

Ensayos

Análisis geológico-estructural de los deslizamientos de laderas en el municipio de Ixpantepec Nieves, Silacayoapan, Oaxaca

Resumen

El propósito del presente trabajo de investigación es mostrar el peligro inminente en que se encuentran los 2000 habitantes del municipio de Ixpantepec Nieves en el distrito de Silacayoapan, ubicado en la porción noroeste del estado de Oaxaca. Esta región es la más sísmica de la República Mexicana, en un periodo de 10 años se registraron 2967 sismos por el Servicio Sismológico Nacional (UNAM, México), asociados a esto se observan una serie de sistemas de fracturamiento-fallamiento, un proceso erosivo profundo, pendientes mayores de 45° y una precipitación de 1030 milímetros en el año 2004 por lo que las laderas han sufrido una serie de deslizamientos de tierras, los cuales se incrementan con el tránsito pesado de los vehículos. El estudio se realizó a petición de las autoridades del municipio. Dentro del trabajo de campo se recorrieron sobre los deslizamientos de tierras en forma longitudinal y transversal para obtener los datos correspondientes de los desplazamientos, datos estructurales de fallas, fracturas, diaclasamiento y litología; después de realizar las mediciones pertinentes se identificaron las zonas de mayor amenazas de deslizamientos de tierras las cuales se comportan de forma inestables evolucionando constantemente e incrementando día con día el material en depósito. Los resultados obtenidos a corto, mediano y largo plazo deben ser ejecutadas acorde a las condiciones de peligrosidad ya que por las características de los cerros tales como las fuertes pendientes, corta distancia entre derrumbes y caseríos, clima, escasa y débil vegetación en las laderas, no habrá tiempo de una evacuación segura. Todas estas características influyen en la dinámica en forma escalonada de las escorrentías superficiales e infiltraciones subterráneas por lo que afectan directamente a la velocidad del flujo de lodo a gran velocidad cargado de materiales de variados tamaños.

Abstract

This study aims to investigate and highlight the imminent danger faced by 2000 inhabitants of the Municipality of Ixpantepec Nieves in the District of Silacayoapan which is located in the northwestern part of the State of Oaxaca. This is the most seismic-prone region in Mexico with 2967 tremors registered by the National Seismic Service (UNAM, Mexico) over a 10-year period. Associated with this, a series of fault-fracture systems has been detected. Here is a deep erosive process with slopes greater than 45° and with 1030 mm. of rainfall in 2004. Consequently, the hill sides have undergone a series of landslides and the situation has been worsened by heavy transport. This study was carried out at the request of the municipal authorities. During the field work, landslides were examined both longitudinally and transversally to obtain data relating to landshifts, structural data about faults, fractures, diaciasm, and lithology. Once the pertinent measurements were made, the high-risk zones in terms of land slides were identified. These unstable zones are constantly evolving and with daily increases in the amount of material deposited. The results obtained on a short, medium and long scale should be dealt with on the basis of danger conditions. There won't be enough time for safe evacuation due to the condition of the hills, such as steep slopes, short distances between landslides and houses, climate, and the scarcity of vegetation along the hillsides. All of these characteristics affect in a staggered way the dynamic of surface streams and underground filtration, and so they directly affect high velocity of mud flows carrying materials of different sizes.

Résumé

Le motif de ce travail de recherche est de souligner le danger imminent face auquel se trouvent les 2000 habitants du village d'Ixpantepec Nieves dans le district de Silacayoapan, situé dans la partie nord-ouest de l'état d'Oaxaca. Cette région est la région la plus sismique de toute la République Mexicaine ; en 10 ans, 2967 séismes ont été enregistrés par le Service Sismologique National (UNAM, Mexico). Ajouté à cela, on observe une série de systèmes de «fracture- faille», un procédé-processus érosif profond, de 45 degré et une précipitation de 1030 millimètres au cours de l'année 2004 ce qui fait que les côtes ont subi une série de glissements de terrains, ces derniers ayant augmenté avec la circulation de véhicules-poids lourds. L'étude s'est faite-a été réalisée à la demande des autorités du village. Au cœur de ce travail de fond, on a récolté et recueilli sur les glissements de terrains en forme longitudinale et transversale pour obtenir les informations correspondantes des déplacements, les informations structurales des failles, fractures, fissure et lithologie ; après avoir réalisé les mesures (les plus) pertinentes, on a identifié les zones de grand danger de glissements de terrains lesquelles agissent de manière instable évoluant constamment et augmentant jour après jour chaque jour le matériel en dépôt. Les résultats obtenus à court, moyen et long terme doivent être exécutés selon les conditions de danger puisque pour les caractéristiques des collines de même que les pentes raides, la courte distance entre les éboulements et les fermes (hameaux), le temps, la rare et faible végétation dans les côtes, ne permettront pas (il n'y aura pas le temps pour) une évacuation sûre à temps. Toutes ces caractéristiques influencent la dynamique en forme échelonnée des courants d'eaux de pluie et des infiltrations souterraines ce qui affectent directement la rapidité du flux de boue en grande vitesse pleine de matériels de tailles variées.

Palabras clave: deslizamiento de laderas, diaclasamientos, foliaciones, vulnerabilidad, zonificación y riesgos geológicos.

*Cirilo Joaquín Guerrero Hernández

*Profesor Investigador en el Instituto de Hidrología, de la Universidad Tecnológica de la Mixteca

1. Antecedentes

El estado de Oaxaca, a través del tiempo ha sufrido el embate de manifestaciones de origen geológico, que han provocado la pérdida de vidas humanas y en mayor o menor daños materiales a la infraestructura y el entorno ecológico; siendo los terremotos, los deslizamientos de laderas y la erosión las más frecuentes. Sabemos que la ocurrencia de este tipo de fenómenos es inevitable, dado que no depende su ocurrencia de la mano del hombre, sin embargo si podemos contribuir a mitigar sus efectos, con la finalidad de evitar al máximo la pérdida de vidas humanas.

El presente trabajo tiene como finalidad concentrar y difundir la información existente de las condiciones de peligros de origen geológico al que se ve expuesto el municipio de Ixpantepec Nieves y su población, así mismo la ubicación de esta información de manera geográfica, la cual esta basada en datos geológicos-estructurales medidos directos en campo, pretendiendo en principio que la población tenga acceso a esta información y con ello crear una conciencia firme de las condiciones de peligro que se localizan en el sitio, a fin de implementar medidas y acciones de prevención y autoprotección.

El estado de Oaxaca es afectado por varios tipos de fenómenos naturales (sismos, tectónico e hidrometeorológicos) que pueden causar la pérdida de vidas humanas o daños materiales de consideración; el conocimiento de los principales aspectos de los fenómenos naturales, la aplicación de medidas de prevención y su difusión a la sociedad pueden contribuir a la reducción de los daños y pérdidas de vidas humanas.

