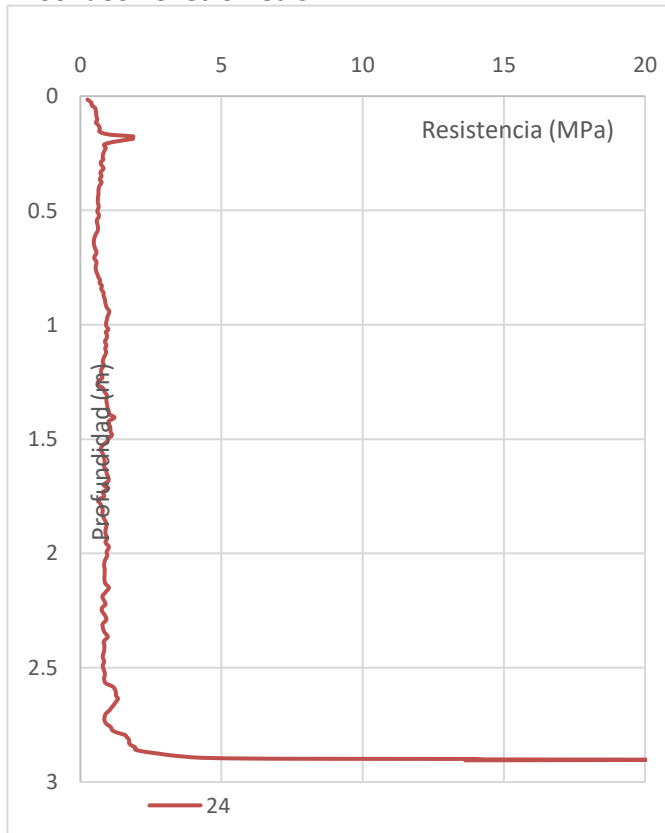
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDADES-BOSQUE</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>TERRACERIA-BOSQUE</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
INFRAESTRUCTURA - ECOSISTEMA					
HABITANTES AFECTADOS	<u>0</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: <u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>					
OBSERVACIONES: <u>Ninguna</u>					

ESQUEMA IDEALIZADO

<p align="center">Sondeo de resistencia a la penetración en la cabecera del proceso Derecha>>></p>	
---	---

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	24.000 MPa
PROM(qd) 40cm	0.845 MPa
PROM(qd)	0.776 MPa
Profundidad MAX	2.905 cm
Profundidad MED	1.448 cm

Descripción:

La prueba se llevó a cabo en un estrato arenoso-limoso profundo pues supera los 2.5 mts. de profundidad, con artefactos en el primer medio metro. Dada la homogeneidad de la prueba, es posible que se trate de una ladera en desarrollo, con predominio de procesos pedogenéticos sobre los morfogenéticos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-FluE-3</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>19/11/2013</u>
COORDENA	<u>-100.207597</u>		<u>19.591039</u>	ALTITUD	<u>3065 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU9</u>	<u>PANDAS No.25 (6) y 26 (Flujo6b)</u>			
<i>La prueba PANDA 6 no fue considerada, ya que presentó una resistencia alta en superficie</i>					

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

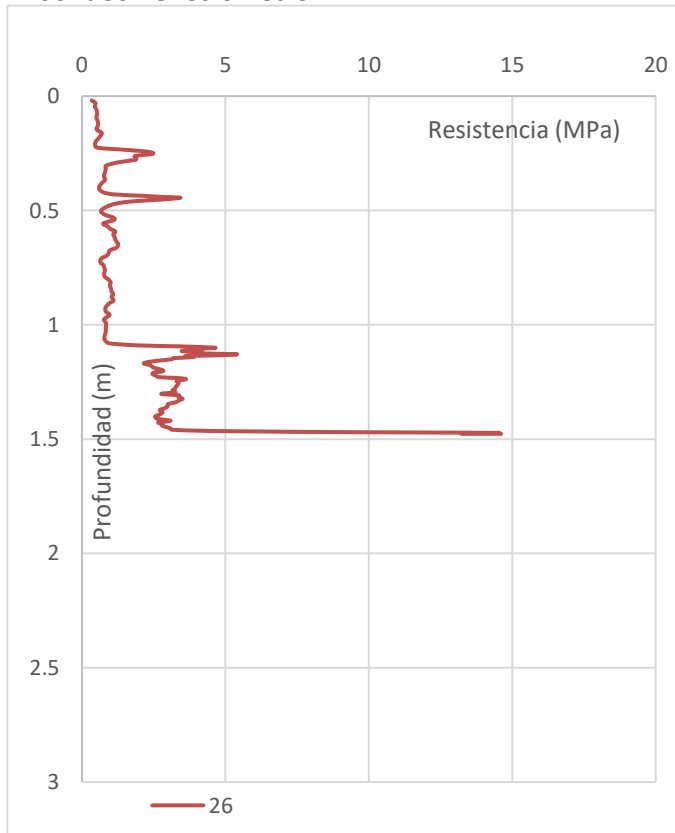
GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>
VEGETACIÓ	<u>OYAMEL, ENCINO</u>	ORIENTACIÓN	<u>W</u>
PENDIENTE	<u>32°</u>	LONGITUD	<u>150 m</u>
ANCHURA	<u>30 m</u>		
ALTURA DEL ESCARPE	<u>5m</u>		
PROCESO: ACTIVO () LATENTE (X) RELICTO ()			
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>		

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDADES-BOSQUE</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>TERRACERIA-BOSQUE</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	
ECOSISTEMA-INFRAESTR	
HABITANTES AFECTADC	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADES	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	26.000 MPa
PROM(qd) 40cm	0.518 MPa
PROM(qd)	1.403 MPa
Profundidad MAX	1.477 cm
Profundidad MED	0.967 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un punto con estrato arenoso-limoso delgado, pues no supera los 1.5 mts. de profundidad, con artefactos de tipo gravoso gruesos en su contenido, que bien puede ser material acumulado o en tránsito de procesos gravitacionales previos.

