

CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS GRAVITACIONALES EN DIFERENTES AMBIENTES GEOLÓGICOS DE CHIAPAS, MÉXICO

Jorge Antonio Paz Tenorio¹, Raúl González Herrera¹,
Mario Gómez Ramírez², José Armando Velasco Herrera¹

¹ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, 1ra norte-poniente No 1460,
Tuxtla Gutiérrez. jorge.paz@unicach.mx.

² Universidad Veracruzana, Av. Xalapa, esq. Ávila Camacho s/n,
Xalapa Enríquez, Veracruz

Para citar este artículo:

Gómez, M., González, R., Paz, J. y Velasco, J. (2016) Caracterización de procesos gravitacionales en diferentes ambientes geológicos de Chiapas, México. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 116-130. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a08

RESUMEN

Los procesos gravitacionales (PG) son fenómenos naturales que generan formas de relieve degradativo en las zonas de desprendimiento de material (por ejemplo, los circos de erosión), algunas veces acumulativos (como los depósitos de talud), por lo que modifican y modelan el entorno geográfico. Ante la falta de estudios integrales previos, así como de una planeación gubernamental, es frecuente que estos procesos afecten asentamientos humanos, en ocasiones con pérdidas de vidas humanas, daños a infraestructura, vías de comunicación y zonas productivas, entre otras.

Existen diferentes tipos de movimiento que varían en su geometría, velocidad y contenido de agua, así mismo, estos procesos cada vez son más frecuentes y varían sus efectos destructivos. Por ende, hoy día se han diseñado métodos de clasificación y estudio para estos procesos, para el año 2006, el Centro Nacional de Prevención de Desastres empleó una propuesta que considera tres tipos y nueve subtipos de PG (Alcántara *et al.* 2006).

Por lo anterior, este trabajo se enfoca a la caracterización de distintos sitios en donde se presentan PG, y se asocian a los ambientes geológicos en los que se localizan como las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, en diferentes zonas del estado de Chiapas.

Factores externos como el intemperismo y la erosión, afectan de manera distinta al tipo de roca, por lo que es importante conocer la clasificación de acuerdo a su origen. Por ejemplo, en calizas predomina el intemperismo químico, cuyo fracturamiento favorece el desprendimiento de bloques. En depósitos de talud se presentan deslizamientos o flujos.

Grandes bloques de origen intrusivo presentan un intemperismo físico-esferoidal, mismos que al ser descubiertos por la erosión, ruedan de las partes altas alcanzando distancias considerables.

El tipo de roca, sumado a otros elementos ambientales y antrópicos mantiene una estrecha relación con la manifestación de los PG. El empleo de cartografía básica y temática, así como otras aplicaciones en línea, brindan información que debe ser complementada con recorridos en campo, para tener mayor certeza en la caracterización del sitio y generar cartografía de amenazas, e inferir los efectos negativos de estos procesos en zonas que presenten condiciones semejantes.

Palabras clave

Amenaza, gestión del riesgo, procesos gravitacionales, vulnerabilidad.

GRAVITATIONAL PROCESSES CHARACTERIZATION OF DIFFERENT GEOLOGICAL ENVIRONMENTS IN CHIAPAS, MEXICO

— *Abstract* —

The gravitational processes (GP) are natural phenomena that generate forms of degradative relief in areas of material removal (for example, the erosion cirques), cumulative sometimes (such as slope deposits), so that change and shape the geographical environment.

In the absence of previous comprehensive studies, as well as a government planning it is common that these processes affecting human settlements, sometimes with loss of life, damage to infrastructure, roads and productive areas, among others.

There are different types of movement that vary in their geometry, speed and water content, likewise, these processes are becoming more frequent and vary their destructive effects. Therefore, today are designed methods of classification and study for these processes, for the year 2006, the National Center of disaster prevention employment a proposal that considers three types and nine subtypes of GP.

Therefore, this work focuses on the characterization of different sites where they occur GP, and are associated with geological environments in which they are located, such as igneous, sedimentary and metamorphic rocks, in different areas of the state of Chiapas.

External factors such as weathering and erosion, affect the type of rock different way, so it is important to know the classification according to their origin. For example, predominantly limestone chemical weathering, which fracturing, favors the rockfall. In deposits of landslides or slope flows are presented.

Large blocks of intrusive origin present a physical-spheroidal weathering, themselves that being discovered by erosion, high and roll the elevations reaching considerable distances.