El riesgo depende de condiciones específicas de cada sitio, tanto por las diferencias con que se manifiestan los fenómenos de uno a otro lugar, como por las distintas características de vulnerabilidad de las construcciones, de la infraestructura y del entorno. Por ello, los diagnósticos de riesgos y para su representación son propios de cada fenómeno y de la aplicación que se quiera dar al diagnóstico.

Estas aplicaciones pueden ser por ejemplo para zonificación del uso de suelo en los planes de desarrollo urbano o regional o para fijar requisitos de diseño de obras civiles en los reglamentos de construcción; en usos más propios de la protección civil, se requieren para definir las obras de mitigación y para diseñar los planes operativos de emergencias y planes de contingencia.

Para la gran variedad de situaciones que se pueden presentar en cada localidad, resulta fijar reglas de validez general, por lo que los diagnósticos deberán ser elaborados específicamente para la aplicación deseada y para las condiciones de riesgo del sitio en consideración. Los diagnósticos cuantitativos son de utilidad principalmente para los especialistas en cada materia; además de estos, conviene contar con documentos que propician información general sobre las características de los riesgos, sobre todo para fines de difusión y para la toma de decisiones de tipo general. Para ello se requieren representaciones sencillas y fácilmente accesibles para la población.

En el resto de la información se tratará de proporcionar una visión general de las herramientas disponibles para los diagnósticos de riesgo y de mostrar algunos ejemplos representativos. Aquí únicamente se hará referencia a los aspectos físicos del riesgo, sin considerar los factores sociales.

2. Introducción

El presente estudio presenta información de apoyo para los habitantes del municipio de Ixpantepec Nieves, en la evaluación cualitativa de las zonas afectadas por los deslizamientos de tierras ocurrido el 30 de octubre del 2004. El estado de Oaxaca es la más sísmica de la República Mexicana, en un periodo de 10 años se registraron 2967 sismos por el Servicio Sismológico Nacional (UNAM, México), asociados a esto se observan una serie de sistemas de fracturamiento-fallamiento, un proceso erosivo profundo, pendientes mayores de 45° y una precipitación de 1030 milímetros en el año 2004, cuando la media anual apenas alcanza los 700 milímetros, por lo que las laderas han sufrido una serie de deslizamientos de tierras, los cuales se incrementan con el tránsito pesado de los vehículos, esta situación se extendería en proporciones tanto en daños materiales como en posibles pérdidas humanas. En este documento se contemplarán las diferentes acciones que se pretenden desarrollar con el gobierno estatal, con la Secretaría de Salubridad y Asistencia, los cuales ayudarán a prepararlos de acuerdo a experiencias y conocimientos ante desastres (como los huracanes); a advertir sobre los deslizamientos de tierras, las principales medidas de desarrollo y prevención que pueden tomarse en las mismas. También se exhibe un mapa del área para ubicar en él las principales características geológico-estructurales y su vulnerabilidad con el fin de establecer las zonas de riesgos geológicos.

3. Objetivos

Contar con un diagnóstico de riesgo para conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas por fenómenos naturales y determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos y en la infraestructura.

Proporcionar a los habitantes de municipio de Ixpantepec Nieves la información sobre riesgos geológico-estructurales a que están expuestos en el sitio que se encuentran instalados así como algunas alternativas que deben tener presentes.

Remozar los sistemas locales, distritales y estatales para la gestión de los riesgos y desastres, mediante la promoción y coordinación de apoyo directo a los planes de emergencias y zonas de desastres naturales

Identificar las amenazas y vulnerabilidades de la zona de interés y concientizar a la población de la relación en la prevención de desastres naturales e involucrarla en acciones concretas de mitigación comunal y autoprotección o autoayuda.

4. Resultados esperados

Identificar las zonas de desastres, la recurrencia y la situación problemática fundamental sobre el área afectada de estudio para generar acciones de mitigación que sean viables en función de un verdadero desarrollo sostenible, tanto por parte del Municipio de Ixpantepec Nieves, el Distrito de Silacayoapan y Protección Civil del estado de Oaxaca que se obliguen a adoptar el plan de emergencia municipal para la reducción de la vulnerabilidad y desastres naturales. En él se exhorta salvar de modalidades de reacción a los desastres hacia una actitud generalizada de prevención y mitigación, con un enfoque integral e intersectorial por parte de todos los sectores, esto implica una eficaz articulación social de las actividades en el ámbito local y estatal.

5. Metodología aplicada en la investigación

El trabajo de campo se enfocó en uno de los aspectos a la verificación del daño en estructuras civiles y construcciones urbanas, se consultó de manera directa a una parte representativa de la población acerca de los daños en construcciones y desde el punto de vista geológico así como también el geológico-estructural y para fines prácticos de este trabajo, con los datos obtenidos se registraron en fichas de campo, con los valores obtenidos de las coordenadas y los datos estructurales de los siste-

mas de fallamientos-fracturamientos se ubicaron y se construyó un mapa geológico-estructural.

El área de trabajo esta ubicada entre las cotas 1800 metros sobre el nivel del mar (msnm) y 2000 msnm en un superficie de aproximadamente 16 kilómetros cuadrados conformado por un relieve irregular, abrupto con pendientes mayores de 45° y la distribución de los deslizamientos es concordante con las estructuras geológicas, lo que apoya la interpretación de los sistemas de fracturamiento-fallamiento y fallas activas localizadas y ubicadas en campo. Es importante notar que los sitios con mayor afectación se asocian especialmente con las fallas de movimiento lateral y que es sin duda el ambiente tectónico lo que constituye el daño de los deslizamientos de tierras.

6. Caracterización del sitio

6.1 Situación geográfica.

El municipio de Ixpantepec Nieves área de interés corresponde al Distrito de Silacayoapan, se encuentra ubicada en la porción noroeste del estado de Oaxaca, entre las coordenadas en el sistema Transverso de Mercator (UTM., 1927) 601445E, 1936650N con 2010 metros sobre el nivel del mar (Figura No. 1).

El área en general está bien comunicada en cualquier época del año, el acceso se realiza por la carretera federal No. 15 Huajuapán-Juxtlahuaca, con una distancia de 75 kilómetros aproximadamente, además existen caminos vecinales de terracería que se comunican en la región con dicho municipio.