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-FluE-4</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>19/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.208555</u>	,	<u>19.58912099</u>	ALTITUD	<u>3077msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU10</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>
VEGETACIÓN	<u>ENCINO, OYAMEL</u>	ORIENTACIÓN	<u>W</u>
PENDIENTE	<u>30°</u>	LONGITUD	<u>250 m</u>
ANCHURA	<u>30 m</u>		
ALTURA DEL ESCARPE	<u>5m</u>		
PROCESO:	<u>ACTIVO (x) LATENTE () RELICTO ()</u>		
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>		

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDADES-BOSQUE</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>TERRACERIA-BOSQUE</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA</u>
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>
OBSERVACIONES:	<u>No se realizo prueba PANDA</u>

ESQUEMA IDEALIZADO



LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>RP-FluE-1b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>20/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.236317</u>	,	<u>19.62322979</u>	ALTITUD	<u>3372 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU12 CAB PANDA No.30 (Flujo8b)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA INTEMPERIZADA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL/BOSQUE INDUCIDO</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>28°</u>	LONGITUD	<u>4000 m</u>	ANCHURA	<u>70 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>35 m</u>				
OBSERVACIONES:	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>) <u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>				

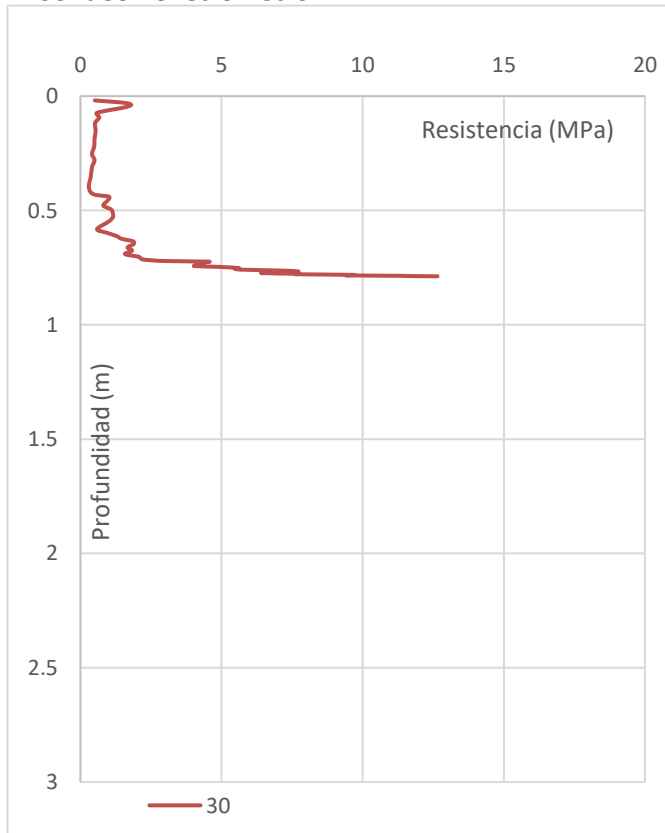
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-VIALIDADES</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE-TERRACERIA</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

Sin datos de Campo

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	30.000 MPa
PROM(qd) 40cm	0.952 MPa
PROM(qd)	0.413 MPa
Profundidad MAX	0.788 cm
Profundidad MED	0.630 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un punto con estrato no consolidado delgado, pues no supera el metro de profundidad, con artefactos de tipo gravoso gruesas en su contenido, que bien puede ser una zona con altos niveles erosivos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-FluE-5</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>19/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.208316</u>	,	<u>19.587197</u>	ALTITUD	<u>3172 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Camino a la Mesa</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU11</u>		<u>PANDAS No.27 y 28 (Flujo7c y 7d)</u>		

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

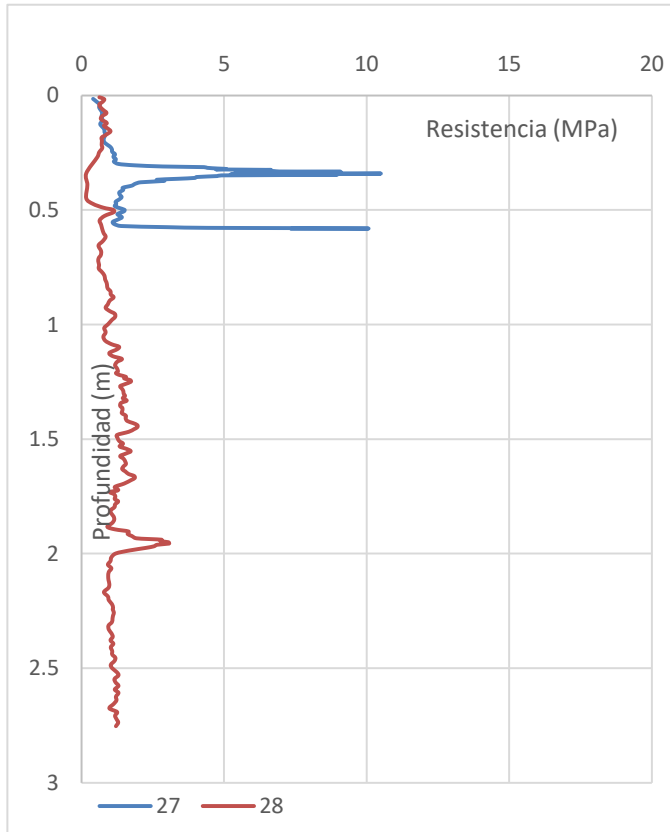
GEOLOGÍA	<u>TEFRA/PIROCRASTOS, CENIZA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>
PENDIENTE	<u>25°</u>	LONGITUD	<u>400 m</u>
		ANCHURA	<u>30 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>15m</u>		
PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)			
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>		

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDADES-BOSQUE</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>TERRACERIA-BOSQUE</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	
ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA	
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.7400	MPa
PROM(qd) 40cm	2.2818	MPa
PROM(qd)	2.0869	MPa
Profundidad MAX	2.7530	cm
Profundidad MED	0.9005	cm

Descripción:

La prueba 27 se realizó en un punto con estrato no consolidado delgado, pues no supera el metro de profundidad, con artefactos de tipo gravoso gruesos en su contenido, que bien puede ser una zona con altos niveles erosivos.

