


Unión Geofísica Mexicana, A.C.

Geofísica



Isla de
Guadalupe

Ortiz: Vientos Santa Ana

Volumen 29
No. 2
Mayo de 2010

GEOS

<http://www.ugm.org.mx/geos.html>

BOLETÍN INFORMATIVO DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

GEOS se publica dos veces al año patrocinada por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y editada conjuntamente por la UGM y el CICESE.

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. Mesa Directiva 2010-2011

Dr. Julián Adem Chain
Presidente Honorario

Dr. José Manuel Romo Jones
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Presidente

Dr. Avto Gogichaisvili
Instituto de Geofísica, UNAM
Vicepresidente

Dr. Héctor López Loera
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica
Secretario General

Dr. Raúl Castro Escamilla
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Secretario de Investigación

Dr. Claudia Arango Galván
Instituto de Geofísica, UNAM
Secretario de Difusión

Dr. Xyoli Pérez Campos
Instituto de Geofísica, UNAM
Secretario de Educación

Dr. Víctor Manuel Wong Ortega
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Tesorero

GEOS, boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, contiene artículos de investigación originales, artículos de divulgación, notas cortas, aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra, así como noticias de interés para los miembros de la UGM. Las instrucciones para los autores se encuentran al final de cada número y en <http://www.ugm.org.mx/geos.html>

Dirigir toda correspondencia a:
Editorial GEOS
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
ldelgado@cicese.mx
Tel.en Ensenada B.C.: (646)175-0500, Ext. 26060

Editores Principales

Luis A. Delgado Argote
ldelgado@cicese.mx
CICESE

Claudia Arango Galván
claudiar@geofisica.unam.mx
UGM

Comité Editorial

Harald Böhnelt, UNAM
Noel Carbajal Pérez, IPICYT
Oscar Campos, UNAM
Gerardo Carrasco, UNAM
Ana Luisa Carreño, UNAM
Carlos Flores Luna, CICESE
Juan García Abdeslem, CICESE
René Garduño, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Manuel Grajales N., Instituto Mexicano del Petróleo
Margarita López Martínez, CICESE
Alejandro Hinojosa Corona, CICESE
Miguel Lavín Peregrina, CICESE
Luis Munguía Orozco, CICESE
Jorge Ledesma Vázquez, UABC
Domitilo Pereyra, Universidad Veracruzana
Francisco José Sánchez Sesma, UNAM
Miguel Téllez, UABC
Gustavo Tolson, UNAM
Carlos Suárez Plascencia, Universidad de Guadalajara

Apoyo Técnico Editorial

Marcela Cruz Navarro - marce_cn@hotmail.com
María Cristina Álvarez Astorga
Alejandro F. Nava Pichardo

Título: GEOS

Periodicidad: semestral

ISSN: 0186-1891

Editado en la División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Carret. Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas 22860, Ensenada B.C., México.

EDITORIAL	...233
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
CAPACIDAD DE LOCALIZACIÓN DE UNA RED SISMOGRÁFICA F. Alejandro Nava, José Acosta y José Frez	...234
AGITACIÓN POR OLEAJE EN EL PUERTO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO MEDIDAS DE ATENUACIÓN Modesto Ortiz Figueroa	...240
REPORTES	
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RIESGOS DEBIDOS A LA GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA URBANA ZACATECAS- GUADALUPE Y SUS ALREDEDOR Felipe de Jesús Escalona-Alcázar	...250
INCIDENCIA DE LA GEOMORFOLOGÍA EN LOS DESLIZAMIENTOS DE LAS CARRETERAS DE BELTRÁN, GUANTÁNAMO, CUBA Sandra Y. Rosabal Domínguez, José A. Zapata Balanque, Joel Gómez	...255
LOS COLORES DEL CIELO Y LA XIV OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA Enrique Gómez Treviño	...267
NOTA	
“CONDICIÓN SANTA ANA”...NO TODO ES VIENTO SECO, ALERGIAS E INCENDIOS FORESTALES Modesto Ortiz Figueroa	...278
COMUNICACIONES	
POLÍTICA EDITORIAL	...280

Cambios en la periodicidad de GEOS

El retraso de casi un semestre de este editorial tiene varias razones: una obedece a un cambio en la política editorial; otra, a un cambio en la economía nacional y la última a algunos ajustes presupuestales que se ligan a la economía del nivel inmediato superior.