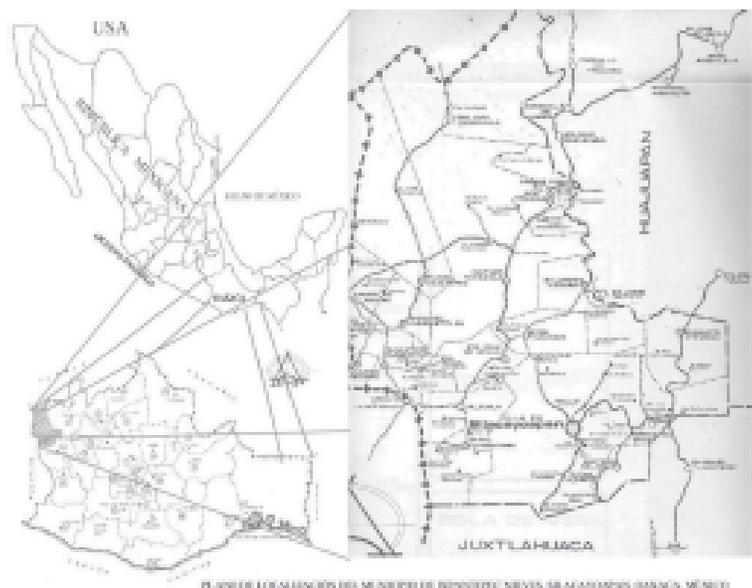


FIGURA NO. 1 PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE IXPANTEPEC NIEVES

6.2 Clima y vegetación

La región que nos ocupa está dominada por un clima que tiene cambios estacionales en el sentido de los vientos que aquí predominan en todo el año hacia el norte y en general tiene un clima seco semicálido (INEGI., 1984), la temperatura de mayo-octubre es de 27°C como máximo y 12°C como mínimo y una precipitación de 800-900 milímetros; para noviembre-abril la temperatura es de 27°C como máximo y 6°C como mínimo y una precipitación de 50-75 milímetros.

El uso del suelo y vegetación (INEGI. 1985) y mediante la verificación de campo, en el área se lleva a cabo la agricultura de temporal de cultivos anuales, pastizal inducido que surge espontáneamente al eliminar la vegetación primaria, bosque de tascate asociado a la vegetación secundaria arbustiva arbórea de encinos muy pobre que se encuentra con una marcada erosión asociada a la acción del hombre a veces por necesidades de infraestructura y en otras ocasiones por la apertura de caminos y áreas de cultivos.

6.3 Hidrogeología

La zona de estudio presenta un drenaje del tipo dendrítico-rectangular iniciándose en la cima del cerro el Pescadito, con una cota de 2130 metros sobre el nivel del mar, conformando por pendientes abruptas; La zona de estudio debido a su variada litología, por rocas calizas, areniscas, lititas y volcanosedimentarios presentan un intemperismo profundo con porosidad y permeabilidad alta lo que permite su fácil infiltración subterránea, en los alrededores se observan manantiales de importancia para el abastecimiento a los habitantes de la población.

6.4 Geología regional

El abrupto relieve de la entidad Oaxaqueña atestigua una larga y compleja historia geológica, indicada desde el Pre-cámbrico y continuando en múltiples etapas hasta el presente. Sin embargo, todavía existen zonas de la entidad Oaxaqueña que carecen de estudios geológicos y por tal razón, ciertos detalles estructurales y dinámicos no son aún bien conocidos.

Complejo Oaxaqueño: esta nomenclatura (Fries., 1965) llamó a un complejo metamórfico en el estado de Oaxaca, que sería el resultado de la deformación y metamorfismo de los depósitos de un geosinclinal Oaxaqueño, por los efectos de la orogenia Oaxaqueña por lo que es considerada de edad Pre-cámbrica tardía, por no estar bien definidas las relaciones existentes entre el depósito de una se-

cuencia con respecto al proceso o procesos que la han metamorfizado.

Las rocas sedimentarias mesozoicas están ampliamente distribuidas en la región de la Mixteca Oaxaqueña, representadas en la cuenca de Tlaxiaco en donde se encuentran discordantemente sobre rocas del complejo basal, perteneciendo la base de esta columna sedimentaria.

En la Mixteca Oaxaqueña el Jurásico se encuentra representado desde el Liásico por una formación de origen continental (Formación Rosario), sobre la cual se depositó una secuencia concordante de rocas sedimentarias continentales y marinas que H.K. Erben (1956) reunió en dos grupos y una formación: calizas con cidaris (Burckhardt (1930) y Grupo Tecocoyunca (Guzmán 1950) y grupo consuelo (Salas, G.P. 1949).

El terciario está representado por las unidades: La Formación Huajuapán y una unidad de materiales volcánicos que se ha denominado informalmente como rocas volcánicas ácidas e intermedias. Esta última sobreyace concordantemente a la primera. La deposición de estos materiales estuvo limitada a una cuenca estrecha y larga en dirección NNE-SSW. De acuerdo a los fenómenos observados en lo que respecta a distribución predominio de clastos en sedimentos de un tipo sobre otros, así como por simple observación de la distribución topográfica y por supuesto del arreglo de los planos de estratificación se llega a la conclusión de que al menos las partes inferiores de los depósitos Terciarios se acumularon en dos zonas diferentes situadas aproximadamente en las porciones oriente y poniente de una línea que divide transversalmente.

6.5 Geología local

La estratigrafía del área de interés se encuentra representada por rocas calizas, una alternancia de lutitas, areniscas, tobas ácidas y andesitas y depósitos de aluvión, cuyas edades varían del Cretácico Inferior al Pleistoceno (mapa anexo).

Rocas calizas, de edad Cretácico Inferior e identificadas con las siglas Ki(cz), esta formación se encuentra expuesta en la porción sur del área, en la mayoría tiene una textura mudstone, con nódulos de pedernal y óxidos de hierro, fauna de miliólidos; es de facies de cercana costa de transicional, sobreyace discordantemente a rocas metamórficas del paleozoico y subyace en igual forma a materiales volcaoclásticos del Terciario. Forma sierras en estructuras sinclinales y anticlinales muy deformados.