La prueba 28 se llevó a cabo en un estrato profundo ya que supera los 2.5 mts. de profundidad, con artefactos en todo el sondeo, sin que se lograra identificar el estrato rocoso, se suspendió la prueba a los 2.7 mts.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>RP-FluE-1c</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>20/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.235684</u>	,	<u>19.623553</u>	ALTITUD	<u>3363 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU12C</u>	<u>PANDA No.31 (Flujo8c)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA INTEMPERIZADA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL/BOSQUE INDUCIDO</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>28°</u>	LONGITUD	<u>4000 m</u>	ANCHURA	<u>70 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>35 m</u>	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)			
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>				

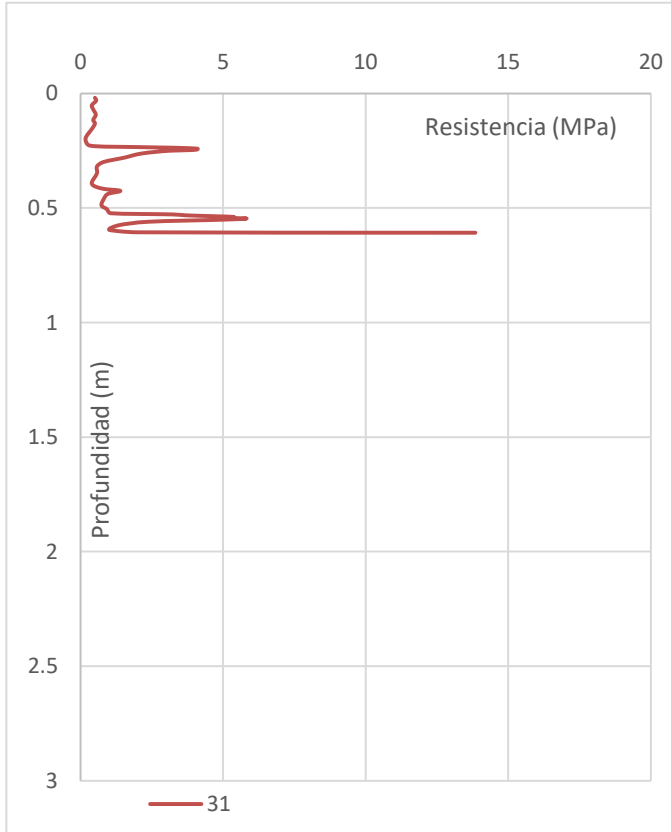
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-VIALIDADES</u>		
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE-TERRACERIA</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE			
<u>ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA</u>			
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE: <u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>			
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>		

ESQUEMA IDEALIZADO

Sin datos de Campo

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.447 MPa
PROM(qd) 40cm	2.097 MPa
PROM(qd)	2.227 MPa
Profundidad MAX	0.608 cm
Profundidad MED	0.319 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un estrato somero, con gravas cerca de la superficie y un estrato rocoso sólido a los 0.6mts. Por lo que este sondeo remuestra que se trata de material en tránsito o procesos gravitacionales anteriores.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ME-FluE-5b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>19/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.208418</u>		<u>19.58720223</u>	ALTITUD	<u>3171 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU11 Sondeos PANDA 7 y 7b DESCARTADOS</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>TEFRA/PIROCRASTOS, GENIZA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL</u>	ORIENTACIÓN	<u>NW</u>		
PENDIENTE	<u>25°</u>	LONGITUD	<u>400 m</u>	ANCHURA	<u>30 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>5 m</u>				
	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)				
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>VIALIDADES-BOSQUE</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>TERRACERIA-BOSQUE</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADES	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

Sin datos de Campo

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>RP-FluE-1d</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>20/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.235296</u>	,	<u>19.62347787</u>	ALTITUD	<u>3363 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU12D</u>	<u>PANDA No.32 (Flujo8d)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITAS</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>28°</u>	LONGITUD	<u>4000 m</u>	ANCHURA	<u>70 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>35 m</u>				
PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)					
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>				