Dándole seguimiento a la práctica que hemos seguido desde hace dos años, en la que los artículos arbitrados y aceptados de acuerdo con las normas para trabajos de investigación, divulgación, así como notas y reportes, están disponibles en la página de la UGM, a partir de 2009 GEOS publicará dos números al año: uno con los resúmenes de la reunión anual y otro con artículos. Anteriormente, se editaban dos números y el de resúmenes. De esta forma, el número uno de cada año será el libro de resúmenes y, en el número dos, se reunirán todos los trabajos aceptados del año que corresponda. Los artículos editados durante el año estarán disponibles en el portal de la UGM (<http://www.ugm.org.mx>). La segunda razón es económica y se refiere a los ajustes presupuestales que debemos hacer en nuestras instituciones pues, aunque numéricamente los fondos de operación de las Instituciones de Educación Superior (IES) son similares año tras año, el valor de la moneda sigue una tendencia irremediamente a la baja. No es este el lugar para hacer comentarios sobre la ineficiente política nacional en materia de ciencia y tecnología pues ya en diferentes foros organizados por la Academia Mexicana de Ciencias el tema es recurrente. Para muestra, sólo hay que observar la reducción de 0.34 a 0.33 por ciento del PIB que ha sufrido el presupuesto en ciencia y tecnología. Los reportes de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) dan cuenta de lo anterior al mencionar que siendo la economía de México la decimotercera del mundo, es el país más rezagado entre las naciones que conforman la Organización en cuanto al gasto en investigación y desarrollo. De acuerdo con el panorama anterior, a GEOS no le queda más remedio que ser congruente con la política de austeridad dictada desde la Secretaría de Hacienda y transmitida por el CONACYT.

Es conveniente señalar también que en los últimos tres años la cantidad de trabajos recibidos por la revista, así como la proporción de aceptados, ha disminuido considerablemente. Esta situación podría revertirse si de nuevo pensamos en GEOS como un instrumento educativo en donde los estudiantes de las IES, sobre todo aquellas que imparten educación de posgrado, puedan desarrollar sus primeros artículos de investigación formal. GEOS puede ser un instrumento transmisor de conocimiento en nuestro idioma hacia un público muy amplio.

CAPACIDAD DE LOCALIZACIÓN DE UNA RED SISMOGRÁFICA

F. Alejandro Nava, José Acosta y José Frez

Departamento de Sismología,

División de Ciencias de la Tierra, CICESE

E-mail: fnava@cicese.mx, jchang@cicese.mx, jofrez@cicese.mx

RESUMEN

Se presenta un método para estimar la capacidad de localización hipocentral de una red de sismógrafos en un área determinada, que es la probabilidad de que haya cobertura suficiente para la localización para cada punto del área considerada. El método considera la distribución espacial de las estaciones y requiere de una ley de atenuación y de una relación Gutenberg-Richter. Se presenta, como ejemplo de motivación y aplicación, el análisis de la capacidad de una red sismográfica para interpretar los resultados de un estudio de microsismicidad efectuado en la falla de Agua Blanca, en Baja California, México. El método puede ser generalizado para el diseño de redes sismográficas.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo propone un método simple para determinar el efecto de la distribución espacial de las estaciones de una red sismográfica en su capacidad de localización. Discutiremos el problema para el caso 2D, cuando no hay gran variación en las profundidades hipocentrales, pero el método es inmediatamente extensible a 3D.