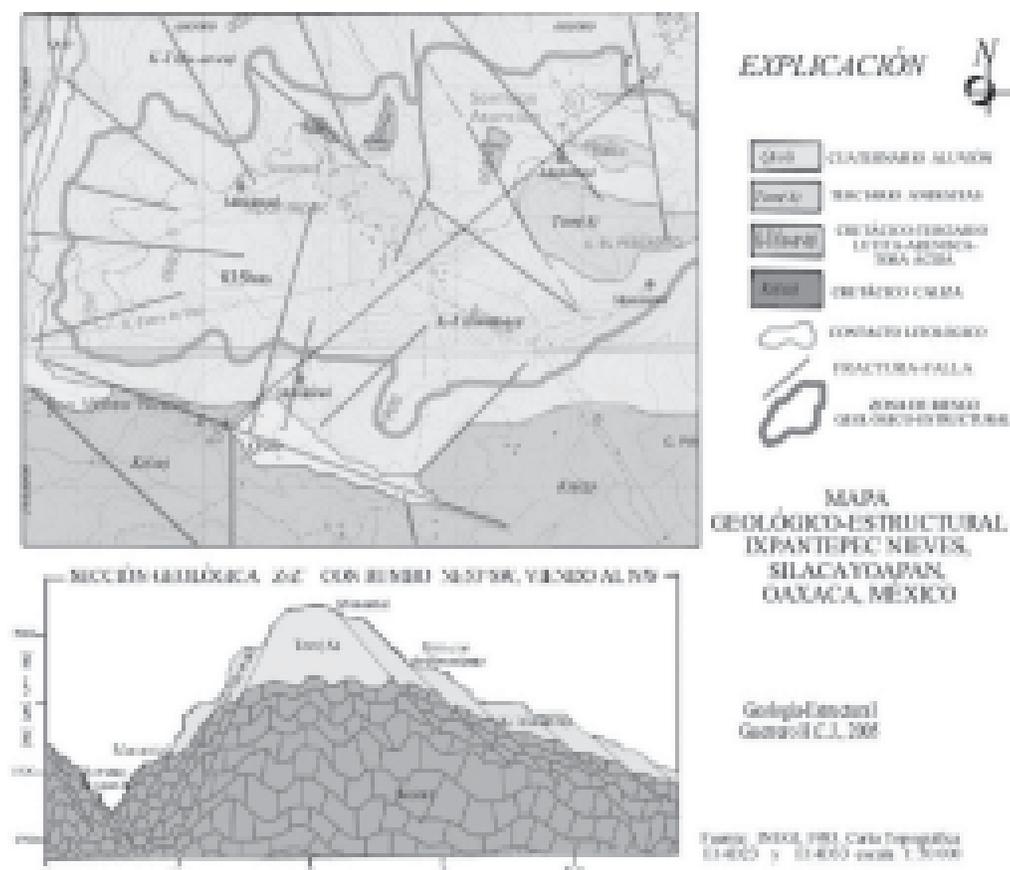


FIGURA NO. 2 MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL ÁREA DE INTERÉS DONDE SE OBSERVA EL SISTEMA DE FALLAMIENTO ESCALONADOS

Lutitas y areniscas identificados con las siglas K-T(lu-Ta), depositadas rítmicamente; de colores amarillo y gris oscuro con tonos ocre al intemperismo. La lutita es calcárea, de textura pelítica, tiene estratos hasta de 15 centímetros de espesor, ocasionalmente laminares; se interestratifican con areniscas con arenisca calcárea, subgrauvaca en capas de hasta 30 centímetros, compacta. El fracturamiento de esta unidad es intenso, se observan estratos plegados fracturados con intemperismo profundo; ocasionalmente existen conglomerados y tobas ácida de color pardo a gris rojizo, de textura clásica, asimétrica, cementante calcáreo, semicompacta, formada por cuarzo, plagioclasas, fragmentos de rocas ígneas andesítica, vidrio y pedernal, se presenta pseudoestratificada en capas medianas. La morfología es de lomeríos abruptos.

Andesitas rocas volcánicas del Terciario, identificadas con las siglas Tom(A), se presenta como diques, aflorando únicamente entre las rocas volconoclásticas aflora en el cerro el Pescadito de orientación E-W, es de color gris verdoso, compacta, masiva, intemperizada, en ocasiones forma estructuras esferoidales, con

minerales observables de oligoclasa-andesina, piroxenos, homblenda, vidrio, cuarzo, clorita, sericita, con oxidación incipiente, el espesor es de unos 120 metros.

Aluvión del Pleistoceno, identificado con las siglas Q(al), esta unidad incluye a las arenas, gravas, limo-arcillas que se localizan a pie de monte, en las barrancas, en las laderas de toda el área de interés, se compone de líticas de granos de cuarzo, feldespato y ferromagnesianos, con espesores no mayores de 2 metros.

6.6 Geología estructural.

Al describir las unidades sobre los rasgos estructurales más sobresalientes, las características de dichas estructuras y se presentan ideas en cuanto a la génesis, edad y relaciones de las mismas. El área se encuentra dentro de la provincia morfotectónica Sierra Madre de Sur (Guzmán y DeCserna, 1963. P 115).

Examinando el plano geológico-estructural se observa que las rocas de edad Cretácicas son las que presentan menor número de fallas y que tienen una orientación general de N-S cortándose en ángulos de 40°-60°. También se observa que las estructuras de las rocas calizas terminan abruptamente sugiriendo desde

luego la presencia de fallas o zonas de fallamiento sepultadas de dimensiones regionales, que determinaron el levantamiento de las rocas calizas, formando un alto estructural y topográfico. La traza aproximada de estas fallas o zonas de fallas sepultadas corresponden en la porción sur del área de interés. Por lo que corresponde a las rocas volcánicas Terciarias los rumbos de los datos estructurales medidos en campo muestran el sistema de fracturamiento-fallamiento tan complejo que no se observa alguna tendencia preferencial.

Las fallas, foliaciones, fracturas y diaclasas son las estructuras resultantes de los fenómenos tectónicos que afloran en el área.

Las foliaciones en las rocas metamórficas que afloran en la porción norte fueron desarrolladas por metamorfismo dinámico de grado bajo (condiciones de esquistos verdes). Por los datos medidos en campo se observa que los rumbos en que ocurren las foliaciones son NNW y en menor proporción NE, ENE y NS, asociado con sistemas de fracturamientos ortogonales.

Fallas, el área está afectada por fallas normales y laterales, estas se encuentran en los alrededores del cerro conocido como el «Pescadito» en donde está asentada la población de Ixpantepec Nieves y se encuentra de forma longitudinal y transversalmente sobre la zona de desprendimiento, constituyendo así a la inestabilidad de laderas.

Desde el punto de vista geológico-estructural las fallas normales y laterales la mayoría son de gran ángulo entre los 80°-90° están más o menos expuestas a la observación e inferidas formando una estructura en bloques orientados E-W y otros están superpuestos a una estructura más antigua con rumbo NNE. El resultado promedio de todos los rumbos de fallas tomados en campo indican que el fallamiento principal en el área de interés tiene una orientación NNW, existiendo un segundo sistema NNE y un tercer sistema de rumbo E-W.

Durante el Cretácico-Terciario el magmatismo causó origen a los diques como el observado en el cerro el Pescadito, al finalizar este evento dio inicio un período de relajamiento que se desarrolló las fallas normales y laterales confirmando a la región una geometría de fosas y pilares tectónicos.

Es una falla normal de rumbo NW45°-65°SE inclinada entre los 75°-85° al NE, probablemente durante el Cuaternario tuvo una componente lateral ya que el bloque del bajo presenta basculamiento al NNE, afectan-

do a la formación volcanosedimentaria, cuya actividad de esta falla se considera la responsable del desarrollo de depósito no consolidados así como los escarpes aluviales recientes y deslizamientos de laderas.