The type of rock, together with other environmental and anthropic elements has a close relationship with the manifestation of the GP.

The use of basic and thematic mapping, and other online applications, provide information that should be complemented with field trips, in order to have greater certainty in the characterization of the site and generate mapping of threats, and infer the negative effects of these processes areas subject to similar conditions.

Keywords

Hazard, risk management, gravitational processes, vulnerability.

De acuerdo a la Estrategia Internacional para Reducción de Desastres de Naciones Unidas (UNISDR, 2009), la amenaza es «un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa 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». Las amenazas en general son un problema complejo con dimensiones múltiples.

En cuanto a vulnerabilidad, se define como «las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza» (UNISDR, 2009). Wilchex- Chaux (1993) sugiere que la vulnerabilidad global tiene nueve dimensiones: física, económica, social, educativa, política, institucional, cultural, ambiental e ideológica.

Por otra parte, la Gestión del riesgo se define como «el enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales» (UNISDR, 2009).

Generalmente, en un escenario desastre, estas dimensiones se manifiestan simultáneamente en diferentes grados. Los PG representan una amenaza poco estudiada en el estado de Chiapas, si bien se presentan uno o dos eventos de importancia al año (Paz *et al.*, 2011), en la actualidad la atención se sigue centrando en el desastre. Cuando se presenta, no existen planes de contingencia eficientes que apoyen a la población, a pesar de tener conocimiento de eventos anteriores en la zona. Lo cual, sumado a otras variables socioeconómicas, aumentan peligrosamente su vulnerabilidad en el tiempo, haciendo de la gestión del riesgo una labor ausente o incipiente. Para su estudio, uno de los instrumentos básicos es la integración de un inventario, esto permitirá conocer sitios en donde se han presentado y ofrecerá un referente histórico para el caso de recurrencia.

Dictámenes de desalojo o de cambio de uso del suelo, con las consecuentes restricciones, han sido medidas radicales impuestas que no abonan a una gestión eficiente del riesgo. Una causa es la falta de trabajo inter y multidisciplinario integral, situación en la que la Protección Civil institucionalizada y la labor académica divergen, adicionando un elemento más a esta realidad, de por sí compleja.

En este trabajo, se registran ocho casos sobre Procesos Gravitacionales ocurridos en diferentes ambientes geológicos en la parte norte, centro y centro-sur del estado. Se aborda el aspecto litológico como uno de los condicionantes de estos eventos, y las lluvias y actividad humana como principales detonadores.

IMPORTANCIA DE LA NATURALEZA GEOLÓGICA DEL TERRENO

Como afirman Lugo *et al.*, (2005) «Sharpe (1938), Varnes (1958, 1978), Záruba y Mencl (1969), Crozier (1986) y Dikauet al. (1996), se consideran entre los factores principales la influencia del agua superficial y subterránea, la litología, la estructura geológica y el relieve». Por su parte, Alcántara y Murillo (2008), proponen una metodología para integrar un inventario de PG, en donde la geología del sitio es el segundo factor de importancia, después de la hidrología.

Muñíz y Hernández (2012) colocan a la litología como el primer factor a considerar en la metodología para zonificación de PG en Puerto Vallarta, Jalisco. Además el tipo de roca, el control estructural por planos de estratificación, fallas y diaclasas, son determinantes en el comportamiento de estos movimientos.

FACTORES DETONANTES

Las lluvias, junto con sismos o erupciones volcánicas, se consideran como detonantes de los procesos gravitacionales (Mayorga, 2003; Alcántara *et al.*, 2006) citados por Aristizábal, (2010). En los sitios visitados, se combinan las lluvias con cortes de talud para construcción de carreteras o nivelación de terrenos para edificación de viviendas.

ANTECEDENTES

A partir de recorridos previos durante ocho años, se identificaron sitios de interés para el estudio de los PG. Estos han sido visitados en diferentes ocasiones a partir de 2009 con grupos de estudiantes como parte de prácticas de la materia de Geomorfología o bien para la elaboración de su protocolo de tesis. En mayo de 2013, se propusieron algunos de estos sitios para realizar un recorrido con geólogos del INEGI, encargados de diseñar un Modelo de Susceptibilidad a Movimientos en Masa. En julio del mismo año, como parte del curso Forensic Investigations of Disasters, organizado, entre otras instituciones por el Centro de Investigaciones en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, de la UNICACH, se conoció la metodología de Causas de Fondo (IRD-FORIN, 2011) y se realizó trabajo de campo en la ladera sur de Tuxtla Gutiérrez.