INFRAESTRUCTURA

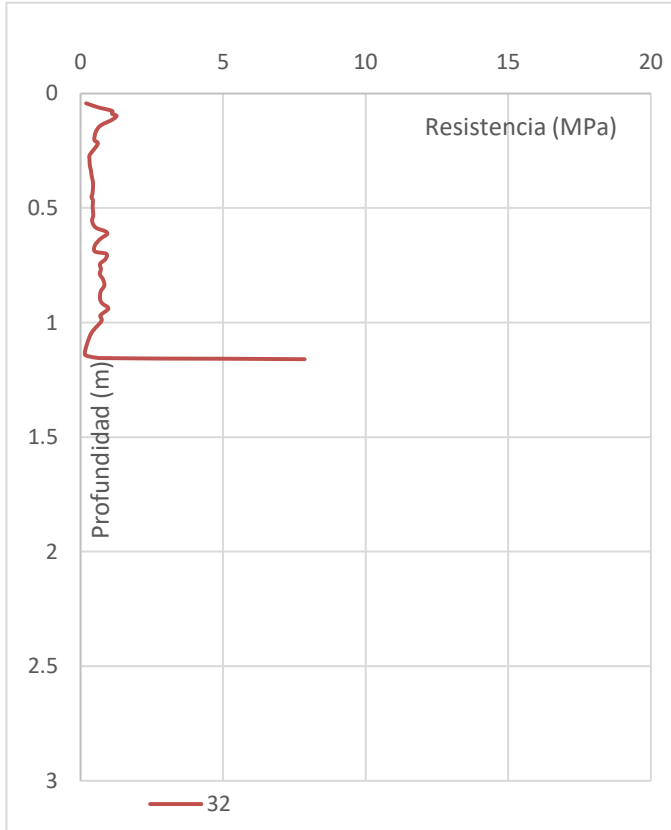
INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-VIALIDADES</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE-TERRACERIA</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA</u>					
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: (0-5, 5-18, 18-65, >65)					
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

--

Sin datos de Campo

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.835 MPa
PROM(qd) 40cm	0.411 MPa
PROM(qd)	0.852 MPa
Profundidad MAX	1.160 cm
Profundidad MED	0.580 cm

Descripción:

La pruebatuvo lugar en un punto con suelo delgado, pues apenas supera el metro de profundidad, debido a que demuestran valores inferiores de resistencia con artefactos de tipo gravoso en su contenido.

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>RP-FluE-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>20/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.23623</u>		<u>19.622955</u>	ALTITUD	<u>3363 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU12</u>	<u>PANDA No.29 (Flujo8)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>CENIZA Y ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>
PENDIENTE	<u>28°</u>	LONGITUD	<u>4000 m</u>
ANCHURA	<u>70 m</u>		
ALTURA DEL ESCARPE	<u>35m</u>		
PROCESO:	<u>ACTIVO (x) LATENTE () RELICTO ()</u>		
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas.</u>		
	<u>Zona de contacto entre toba (Ceniza) y Andesita</u>		

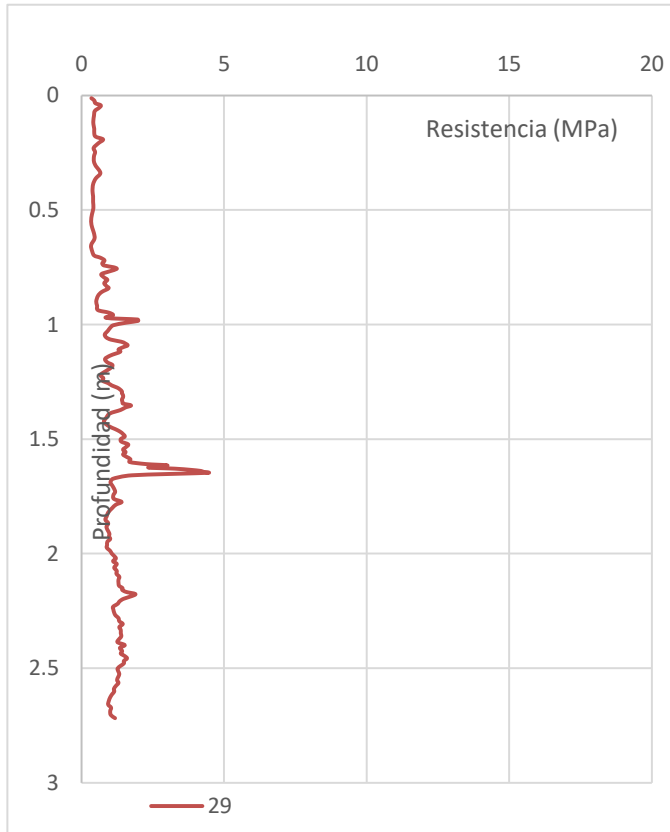
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>NA</u>	BOSQUE-VIALIDADES	<u>TIPOS DE INMUEBLES</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>NA</u>	BOSQUE-TERRACERIA	<u>ECOSISTEMA-INFRAESTRUCTURA</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE			
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>		
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>		

ESQUEMA IDEALIZADO



Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.500 MPa
PROM(qd) 40cm	0.509 MPa
PROM(qd)	1.156 MPa
Profundidad MAX	2.718 cm
Profundidad MED	1.495 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un sitio a profundidad, mismo en el que se puede observar los bajos valores de resistencia, salvo algunos artefactos que incrementan la misma, producto de la pedregosidad de la zona; Se observa un claro aumento de la resistencia poco después del 1.5mts., para aumentar gradualmente en profundidad, sin ser destacable. La muestra se suspendió por encima del 2.5mts.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>CO-FluE-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>20/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.229416</u>	,	<u>19.624217</u>	ALTITUD	<u>3285 msnm</u>
COLONIA	<u>José del Rincón</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Flujo chico</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU13</u>	<u>PANDA No.33 (Flujo9)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