Es obvio que una red sismográfica tiene mejor capacidad de localización donde la densidad de estaciones es mayor. Sin embargo, a veces conviene tener una estimación cuantitativa de dicha capacidad con objeto de ayudar en la interpretación de la sismicidad registrada. La estimación cuantitativa permite discriminar las agrupaciones espaciales o temporales reales de aquellas que son artefactos de la distribución de las estaciones sísmicas. Permite también interpretar adecuadamente diferencias en parámetros como la magnitud de cobertura completa (Wiemer y Wyss, 2000) o aparentes

cambios de magnitud en el tiempo (Zúñiga y Wyss, 1995) debidos a cambios geográficos de actividad a regiones con mejor o peor cobertura.

El problema de detección de datos telesísmicos, orientado principalmente a la detección de explosiones nucleares, ha sido ampliamente tratado para redes de gran apertura y complejos arreglos diseñados para dicho fin; pero el problema de detección para redes locales o regionales enfocadas al estudio de sismos naturales no ha recibido la misma atención. Con el fin de estimar la capacidad de detección/localización de estas redes Gombert (1991) utiliza el modelo de atenuación de la fórmula de magnitud para estimar la capacidad de detección en estaciones particulares y de allí obtiene una amplitud de detección promedio para los puntos de interés; Schorlemmer y Woessner (2008) parten de probabilidades para cada estación, estimadas a partir de estadísticas de fases sísmicas observadas, y a partir de éstas

obtienen probabilidades síntesis para la región de interés. El método aquí propuesto utiliza un método más directo que requiere menos suposiciones que los arriba mencionados.

Ilustraremos el método propuesto con un ejemplo de monitoreo exploratorio de la actividad sísmica en la falla de Agua Blanca, situada al sur de la ciudad de Ensenada en Baja California, México. El objetivo del estudio fue contribuir a determinar si dicha falla es actualmente activa; no presentamos aquí detalles sobre tectónica, geología, análisis sísmológico o conclusiones finales, que son reportadas en Frez et al. (2009). Aquí sólo es mencionado el efecto de la distribución de estaciones de la red en el análisis de la distribución espacial de sismos.

La Figura 1 muestra la región de la falla de Agua Blanca, en el norte de Baja California, e indica por un polígono convexo, el área de estudio que cubre unos 15 km a ambos lados de la falla,

contenida dentro de la red de 41 estaciones portátiles de periodo corto y tres componentes, que operó durante dos meses en 2001. La Figura 1 muestra también los epicentros de los sismos localizados durante el monitoreo en cuestión; puede verse una concentración de epicentros que forma un nido sísmico en el valle de la Trinidad y que claramente no representa actividad en la falla de Agua Blanca y, por tanto, no será tomada en cuenta con respecto a esta actividad.

Del análisis de las localizaciones y de la distribución en profundidad de los hipocentros dentro del polígono, por razones que se detallan en Frez et al. (2009) y que no vienen al caso para la presente discusión, decidimos considerar como posible actividad asociada con la falla, aquellos eventos cuyos epicentros se encuentran en una banda de 8km de ancho a lo largo del trazo principal de la falla (Figura1). Si planteamos como hipótesis nula que la presencia de la falla de Agua Blanca (o de alguna otra zona sismogénica en