METODOLOGÍA

Con el conocimiento previo de 12 sitios, se eligieron 8 para ser caracterizados en esta investigación, mismos que permiten conocer el complejo comportamiento de los PG en distintos ambientes geológicos y bajo condiciones diversas de ocupación.

La geología se obtuvo a través de la información Geológica de la Serie I en formato digital, elaborada por INEGI (1984), y complementada con las observaciones en campo. El software empleado fue el mapa digital de escritorio ver. 5.1 (INEGI) y ArcMap ver 9.3 (ESRI). Las coordenadas geográficas se registraron en campo con navegador Garmin ETrex Vista, en formato de grados, minutos y segundos. Para estimación de distancias por carretera y a otros puntos de referencia, se utilizó Google Earth ver. 7.1.1.1888.

CASOS

Ocho casos registrados en diferentes condiciones geológicas, principalmente de las zonas norte, centro y centro-sur del estado (Mapa 1), resaltan la importancia de la geología como uno de los elementos determinantes o condicionantes. La mayoría, por sus dimensiones, solo es posible representarlos de manera puntual en las escalas convencionales que genera el INEGI 1:50 000, ya que no cumplen con el área mínima cartografiable (AMC) (Paz, 2012).

Mapa 1. Ubicación de los casos estudiados

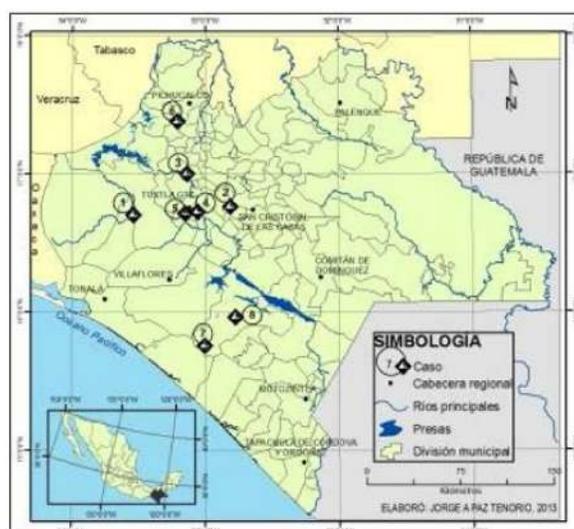


Foto 1. Autopista Ocozocoutla-Arriaga. Paz, 2013



Caso 1. Autopista Ocozocoutla-Arriaga (190 D) (Foto 1). Ubicación: km 25 ($16^{\circ}41'54.36''$ N, $93^{\circ}32'32.56''$ W). (Foto 1). La zona corresponde al contacto de dos unidades: lutita-arenisca del Triásico-Jurásico y caliza-lutita del Cretácico inferior.

Se trata de un talud realizado para el paso de la autopista mencionada. A 25 m al norte, y a 20 m sobre este nivel, se encuentra la carretera Panamericana (190) Tuxtla Gutiérrez-Tapanatepec, Oaxaca.

El corte provocó agrietamientos y desniveles en esta última, y desprendimiento de material que invadió el carril sentido Arriaga-Ocozocoutla. Estos fragmentes se adicionaron, otros acarreados por camiones de carga, con la finalidad de estabilizar el PG con el sistema de contrapeso. Sin embargo, esquematizando el movimiento, el sitio ideal para que el contrapeso funcione se encuentra al otro lado de la autopista (Paz, 2014).

A tres años de la activación del movimiento, no se ha controlado adecuadamente. Las medidas correctivas implementadas son bermas, concreto lanzado para evitar filtraciones, el cual presenta agrietamientos, y geomembrana para facilitar la revegetación.