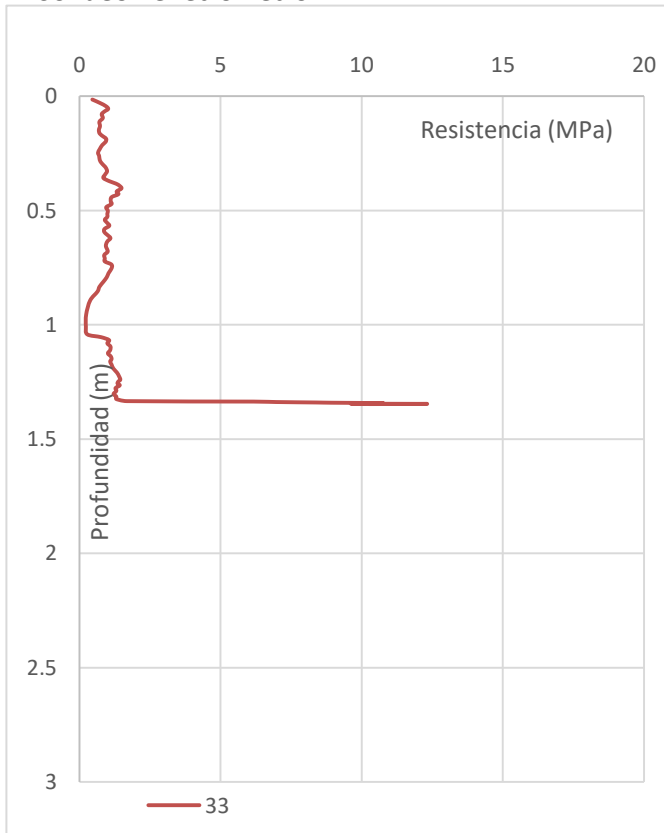
GEOLOGÍA	<u>ANDESITAS INTEMPERIZADAS</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL/REFORESTACION</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>26°</u>	LONGITUD	<u>2000 m</u>	ANCHURA	<u>70 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>15 m</u>				
PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)					
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-VIAL-AGRIC</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE-TERRAC-CULTI</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>ECOSIST-INFRAESTRUCTURA-AGRICOLA</u>					
HABITANTES AFECTAD	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: <u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>					
OBSERVACIONES: <u>Ninguna</u>					

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.794 MPa
PROM(qd) 40cm	0.911 MPa
PROM(qd)	1.668 MPa
Profundidad MAX	1.347 cm
Profundidad MED	0.664 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un punto con estrato no consolidado con artefactos de tipo gravoso gruesos en su contenido, y oquedades que bien puede ser una zona con altos niveles erosivos. El lecho rocoso se ubica a poco más de 1.3 mts.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>CO-FluE-1b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>20/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.229442</u>	,	<u>19.624644</u>	ALTITUD	<u>3297 msnm</u>
COLONIA	<u>José del Rincón</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Flujo chico</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU13 CAB PANDA No.34 (Flujo9b)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL/REFORESTACION</u>	ORIENTACIÓN	<u>E</u>		
PENDIENTE	<u>26°</u>	LONGITUD	<u>2000 m</u>	ANCHURA	<u>70 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>15 m</u>				
PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)					
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas</u>				

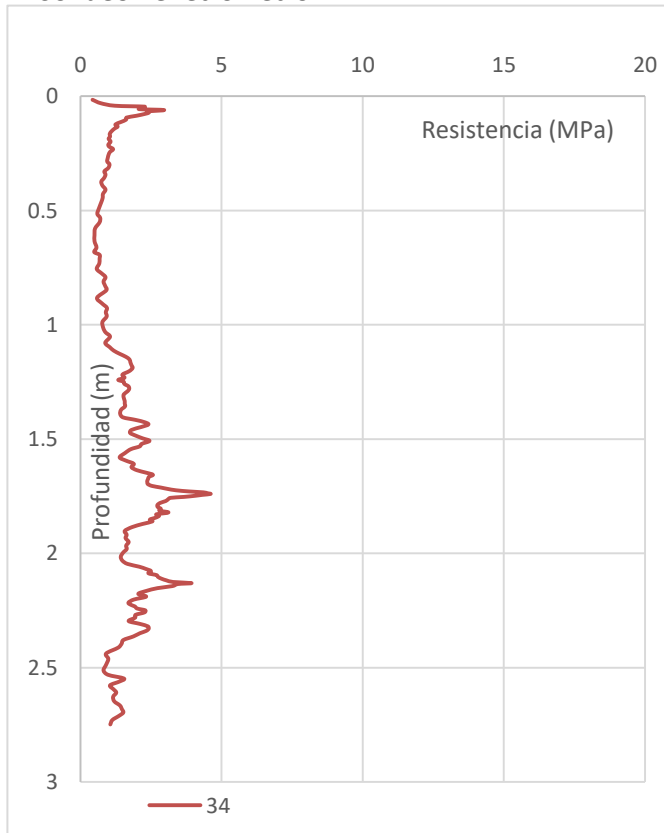
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-VIAL-AGRIC</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE-TERRAC-CULTI</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE					
<u>ECOSIST-INFRAESTRUCTURA-AGRICOLA</u>					
HABITANTES AFECTAD	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE: <u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>					
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

<i>Sin datos de Campo</i>

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	1.578 MPa
PROM(qd) 40cm	0.947 MPa
PROM(qd)	1.760 MPa
Profundidad MAX	2.748 cm
Profundidad MED	1.538 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un sitio a profundidad, mismo en el que se puede observar los bajos valores de resistencia, donde la presencia de artefactos incrementan la misma a lo largo del sondeo, producto de la pedregosidad de la zona; Se observa un claro aumento de la resistencia poco después del 1.5mts., para aumentar gradualmente en profundidad, sin ser destacable. La muestra se suspendió por encima del 2.5mts.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-SUFlu-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Suscep Flujo</u>	FECHA	<u>20/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.289121</u>	,	<u>19.625634</u>	ALTITUD	<u>2881 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Collado del Cerro de Guadalupe</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO Suscep1</u>	<u>PANDA No.40 (Suscep1)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