En las inmediaciones de San Mateo Nuevo al suroeste del área de interés existen fallas de rumbo E-W a la vertical en las que se observan estrías que indican desplazamiento a rumbo, se desconoce la magnitud de tales desplazamientos por estar en contacto entre rocas calizas y tobas ácidas con un intemperismo profundo.

Las fallas normales y laterales detectadas se midieron desplazamientos hasta de 1,5 metros la mayoría de estas estructuras pueden asociarse con lineamientos observables en imágenes de satélite y en fotografías aéreas de la región del estado.

6.7 Tectónica y su relación con los deslizamientos.

El tectonismo a lo largo del margen sureste-noroeste entre las placas Pacífica y Cocos, dio inicio a principios del Precámbrico, se encuentra evidencias tectónicas de subducción en las rocas paleozoicas, en esta región de Oaxaca, comprendida entre los 15°00' y 18°15' de latitud Norte y los 94°50' y 98°15' de longitud Oeste, es una de las regiones con más alta sismicidad en la república Mexicana.

La actividad tectónica en el estado de Oaxaca es significativamente intensa, durante más de 180 millones de años ha tenido manifestaciones en actividad sísmica y volcánica. La corteza continental en el estado de Oaxaca se encuentra afectada por esfuerzos de deformación y ruptura por cizalla debido a la integración de las placas Norteamericana y Cocos que ocurre a lo largo de la fosa mesoamericana en donde la placa de Cocos es destruida bajo la placa Norteamericana en un proceso geológico de escala terrestre llamado subducción. La placa de cocos presenta un movimiento hacia el este en un desplazamiento promedio de 7 centímetros por año lo que genera una colisión de placas, así la corteza oceánica es destruida en la zona de decrecían de la fosa mesoamericana y una parte menor de ella se suma a la corteza continental en la zona de acreción en el talud continental.

Esta actividad sísmica está asociada al proceso de subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa de Norteamérica. Este límite tectónico es conocido como la zona de subducción y es la zona donde se localizan aproximadamente el 85-90 por ciento de los sismos que ocurren en nuestro país. En 1974-1996, el

Servicio Sismológico Nacional registró 27533 sismos mayores de 2.5 grados en la escala Richter, de estos 8030 ocurrieron dentro del estado de Oaxaca y 21 sismos de magnitud 7 a 8.3 grados Richter por citar algunos. Teniendo en cuenta sus características y peligrosidad, en la región de Oaxaca se puede distinguir tres tipos principales de asociaciones de los temblores.

De subducción, asociados directamente al contacto entre las placas Pacífica y Cocos, con un mecanismo focal de falla inversa de bajo ángulo de incidencia, con epicentros en la costa y una profundidad entre los 15 y 20 kilómetros.

De falla normal y una profundidad de 65 a 115 kilómetros que tienen lugar en la placa subducente con epicentros en el interior del continente, al norte de la ciudad de Oaxaca que se encuentra a una latitud de 17° de latitud Norte.

De falla normal y una profundidad aproximada de 25 a 40 kilómetros con epicentro al sur de la ciudad de Oaxaca, de este tipo de eventos sólo uno ha sido registrado en enero de 1931 con magnitud 8.0

Los sismos más recientes 15 de junio de y 30 de septiembre 1999, magnitud 7 y 7.4 Richters, el primero con epicentro en Huajuapán de León (daños en San Pedro y San Pablo Teposcolula) y se segundo en las costas de Oaxaca.

Se considera que las cordilleras montañosas y las profundas trincheras oceánicas adyacentes a los arcos insulares son las zonas en las cuales se produce la subducción de una parte de la corteza terrestre por debajo de algunas otras. Esto es posible porque la temperatura a profundidades mayores de unos 50 kilómetros son lo suficientemente elevadas para que el manto se vuelva relativamente plástico, por lo tanto, es posible que algunas secciones de la litosfera sean forzadas a deslizarse sobre este estrato deformable e inclusive a penetrar dentro del mismo (Isacks, Oliver y Sykes., 1968), lograron determinar el movimiento descendente en zonas que se traslapan. W.J. Morgan y X. Le Pichon. 1968, mostraron que la distribución de los temblores delimita ciertas fracturas que dividen a la tierra en placas.

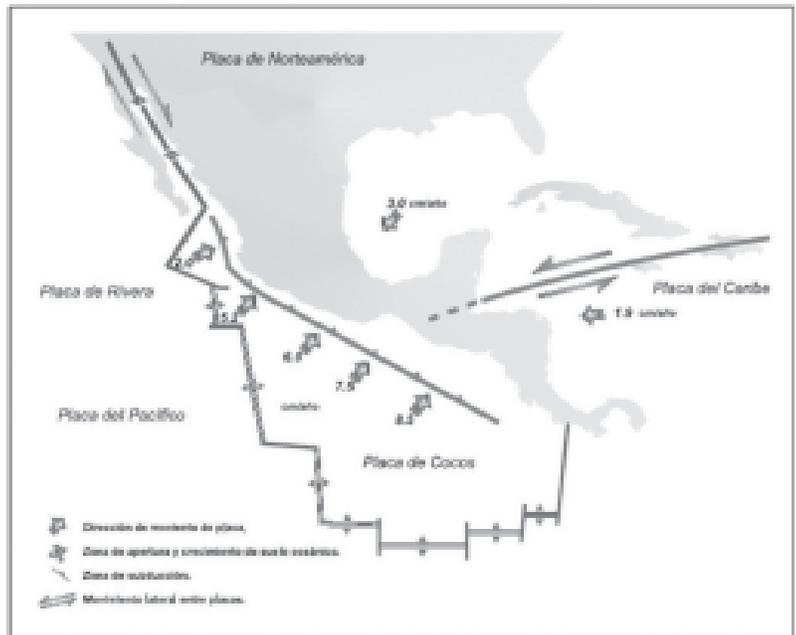


FIGURA NO. 3 CONFIGURACIÓN DE LAS PLACAS (NORTEAMÉRICA, COCOS, RIVERA Y DEL PACÍFICO) LAS FLECHAS INDICAN LAS DIRECCIONES Y VELOCIDADES PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTO RELATIVO ENTRE ELLAS.

7. Amenazas geológicas

7.1 Inestabilidades de ladera

Como se ha mencionado el marco geológico está conformado por diversos orígenes y composición química, cuya expresión morfológica ha dado origen a un contrastado relieve con distintos grados de fracturamiento y alteración. En los movimientos en masas que se producen en esta región tiene una gran importancia la frecuencia de los fenómenos naturales sobre las formas litológicas sumamente fracturadas e intemperizadas, independientemente de la contribución que proporciona la deforestación.

En el marco de estos componentes la mayor amenaza se encuentra en el área con pendientes abruptas de las montañas donde la precipitación pluvial abundante y frecuente satura de humedad a los sistemas de fracturamiento-fallamiento de las rocas favoreciendo el desplazamiento de rocas y suelos.