Foto 2. Autopista Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal. Paz, 2013



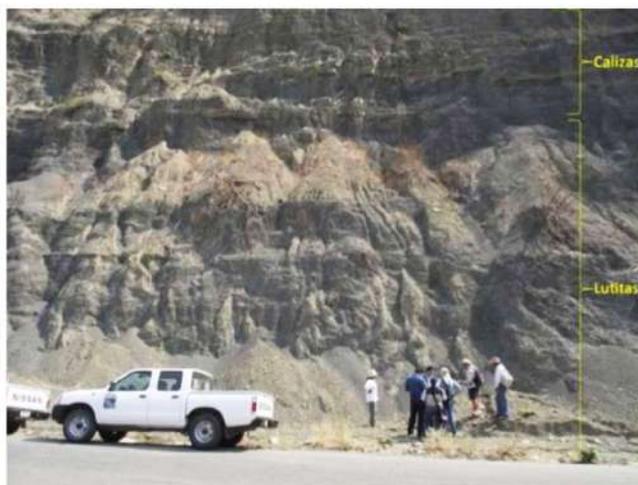
Caso 2. Autopista Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal (190 D) (Foto 2). Ubicación: km 33 ($16^{\circ}4'41.94''$ N, $92^{\circ}46'25.51''$ W). Calizas del Cretácico superior.

Deslizamiento traslacional facilitado por la disposición de los estratos. Fue provocado por el corte de talud, para la construcción de la autopista.

Las diaclasas permitieron que se deslizaran varios bloques de diferentes tamaños, que invadieron ambos carriles. Conforme el material se acumulaba, era removido.

Se ha perdido la cubierta de suelo, y por lo tanto, la cobertura vegetal, acelerando los procesos de erosión.

Foto 3. Carretera Chicoasén-Copainalá. Paz, 2013



Caso 3. Carretera Chicoasén-Copainalá (102) (Foto 3). Ubicación: km 7.5 ($16^{\circ}59'56.6''$ N, $93^{\circ}08'27.48''$ W). Lutitas-areniscas del Paleoceno que subyacen a algunos bloques de caliza y conglomerados.

El corte favorece el desprendimiento de material intensamente intemperizado, comportándose en presencia de lluvias abundantes como flujo de detritos; esto provoca que los bloques superiores se desestabilicen y se desprendan en un segundo momento, por diferencia en la litología.

En el corte carretero se observan fallas y evidencias de flujos antiguos. Esta carretera anualmente se ve obstruida, afectando al tránsito de personas y mercancías. Se tiene registro de un bloque desprendido que golpeó un vehículo (junio, 2011).

Foto 4. Colonia 6 de junio. Paz, 2013



Caso 4. Colonia 6 de junio 3ra Sección (Foto 4). Ubicación: sur oriente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ($16^{\circ}43'38.44''$ N, $93^{\circ} 4'3.74''$ W). Depósitos recientes (coluviones) sobre lutita-arenisca del Eoceno.

Deslizamiento rotacional ocurrido el 9 de septiembre 2013, provocado por diferentes cortes de talud para construcción de viviendas, detonado por saturación de suelo debido a lluvias intensas, además de fugas en los sistemas de drenaje y agua potable, aunado a la carga de las viviendas.

Este aspecto lo aborda Lugo et al, (2005) al mencionar que «las construcciones que se sitúan en zonas peligrosas favorecen o aceleran los pro-

cesos gravitacionales por la deforestación, el peso de las construcciones, el drenaje, la modificación del perfil de las laderas y del régimen hidrológico».

Foto 5. Ladera sur de Tuxtla Gutiérrez. Paz, 2014



Caso 5. Ladera sur Tuxtla Gutiérrez, base del Cristo de Chiapas (Foto 5). Ubicación: sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ($16^{\circ}43'13.55''N$, $93^{\circ}7'13.60''W$). Está constituida por calizas-lutitas del Oligoceno. Aquí se encuentran los circos de erosión (Paz *et al.* 2012), generando caídos o derrumbes, caracterizados por grandes bloques angulosos.

Se trata de la base de un circo de erosión de aproximadamente 70 m de altura, hasta el momento es una zona deshabitada a donde acude la gente de las colonias periféricas como Altos del sur y 7 de abril, a abastecerse de agua en un manantial; en la parte superior y a escasos 10 m del borde se edificó un monumento conocido como Cristo de Chiapas, que tiene una altura de 62 m., del cual no se tiene conocimiento de un estudio previo, por lo que se está ejerciendo una carga en una zona muy susceptible a PG.

Caso 6. Volcán El Chichón, Chapultenango (Foto 6). Ubicación: ladera oriental del volcán El Chichón ($17^{\circ}21'52.20''N$, $93^{\circ}12'32.60''W$). La litología corresponde a brecha volcánica intermedia. Se presentan flujos de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos. Por corresponder a un edificio volcánico, se consideran lahares, al ser flujos de materiales volcánicos transportados por agua de lluvia.