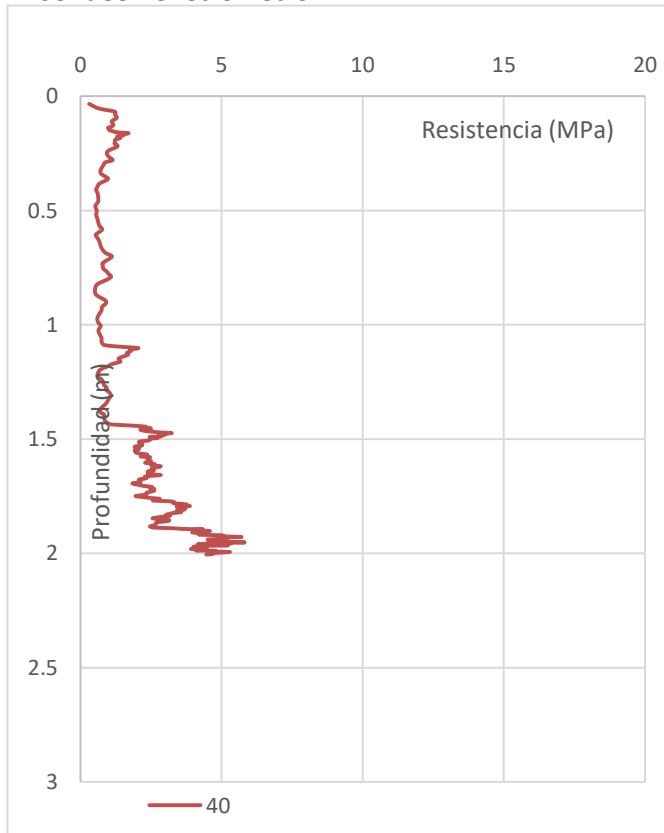
GEOLOGÍA	<u>ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>PINO, ENCINO</u>	ORIENTACIÓN	<u>NE</u>		
PENDIENTE	<u>32°</u>	LONGITUD	<u>>400 m</u>	ANCHURA	<u>50 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>0 m</u>				
OBSERVACIONES:	<u>PROCESO: ACTIVO (x) LATENTE () RELICTO ()</u> <u>Susceptibilidad alta</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>AGRICULTURA</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>30 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>CULTIVOS</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>CULTIVOS</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	1.174 MPa
PROM(qd) 40cm	0.942 MPa
PROM(qd)	2.295 MPa
Profundidad MAX	2.005 cm
Profundidad MED	1.535 cm

Descripción:

La prueba se llevó a cabo en un punto con estrato relativamente profundo, quizá con desarrollo de arcillas, ya que se realizó en la cumbre de las montañas que integran la región, específicamente en un collado, pues casi llega a los 2 mts. de profundidad, con artefactos de tipo gravoso gruesos en su contenido, que bien puede ser material acumulado en tránsito o producto de procesos gravitacionales previos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ER-FluE-1</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>21/11/2013</u>
COORDENADA	<u>-100.257424</u>		<u>19.594508</u>	ALTITUD	<u>3380 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
<u>Camino al Santuario del Rosario</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU15</u>	<u>PANDA No.35 (Flujo11)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA (PIRITIZACION?)</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL</u>	ORIENTACIÓN	<u>SW</u>
PENDIENTE	<u>36°</u>	LONGITUD	<u>900 m</u>
		ANCHURA	<u>50 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>1 m</u>		
PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)			
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas</u>		

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-TURISMO-AGRIC</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>1500 m</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE-NEGOCIOS</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>MADERA-CULTIVOS</u>
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>

ESQUEMA IDEALIZADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ZONIFICACION DE PELIGRO POR INESTABILIDAD DE LADERAS
Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ER-FluE-1b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>21/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.257313</u>	,	<u>19.594859</u>	ALTITUD	<u>3402 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU15 CAB PANDA No.36 (Flujo11b)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

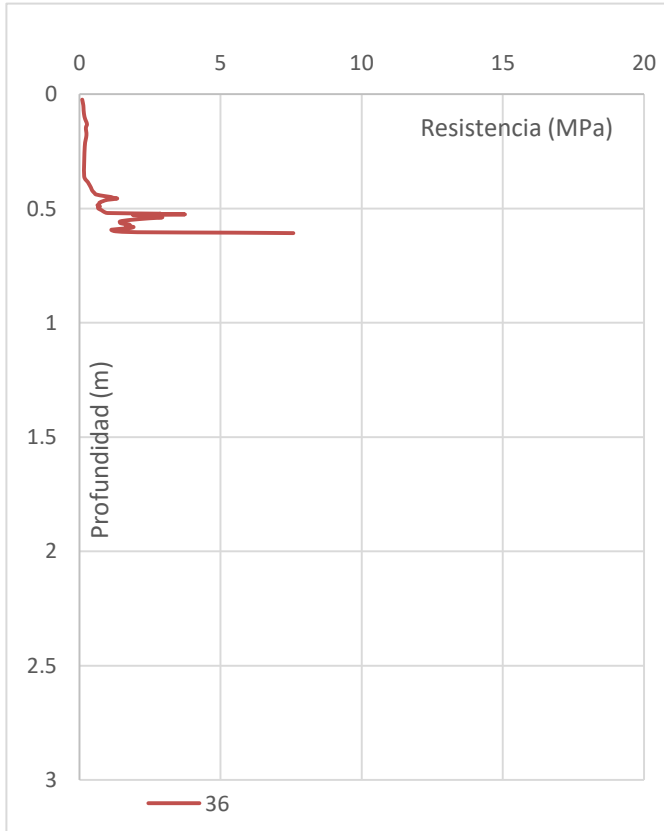
GEOLOGÍA	<u>ANDESITA (PIRITIZACION?)</u>	SUELO	<u>ANDOSOL HUMICO</u>		
VEGETACIÓN	<u>OYAMEL</u>	ORIENTACIÓN	<u>SW</u>		
PENDIENTE	<u>36°</u>	LONGITUD	<u>>900 m</u>	ANCHURA	<u>50 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>1 m</u>				
OBSERVACIONES:	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>) <u>Material: Vegetación, suelo y rocas</u>				

INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-TURISMO-AGRIC</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>1500 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>MADERA-CULTIVOS</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.194 MPa
PROM(qd) 40cm	0.220 MPa
PROM(qd)	1.370 MPa
Profundidad MAX	0.608 cm
Profundidad MED	0.493 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un punto con estrato arenoso-limoso delgado, cerca del afloramiento rocoso, pues apenas supera los 0.5 mts. de profundidad, lo que indica que esta es una zona con altos niveles erosivos.