Existen diversas formas mediante las cuales se inicia un deslizamiento. Una característica casi invariable es «la presencia o ausencia de agua», según el tipo de formación geológica involucrada y el tectonismo de la región. Muchos de los taludes naturales se encuentran en una condición potencialmente inestable, de manera que los movimientos y los colapsos se pueden iniciar con facilidad. Los temblores intensos junto con los

procesos de erosión son causas comunes que pueden actuar en diversas formas. La erosión diferencial de estratos de estabilidad variable puede dejar en voladizo el material de un estrato más duro que con el tiempo se romperá y causará el deslizamiento.

Las laderas de las zonas de estudio se encuentran inestables debido a su conformación litológica y a los fenómenos de meteorización y erosión que actúan sobre ellas, generando una serie de estructuras como fallas, diaclasas, grietas, estrías. La inestabilidad se puede observar en la porción norte y poniente del municipio de Ixpantepec Nieves, sobre la carretera estatal donde se encuentran los mayores deslizamientos de tierras que afectan principalmente al acceso y a algunas viviendas que se encuentra ubicados en las inmediaciones en el área afectada se puede clasificar a los movimientos encontrados como desprendimientos tipo trasnacional, también se observan Reptación los cuales son movimientos lentos y corrientes de escombros compuestos por material detrítico de diversos tamaños no-cementado, deslizamientos de rocas, escombros de suelos, de tal forma que el material colapsado cae a manera de avalancha, hasta llegar a una zona de terreno con menor pendiente (probablemente algo de estabilidad) donde se presenta una reducción súbita de la velocidad del flujo, por lo que se depositan los fragmentos de material más pesado. Normalmente al frente de la avalancha quedan depositados los trozos de rocas de mayor tamaño, los que a su vez sirven de represa para que se depositen materiales de menor tamaño, en la dirección pendiente arriba. En este punto de la trayectoria de la caída del material térreo proveniente de las partes más altas con mayor pendiente, se reduce notablemente la energía destructiva al disminuir notable y «momentáneamente» la velocidad de caída. En este sitio, el volumen de agua y material sólido ha alcanzado tal magnitud que solamente se depositan los fragmentos más grandes de roca, mientras que el resto de los sólidos y el agua continúan su carrera pendiente abajo, con la energía destructiva suficiente para socavar y arrastrar gran parte de los sedimentos (incluyendo grandes fragmentos de roca) que conforman el lecho de las barrancas por las que escurre el flujo. Bajo estas condiciones, el volumen de los sólidos involucrados en el flujo tiende a incrementarse. Además, el flujo destruye y arrastra todo tipo de objetos y construcciones que va encontrando a lo largo de su trayectoria.

Los sedimentos no consolidados tienen el gran problema de inestabilidad, sobre todo por el deterioro de las características de resistencia y estabilidad de las formaciones geológicas, al paso del tiempo, o por modificaciones al medio ambiente natural o por la acción humana y por el intemperismo profundo que se observa en este sitio.

Ante el alto nivel de peligro que representa para la población la problemática de inestabilidad de laderas naturales, se dispuso el mapa geológico-estructural, tomando en cuenta las características fisiográficas, geomorfológicas, efectos climáticos, condiciones ambientales que propician en distintos grados, el intemperismo de las formaciones geológicas involucradas, la edafología y la distribución hidrológica. Se dio especial atención a las condiciones geológicas y a la precipitación pluvial. En busca de la identificación de las zonas de mayor peligro se superpuso toda la información mencionada, analizando la problemática tanto por ausencia como por presencia de agua.

Es importante tener presente que este mapa de riesgo por inestabilidad de laderas muestra únicamente la localización general del área con mayor peligro, de acuerdo con la información descrita. Sin embargo, no se debe soslayar el hecho de que cada sitio donde la superficie del terreno natural está inclinada, deberá ser objeto de un análisis particular, revisando cada uno de los factores que aquí se han mencionado como detonadores de los problemas de inestabilidad de laderas, dado que es común que se lleguen a presentar problemas de inestabilidad en forma aislada, sobre todo en lugares donde se efectúan cortes para la construcción de terracerías, sin los estudios y las planeaciones adecuadas. A este mapa se le deberá ir agregando cada uno de los sitios que en el futuro se vayan detectando como peligrosos, con base en estudios a escala local, específica y detallada.

7.2 Depósitos, erosión y meteorización

Los depósitos que generan los deslizamientos en el cerro el Pescadito se originan por el desprendimiento de materiales detríticos provenientes de las laderas inestables. Estos materiales son heterogéneos desde bloques de gran tamaño hasta materiales finos, se encuentran con poco movimiento al pie de las laderas. Los depósitos antiguos que lo constituyen los flujos de lodo de material heterogéneo llegaron según evidencia, por los datos proporcionados por los lugareños y

sedimentos que hoy se observan hasta la barranca denominada como la "Cañada León".

Erosión

Este proceso geológico afecta al cerro el Pescadito, se hace más notorio entre la cota de los 1800 msnm y 2000 msnm. La erosión se observa que va en una evolución constante pues dada la naturaleza de las rocas que componen la zona de estudio los cuales no tienen un cementante entre ellos por lo cual los hace un material fácil de erosionar y es así como los agentes erosivos como son los efecto climáticos, agua, viento, tectonismo y gravedad actúan sobre ellos destruyéndolos conformando de esta manera la inestabilidad constante de las laderas, en el campo es notorio la erosión diferencial.

Meteorización

Este proceso geológico es de largo plazo y afecta a toda la zona de estudio, variando su intensidad, pues se puede mencionar que las zonas más altas (mayor a la cota de los 1600 msnm) son las más afectadas pues permanecen el mayor tiempo afectada por los efectos climáticos donde actúan sobre la zona la meteorización física y química afectando las rocas (cambios de temperatura, vientos, agua). Este proceso contribuye a la destrucción de los componentes de las rocas sedimentarias y volcanosedimentarias, por lo tanto crean inestabilidad de laderas a largo plazo.

7.3 Amenazas hidrológicas

Con respecto a todo lo expuesto se puede determinar que las amenazas hidrológicas pueden causar inundaciones y coladas de lodo, debido a: la acumulación de material suelto e inestable, fuertes precipitaciones en la zona pero principalmente a la infiltración del agua de lluvia por efecto del intemperismo profundo observado sobre las rocas del sitio. Como resultado se tienen los deslizamientos de laderas de acuerdo al mapa geológico-estructural son 835 hectáreas las que se encuentran en riesgo o vulnerables.

8. Zonificación del riesgo

Con base en la interpretación de elevaciones se observaron direcciones preferenciales de lineamientos producidos por esfuerzos compresionales que dieron origen a rompimientos que han servido de dislocación litológica, de contacto entre los diferentes componentes en la columna estratigráfica del área o bien han sido el conducto de emplazamiento ígneos. Estos linea-

mientos se reflejan en sistemas ortogonales poco espaciados con alineaciones que varían de rumbos e inclinaciones, fallas laterales, fallas normales que se observan con las mismas direcciones.