Foto 6. Volcán El Chichón. Paz, 2012



Al ser escasa la vegetación arbórea, y ante el intenso sol que se siente a partir de las 9:00 h, los excursionistas generalmente descansan dentro de los cauces donde se proyectan las sombras de sus márgenes que alcanzan hasta 8 m de altura, existiendo la posibilidad de un desplome.

Para cartografía de laderas de este tipo, en donde se encuentran escu-rimientos de primer orden, Srthaler, 1968, citado por Lugo *et al*, (2005), recomienda el método de cabeceras fluviales, monitoreando la erosión remontante.

Foto 7. Cafetal en Cabañas. Paz, 2013



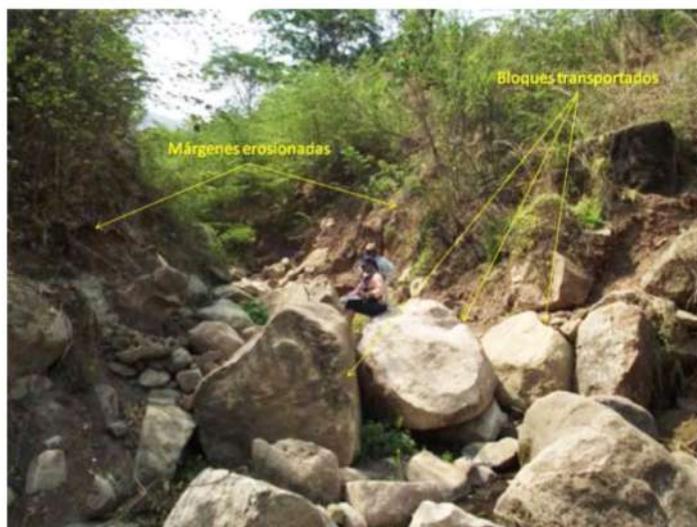
Caso 7. Localidad Cabañas, La Concordia (Foto 7). Ubicación: estribaciones de la sierra madre de Chiapas, municipio de La Concordia ($15^{\circ}45'27.07''N$, $92^{\circ}59'59.31''W$). La litología corresponde al complejo metamórfico (Müllerried, 1957), llamado por INEGI (2015) como Macizo de Chiapas, constituido principalmente por granito y granodiorita del Paleozoico.

Se trata vuelcos de grandes bloques, caracterizados por un intemperismo esferoidal, lo que genera bordes redondeados que facilitan su desplazamiento pendiente abajo. Muy peligrosos cuando se desprenden de las partes altas como en este caso.

La comunidad cultiva café en las laderas de las montañas, además de maíz y frijol en las partes bajas.

Por su topografía, las montañas permanecen poco pobladas siendo escasos los registros de daño a comunidades serranas. Sin embargo, muchas de estas localidades muestran crecimiento rápido y las construcciones avanzan hacia las zonas peligrosas (Lugo *et al*, 2005).

Foto 8. La Candelaria. Paz, 2013



Caso 8. Localidad La Candelaria-Nueva Esperanza, La Concordia (foto 8) Ubicación: 12 km al noroeste de Jaltenango de la Paz ($15^{\circ}58'08.99''N$, $92^{\circ}47'6.59''W$). Predominan limonitas-areniscas del Triásico- Jurásico. Se trata de un flujo de detritos, abundando grandes bloques de caliza y conglomerado, que fueron arrastrados de las partes altas durante el paso del huracán Stan, en octubre de 2005.

Este material se encuentra desordenado e inestable, por lo que es susceptible a otro proceso de remoción. Con una próxima avenida por lluvias

abundantes, «los arroyos pueden recuperar su nivel base, y su propio cauce, si este ha sido modificado» (Lugo *et al*, 2005).

CONCLUSIONES

La revisión de 6 casos en ambientes sedimentarios y 2 en ígneos, es útil para conocer el comportamiento de los PG bajo distintas condiciones geológicas, ya que siendo factores condicionantes, es conveniente considerarlas en el diseño de vías terrestres, asentamientos humanos y áreas destinadas al cultivo, para evitar en lo posible la ruptura del equilibrio de la pendiente natural del terreno, debido a los taludes principalmente.