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>ER-FluE-1c</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>21/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.257278</u>		<u>19.594469</u>	ALTITUD	<u>3401 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.			<u>N/A</u>
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA			<u>N/A</u>
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU15b PANDA No.37 (Flujo11c)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>ANDESITA (PIRITIZACION?)</u>	SUELO		ALTERACION	
VEGETACIÓN	<u>SECUNDARIA</u>	ORIENTACIÓN		<u>SW</u>	
PENDIENTE	<u>40°</u>	LONGITUD	<u>900 m</u>	ANCHURA	<u>50 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>1 m</u>				
	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)				
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas</u>				

INFRAESTRUCTURA

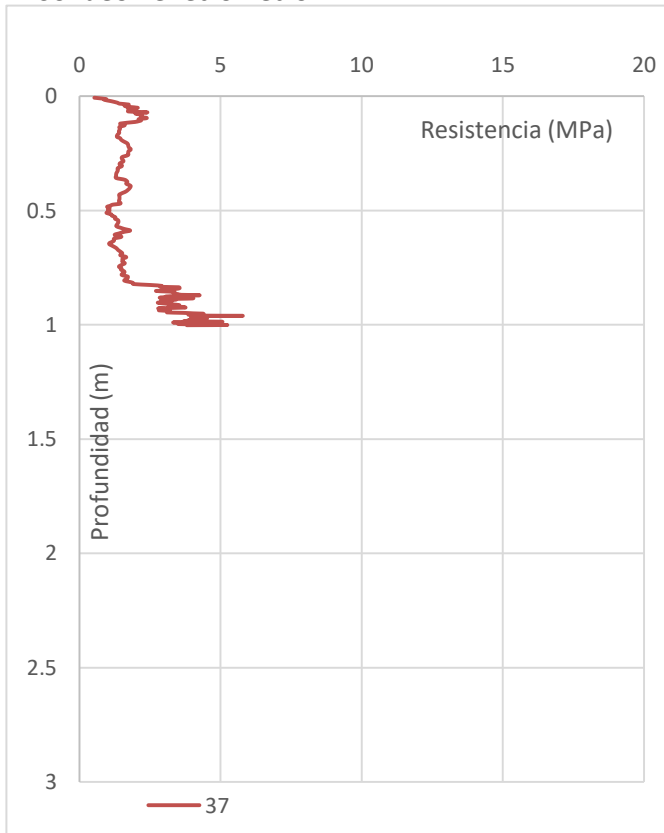
INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>BOSQUE-TURISMO-AGRIC</u>				
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>1500 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>BOSQUE-NEGOCIOS</u>		
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>MADERA-CULTIVOS</u>				
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>		
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>				
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>				

ESQUEMA IDEALIZADO

--

Sin datos de Campo

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.787 MPa
PROM(qd) 40cm	1.410 MPa
PROM(qd)	2.376 MPa
Profundidad MAX	1.002 cm
Profundidad MED	0.704 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un punto con estrato arenoso-limoso delgado, pues no supera el metro. de profundidad, con gran contenido de artefactos de tipo gravoso gruesas en su contenido, que bien puede ser material acumulado o en tránsito de procesos gravitacionales previos.

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-FluE-2</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>21/11/2013</u>
COORDENADAS	<u>-100.257278</u>	,	<u>19.594469</u>	ALTITUD	<u>2947 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>La Salud- San Antonio</u>		
<u>Camino a San Antonio</u>					
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU16</u>	<u>PANDA No.38 (Flujo12)</u>			

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>TOBA ANDESITICA/ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>		
VEGETACIÓN	<u>CULTIVOS</u>	ORIENTACIÓN	<u>W</u>		
PENDIENTE	<u>34°</u>	LONGITUD	<u>200 m</u>	ANCHURA	<u>15 m</u>
ALTURA DEL ESCARPE	<u>7 m</u>	PROCESO: ACTIVO (<input checked="" type="checkbox"/>) LATENTE (<input type="checkbox"/>) RELICTO (<input type="checkbox"/>)			
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas</u>				

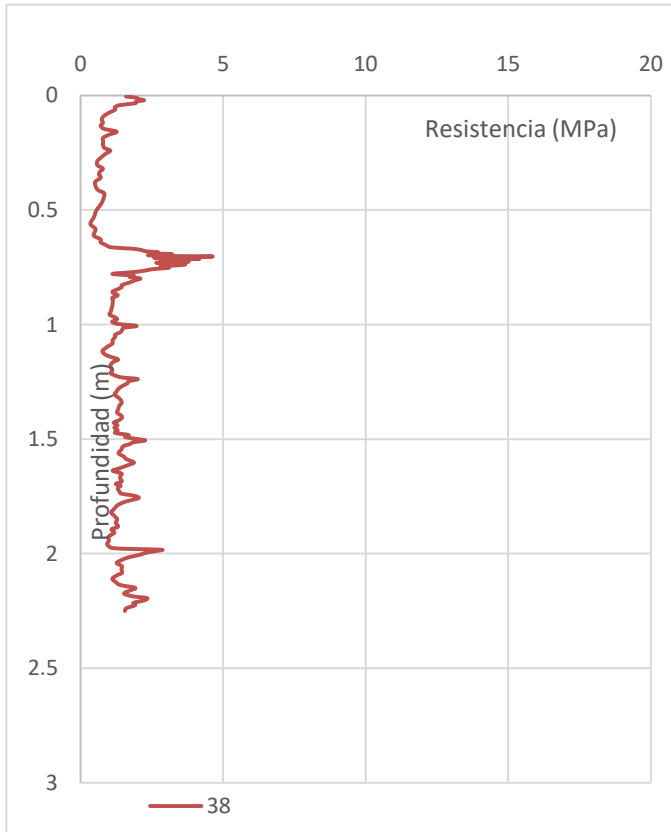
INFRAESTRUCTURA

INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>AGRICULTURA</u>		
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>	TIPOS DE INMUEBLES	<u>CULTIVO (AVENA)</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>CULTIVO</u>		
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>	DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>		
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>		