Las características de fragilidad de las rocas, dadas por el grado de fracturamiento e intemperismo, son importantes en los desprendimientos que ocurren y pueden ocurrir a partir de la construcción de brechas, terracerías y carreteras. En las construcciones de estas obras son frecuentes los cortes verticales o de pendientes fuertes que facilitan los movimientos que dan origen a numerosas áreas inestables que varían en longitud de unos cuantos metros hasta varios kilómetros.



FIGURA NO. 4. CARACTERÍSTICAS DE FRAGILIDAD DE LAS ROCAS, DADAS POR EL GRADO DE FRACTURAMIENTO E INTEMPERISMO.

Una evaluación del área de influencia, puede ser definida como una región en donde ha sufrido un daño a causa de la presencia de un fenómeno natural que por su magnitud genera un desastre en este caso un deslizamiento de laderas. Las áreas son definidas con base en un radio de influencia en relación con el centro geográfico de la población en cuestión, a partir del cual se considera un radio geométrico en kilómetros, para obtener una superficie circular que evalúe la traza de riesgo.

Tipo de influencia	Radio	Diámetro	Clase	Km ²
Alta	1.0	2	A	6.28
Medía	2.5	5	B	15.70
Baja	5.0	10	C	31.41

TABLA NO. 1. VALORES PARA UN MODELO DE ÁREAS DE INFLUENCIAS SOBRE RIESGOS.

Las zonas de influencias por estructuras geológicas (sistemas de fracturamiento-fallamiento). Estas zonas pueden ser definidas desde el punto de vista geológico como aquellas regiones pobladas en donde pueden ocurrir daños o afectaciones propiciadas por un fenómeno natural como un sismo asociado a las estructuras geológicas regionales tectónicamente activas; la interacción de las placas convergentes Norteamérica, Cocos, Rivera y del Pacífico generan esfuerzos de compresión y dilatación que en el continente se expresan superficialmente como un arreglo de sistemas de fallas laterales e izquierdas, un conjunto de fallas llamadas Juchatengo-Chacalapa, que se distribuyen casi paralelamente a la costa del estado de Oaxaca. Las estructuras nos permite relacionar los límites de fallas geológicas y la relación que existen entre ellas en conjunto son fallas de movimientos, con los trabajos de campo nos permite definir las estructuras geológicas para su expresión cartográfica, con ello se tiene un mapa geológico-estructural utilizado para la generación de áreas de riesgos por estructuras geológicas.

El procedimiento para definir las áreas de riesgo por estructuras geológicas consistió en la selección de distancias de influencia equidistantes a partir de las líneas de las estructuras de fallas.

TABLA NO. 2. VALORES DE RANGO PARA EL MODELO DE INFLUENCIAS.

Influencia por estructura geológica	Distancia perpendicular a la estructura en km ²	Radio de influencia en km ²	Rango
Alto	0.5	1.0	A
Medio	1.5	3.0	B
Bajo	5.0	10.0	C

Con esta información se ha generado las extensiones de las estructuras en áreas que se han clasificado en zonas de valor alto, medio y bajo, agrupado en un modelo por estructuras geológicas. Del análisis de la distribución de la zona de influencia por estructuras geológicas se observa que se tiene una mayor concentración en la porción norte del municipio de Ixpantepec Nieves, lo que sugiere que en dicha área ocurre una liberación de energía sísmica constante y de distribución espacial homogénea.

FIGURA NO. 6. EVIDENCIAS DE UNA DESTRUCCIÓN DESPUÉS DEL DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN LA PORCIÓN NORTE DEL MUNICIPIO DE IXPANTEPEC NIEVES, SILACAYOAPAN, OAXACA.



FIGURA NO. 5.- FOTOGRAFÍA DONDE SE OBSERVA EL DESLIZAMIENTO DE LADERAS 4.5M DE DESPLAZAMIENTO LATERAL HACIA EL PONIENTE, 6.5M DE PROFUNDIDAD Y 1.65M DE LONGITUD UBICADO AL NORTE DEL MUNICIPIO DE IXPANTEPEC NIEVES, SILACAYOAPAN, OAXACA.

9. Vulnerabilidad

La marginación y las pobres condiciones de empleo y salud constituyen componentes importantes de una vulnerabilidad social aguda de la zona frente al riesgo y amenazas de la vida cotidiana de la población y la necesidad de invertir energía, tiempo y los escasos recursos disponibles para preocuparse por la prevención o mitigación de los desastres naturales, esto se ha combinado con los altos niveles de pesimismo y conformismo frente a los embates de una naturaleza interpretada como hostil, acto o castigo de la naturaleza; aún entre los sectores más favorecidos de la sociedad y las autoridades municipales de Ixpantepec Nieves, existen grandes deficiencias en cuanto a las técnicas y los niveles de seguridad constructiva y la ubicación de muchas colonias y comunidades, la falta de una conciencia o cálculo adecuado en cuanto a los niveles de amenazas y riesgos naturales existentes; la falta de adecuadas normas o controles sobre la construcción, regulación sobre el uso del suelo o la falta de aplicación de éstas, sitúa una condición de alta vulnerabilidad a amplios sectores de la sociedad más acomodada de la región.



10. Conclusiones

Del análisis de la distribución de la zona de influencia por estructuras geológicas se observa que se tiene una mayor concentración en la porción norte del municipio de Ixpantepec Nieves, lo que sugiere que en dicha área ocurre una liberación de energía sísmica constante y de distribución espacial homogénea.

Esta área obtenida se refiere al riesgo relacionado a la actividad y potencial de las estructuras de fallas geológicas y son las más significativas en el sur de México. Tiene una relevancia importante para el estado de Oaxaca dado que se encuentra en un límite tectónico convergente activo entre las placas tectónicas Norteamérica, Cocos, Rivera y del Pacífico.

La zona más crítica de deslizamientos de laderas se ha encontrado entre las cotas 1800msnm y 2000msnm. Hasta el 8 de diciembre de 2004, se tenía un volumen de deslizamiento activo de 187687m³ y un potencial de 345345m³. Debido a que el proceso es dinámico estos volúmenes seguirán incrementándose por tiempo indefinido, hasta encontrar algún sitio de probable equilibrio.

Riesgo alto: Impacto directo del flujo de material limo-arcilloso a gran velocidad cargado de materiales de gran tamaño (rocas de diferentes diámetros). El flujo puede alcanzar alturas considerables dentro de los cauces. Podrían ser seriamente afectadas las casas habitaciones, vehículos y construcciones ubicadas en las inmediaciones de la carretera principalmente y esto en secuela en forma escalonada aguas arriba y en las calles que bajan directamente desde las pendientes abruptas.