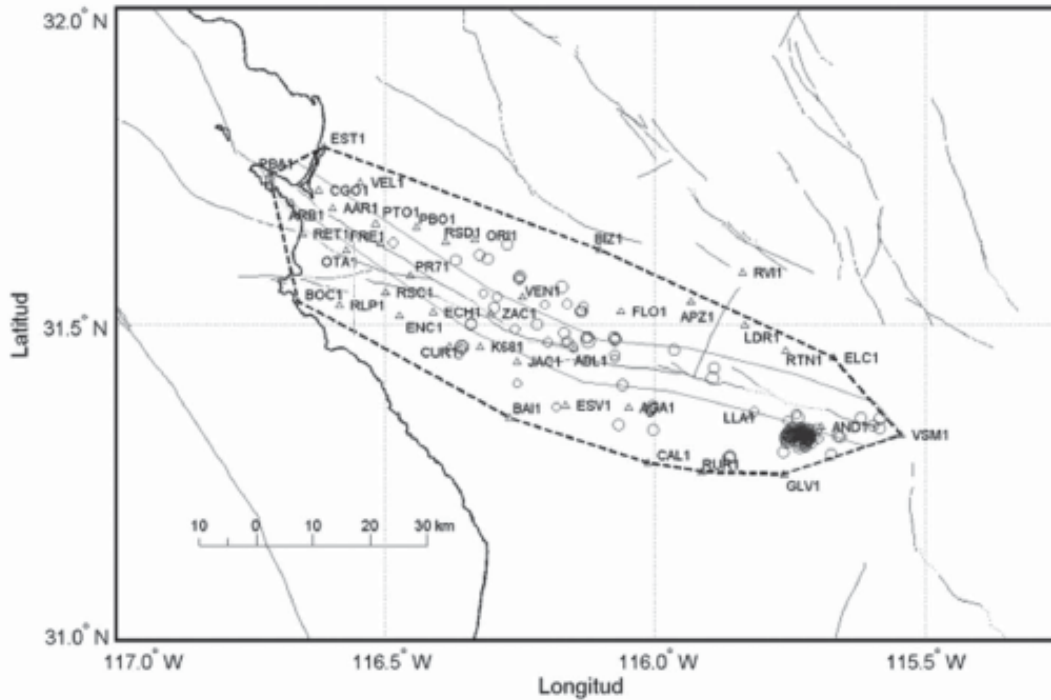


Figura 1. Mapa que muestra la región de la falla de Agua Blanca, el arreglo de estaciones (triángulos), el área de estudio (polígono convexo, línea punteada), la sismicidad localizada dentro del área de estudio y la banda, mencionada en el texto, alrededor de la falla (polígono de línea continua).

el área) no tiene influencia sobre la distribución de eventos en la región, entonces los eventos estarían repartidos de manera uniforme sobre el área de estudio, y la probabilidad de que un epicentro caiga dentro de la banda corresponde a la razón de áreas de banda y polígono $p_0 = 0.2663$. Del total de 56 eventos dentro del polígono, 25 están dentro de la banda y la probabilidad binomial de esta proporción es

$$\Pr(25,56 | p_0) = C_{56,25} p_0^{25} (1-p_0)^{56-25} = 0.0016,$$

lo que nos permite rechazar la hipótesis nula al nivel de confianza de 99.7 %. Por tanto, se podría concluir que sí hay actividad asociada con la falla de Agua Blanca. Sin embargo, surge la pregunta: Dado que la red sismográfica fue instalada expresamente para observar la actividad asociada con la falla, ¿puede la concentración observada en la banda ser un artefacto de la distribución espacial de la red? Para contestar esta muy pertinente pregunta, empleamos el método descrito a continuación.

MÉTODO

El método, de sencilla aplicación, consiste en determinar, para un área de estudio dada, dónde es más probable que la ocurrencia de sismos de distintos tamaños pueda ser registrada por un número de estaciones $N \geq N_{crit}$ donde N_{crit} es considerado el mínimo que permite obtener una localización confiable. Llamamos criterio de cobertura adecuada a tener $N \geq N_{crit}$ y cobertura acimutal adecuada. El criterio puede considerar otros factores según necesidades particulares.

El método consta de los siguientes pasos:

La primera etapa consiste en definir el arreglo de estaciones de la red sismográfica y el área considerada.

La segunda etapa consiste en definir un arreglo de puntos dentro del área, los cuales servirán como epicentros para probar la sensibilidad de la red de estaciones.

La tercera etapa consiste en determinar, para cada punto del arreglo, es decir para cada epicentro simulado, la distancia radial mínima, r , dentro de la cual se cumple el criterio de cobertura adecuado. Para toda la red se determina la distancia mínima r_a para la cual todos puntos del arreglo tienen cobertura adecuada, y la distancia mínima r_{min} para la cual hay al menos un punto con cobertura adecuada.