ESQUEMA IDEALIZADO



Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	1.309 MPa
PROM(qd) 40cm	0.727 MPa
PROM(qd)	1.514 MPa
Profundidad MAX	2.250 cm
Profundidad MED	1.076 cm

Descripción:

La prueba 38 se llevó a cabo en un estrato profundo ya que supera los 2.0 mts. de profundidad, en el primer medio metro se observan los valores mas bajos, producto de las labores de labranza del mismo, posteriormente la resistencia aumenta, sin llegar a ser de consideración con artefactos en todo el sondeo, sin que se lograra identificar el estrato rocoso. Se suspendió la prueba a los 2.2mts.

LOCALIZACIÓN

SITIO	<u>PA-FluE-2b</u>	TIPO DE PROCESO	<u>Flujo Escombros</u>	FECHA	<u>21/11/2013</u>
COORDENADA	<u>-100.300599</u>		<u>19.592205</u>	ALTITUD	<u>2946 msnm</u>
COLONIA	<u>N/A</u>	DIRECCIÓN APROX.	<u>N/A</u>		
ENTRE LAS CALLES	<u>N/A</u>	REFERENCIA	<u>N/A</u>		
OBSERVACIONES:	<u>SITIO CAMPO FLU16b PANDA No.39 (Flujo12b)</u>				

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

GEOLOGÍA	<u>TOBA ANDESITICA/ANDESITA</u>	SUELO	<u>ANDOSOL</u>
VEGETACIÓN	<u>CULTIVOS</u>	ORIENTACIÓN	<u>W</u>
PENDIENTE	<u>34°</u>	LONGITUD	<u>200 m</u>
ANCHURA	<u>15 m</u>		
ALTURA DEL ESCARPE	<u>7 m</u>		
PROCESO:	<u>ACTIVO (x) LATENTE () RELICTO ()</u>		
OBSERVACIONES:	<u>Material: Vegetación, suelo y rocas</u>		

INFRAESTRUCTURA

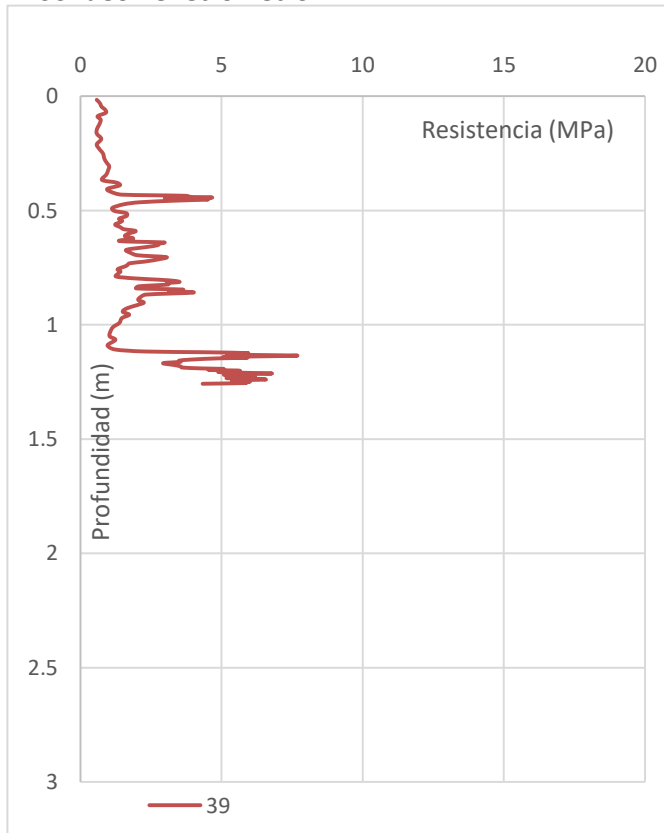
INFRAESTRUCTURA VULNERABLE	<u>AGRICULTURA</u>
DISTANCIA AL INMUEBLE	<u>0 m</u>
TIPOS DE INMUEBLES	<u>CULTIVO (AVENA)</u>
MATERIALES DE CONSTRUCCION DEL INMUEBLE	<u>CULTIVO</u>
HABITANTES AFECTADOS	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR SEXO	<u>S/D</u>
DIVIDIDOS POR EDADE:	<u>(0-5, 5-18, 18-65, >65)</u>
OBSERVACIONES:	<u>Ninguna</u>

ESQUEMA IDEALIZADO

--

Sin datos de Campo

Sondeo Penetrómetro PANDA



Resistencia dinámica de punta

PROM(qd) 20cm	0.701 MPa
PROM(qd) 40cm	0.926 MPa
PROM(qd)	2.884 MPa
Profundidad MAX	1.258 cm
Profundidad MED	0.811 cm

Descripción:

La prueba se realizó en un punto con estrato arenoso-limoso delgado, pues no supera los 1.3 mts. de profundidad, con artefactos de tipo gravoso gruesas en su contenido, que bien puede ser material acumulado o en tránsito de procesos gravitacionales previos.