Riesgo moderado: Impacto menor del flujo de material limo-arcilloso a velocidades más bajas y con rocas de menor tamaño. Se podría depositar material limo-arcilloso que llegaría a varios centímetros de espesor. Las personas y vehículos pueden ser afectados si se encuentra en las calles o en las primeras plantas de las casas, llamado también como Riesgo de inundaciones.

Riesgo bajo: Inundación menor, el lodo alcanzará pocos centímetros hasta algunos metros de espesor. Esta zona no representa peligro alguno para personas y edificaciones. Sin embargo se deberá permanecer dentro de los hogares y atento a las indicaciones de las autoridades municipales.

11. Recomendaciones

Llevar a cabo una campaña de limpieza y mantenimiento constante a las principales vías de acceso y a las entradas de agua de las obras de paso en todos los puntos de la carretera.

Hacer conciencia ciudadana que la población se encuentra asentado sobre terrenos con riesgos naturales al que están expuestos todos, por lo que se deben de proteger y tener a la mano documentos importantes (escrituras, cédulas, identificaciones oficiales), preparar brigadas de rescate y seguir instrucciones de las instituciones de socorro y seguridad.

No autorizar construcción de viviendas ni cortes para terracerías de accesos en zonas de riesgo, reforestar el Cerro el pajarito y en toda el arrea de interés con árboles de la región y mejorar las obras de paso en vías de acceso y la construcción de obras de protección.

Contar con la documentación de los estudios geológicos, geológicos-estructurales, edafológicos, mecánica de suelos y la legalización para los futuros asentamientos humanos, educación sobre el uso de suelos y conservación del medio ambiente 

12. Bibliografía

ALENCÁSTER, GLORIA

1963. *Pelecípodos del Jurásico Medio del noroeste de Oaxaca y noreste de Guerrero*. UNAM. México, Paleontología Mexicana n 15. p.52.

BARRERA TOMÁS

1969 *Guía geológica de Oaxaca*. UNAM. Instituto de Geología, Monografía, p.104.

B. ISACKES, J. OLIVER Y L.R.SYKES

1968 *Sismology and new global tectonics*. Res. LXXIII 18, 5858

BUCHARDT, CARLOS

1927 *Cefalópodos del Jurásico Medio de Oaxaca y Guerrero*. Instituto de Geología. México, Bol. 47

CABALLERO, MIRANDA, CECILIA

1989 *Geología y anisotropía magnética del jurásico continental del área Huajuapán de León -Petalcingo, Estado de Oaxaca y Puebla*. UNAM. Tesis de maestría 139p.

CÁRDENAS VÁRGAS, JOSÉ

1966 *Contribución al conocimiento geológico de la Mixteca Oaxaqueña: Minería y Metalurgia*. México n 38. P.107

- CARRASCO, RAMÍREZ, R.
1981 *Geología Jurásica del área de Tlaxiaco Mixteca Oaxaqueña*. UNAM. Facultad de Ciencias. Tesis Maestría.
- ERBEN, H. K.
1965 *Estratigrafía y paleontología del mesozoico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca y Guerrero especialmente del jurásico inferior y medio*. Libreta Guía. p77
- CENTENO-GARCÍA, ELENA,
ORTEGA-GUTIERREZ, FERNANDO Y CORONA ESQUIVEL, R. J.
1990 *Oaxaca fauna del Cenozoico(resumen)* vol. 22 p.13
- FERRUSQUIA-VILAFRANCA, I.
1976 *Estudio Geológico-Paleontológico en la región Mixteca parte I*
- FRIES, C., JR., RINCÓN-ORTEGA, C.
1965 Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de Cronometría de la UNAM. *Boletín del Instituto de Geología UNAM*. No. 73.
- GRAJALES-NISHIMURA, J.M.
1988 *Geology, geochronology and tectonic implications of the Juchatengo green rock sequence, state of Oaxaca, Southern México*. Tesis Maestría 145p.
- LÓPEZ RAMOS ERNESTO.
1969 *Rocas paleozoicas marinas de México*. Bol. Soc. Geol. Méx. V32 p. 15-44
- LÓPEZ-TICHA, D.
1985-1989 *Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la cuenca de Tlaxiaco*; Asoc. Méx. Geol. Petrolero, Bol. 37 p.49-92
- LUÉVANO, ORTEGA, ALVARO
1988 *Mapa geológico del área Villa Silacayoapan, San Jorge Nuchita, Estado de Oaxaca*. UNAM. Tesis prof.
- MALPICA, CRUZ, RODOLFO Y DE LA TORRE LÓPEZ, GUILLERMO.
1980 *Integración estratigráfica del paleozoico de México: IMP*. Proyecto.
- MORÁN-ZENTENO, D. J.
1987 *Paleografía y paleomagnetismo precenozoico del terreno Mixteco: UNAM*. Facultad de ciencias tesis maestría. 177p.
- ORTEGA, GUERRERO, BEATRIZ
1989 *Paleontología y Geología de las unidades clásicas mesozoicas del área Totoltepec-Ixcaquixtla, Estados de Puebla y Oaxaca: UNAM*. Tesis de maestría 155p.
- ORTEGA-GUTIERREZ, F.
1978^a *Estratigrafía del complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estado de Puebla y Oaxaca*. UNAM. Insti, Geol, Revista V2 p112-131
- ORTEGA-GUTIERREZ, F.
1978b. *Notas sobre la Geología del área entre Santa Cruz y Ayuquilla, Estados de Puebla y Oaxaca, UNAM*. Inst. Geol. Paleont.. Méx. 44 p17-26
- PANTOJA-ALOR, JERGES
1970 *Rocas sedimentarias paleozoicas de la región centroseptentrional de Oaxaca*. Libro Guía, p67-84
- PÉREZ, IBARGÜENGOITIA, J. M, HOKUTO-CASTILLO, ALFONSO Y CSERNA, ZOLTAN DE
1965 *Reconocimiento geológico del área de petlalingo-Santa Cruz, municipio de Acatlán, Estado de Puebla: UNAM*. Inst. De Geol. Y Paleon. Mex. 53p.
- RODRIGUEZ, TORRES, RAFAEL
1970 *Geología metamórfica del área de Acatlán, Estado de Puebla, Méx*. Libro Guía p51-54
- RUIZ-CASTELLANOS, M.
1970 *Reconocimiento Geológico en el área de Amatlán-Mariscala, Estado de Oaxaca*. Soc. Geol. Mex. Libro Guía p55-56
- SCHLAEPFER, C. J.
1970 *Geología Terciaria del área de Yanhuatlán-Nochixtlán, Oaxaca*. Soc. Geol. Mex. Libro Guía. P85-86
- W.S.MORGA Y X LEPICHON.
1969 *Rises trenches, great faults and cristal blocks en geophys res LXXIII, 6*