Chiapas es un estado con sismicidad frecuente y expuesto al embate de ciclones, por lo no se debe descartar que en algunas zonas, los tres factores detonantes: lluvias, sismos, o modificación de la pendiente, pueden actuar simultáneamente, complicando así la atención de la emergencia.

Los eventos registrados hacen patente la necesidad de contar con un inventario de eventos por PG y pone en evidencia falta de estudios previos, reglamentos de construcción y especificaciones técnicas eficientes; lo que fortalecería las labores de gestión del riesgo.

Agradecimientos

Al Proyecto FORIN y al Centro de Investigaciones en Gestión de Riesgos y Cambio Climático (CIGRCC/UNICACH), por la invitación al Curso-Taller Internacional de Investigaciones Forenses de Desastres Relacionados con la Ocurrencia de Deslizamientos junio-julio 2013. Al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por la invitación a participar en el grupo de trabajo para el diseño del Modelo de Susceptibilidad a Movimientos en Masa, en 2013. A la Dra. Silvia Ramos Hernández, Directora del CIGRCC y de la carrera de Licenciatura en Ciencias de la Tierra (UNICACH), por las invitaciones a las excursiones científicas al volcán El Chichón, marzo 2007 y 2012. A la Geógrafa Elisa M. Sandoval Sierra, de la Universidad del Valle (Colombia), por su apoyo en la revisión y sugerencias.

REFERENCIAS

- Alcántara** Ayala, I., Echevarría Luna, A., Gutiérrez Martínez, C., Domínguez Morales, L. y Noriega Rioja, I. (2006). Inestabilidad de Laderas. CENAPRED, Serie fascículos.
- Alcántara** Ayala, I. y Murillo García, F. (2008). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. Investigaciones Geográficas (Mx), Pp 47-64.
- Aristizábal** E., Martínez, H. y Vélez, J.I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. No.131: Pp209-227.
- Integrated Research on Disaster Risk** (2011). The FORIN Project. China
- Mullerried** F.K.G. (1957). Geología de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez. Gobierno de Chiapas.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (1984). Carta Geológica. Escala 1:250 000, Hoja E15-11 Tuxtla Gutiérrez. México
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (2015). Mapa de Susceptibilidad del Fenómeno de Movimiento en Masa del Macizo de Chiapas. Escala 1:500 000 México.
- Lugo** Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J., Capra, L., Inbar, M. y Alcántara Ayala, I. (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causas y efectos. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22, núm. 2, Pp. 212-228.
- Mayorga**, R. 2003: Desarrollo de una metodología para la determinación de lluvias detonantes de deslizamientos. Estudio de caso. Meteorol. Colomb. Num 7 Pp.73-80.
- Muñiz** Jáuregui, J.A. y Hernández Madrigal, V.M. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 1, 2012, p. 103-114
- 999: Causas y efectos. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22, núm. 2, Pp. 212-228.
- Paz** Tenorio, J. A., Gómez Ramírez, M., González Herrera, R. y Domínguez Salazar, F.F. (2011). «Los procesos de remoción en masa en Chiapas; una revisión de los últimos cinco años (2006-2011)». Lacandonia Revista de Ciencias de la UNICACH Año 5, vol 5 núm 1 junio. Pp 113-122.
- Paz** Tenorio, J. A., Gómez Ramírez, M., González Herrera, R., Murillo Sánchez, M.E. Domínguez Salazar, F.F. (2012) Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Memorias VIII Reunión Nacional de Geomorfología. Guadalajara, Jal. Septiembre. Pp. 6.

- Paz Tenorio, J.A.** La inestabilidad de laderas y la construcción social del riesgo; tres casos en el sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. (Tesis de Maestría) Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Noviembre 2012. Pp. 160.
- Paz Tenorio, J.A.** (2014). Deslizamientos Urbanos; Estudio de Episodios Críticos O Catastróficos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Trabajo final del XLI Curso Internacional de Geografía Aplicada «La Geomorfología y la Gestión de los Riesgos por Deslizamiento en América Latina». (Mimeog,) Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas (CEPEIGE) de Ecuador y el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH). Diciembre. Pp. 35.
- Naciones Unidas** (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. UNISDR. Ginebra, Suiza.
- Wilches-Chaux, G.** La Vulnerabilidad Global. En: Maskrey, A. Los Desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). 1993