La cuarta etapa consiste en evaluar la sensibilidad de cada punto, mediante tres procesos:

1. A partir de la mínima magnitud con cobertura apropiada, M_a (magnitud de completez (Wiemer y Wyss, 2000)), determinada del histograma Gutenberg-Richter (G-R) (Gutenberg y Richter, 1954) para la zona de estudio, y la distancia r_a , se determina la mínima amplitud observable sobre el nivel de ruido. Esta determinación se puede hacer con base en alguna relación de atenuación (teórica o empírica); nosotros utilizamos $A_0(r)$ de la fórmula para la magnitud de Richter (Richter, 1958),

$$M = \log A - \log A_0(r) \quad (1)$$

Si los instrumentos no son todos iguales, o los sitios tienen respuestas locales muy diferentes, será necesario introducir correcciones por instrumento.

2. A partir de dicha amplitud se determina, con base en la misma curva de atenuación, la mínima magnitud observable M_r , para cada r .

3. De la relación G-R,

$$\log N(M) = a - b M \quad (2)$$

se estima para cada r el número de sismos esperados, N_r (sismos con magnitudes $M \geq M_r$).

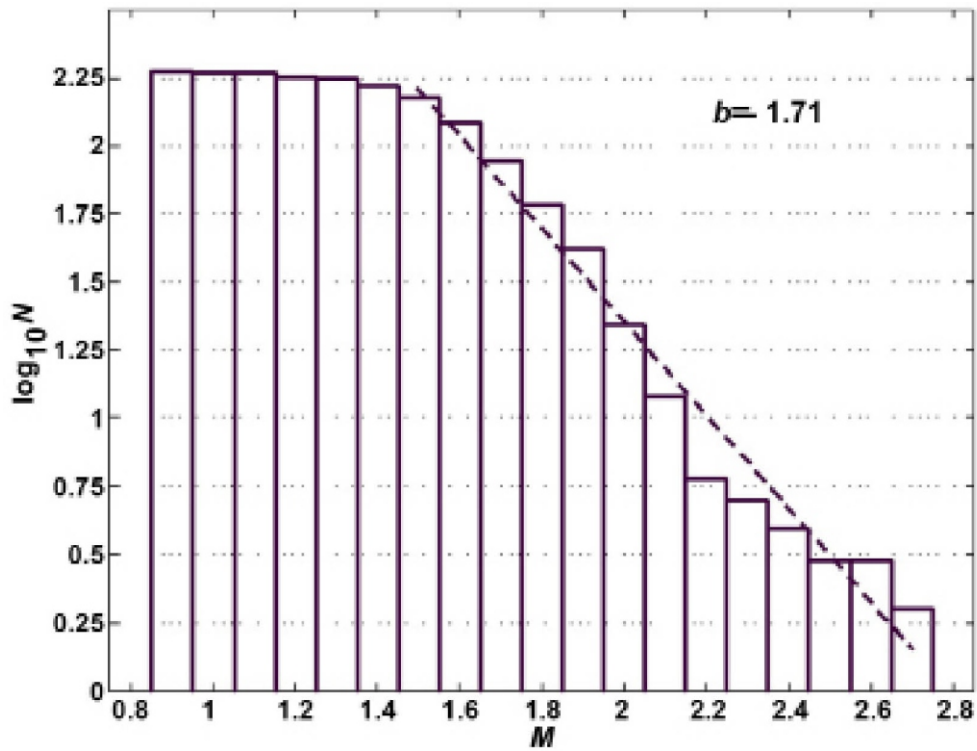


Figura 2. Histograma Gutenberg-Richter observado, donde $N(M)$ es el número de sismos con magnitud $\geq M$.

4. Se calcula la probabilidad P_r asociada a cada punto mediante la normalización de los valores N_r por el número total de sismos esperados para M_{\min} , la mínima magnitud observada por algunas estaciones de la red, $N(M_{\min})$, de manera que el o los puntos que registren todos los sismos tengan probabilidad uno.

EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación se describe con mayor detalle las cuatro etapas del método, junto con la descripción de su implementación.

El área definida en la primera etapa es usual, pero no necesariamente, el área contenida dentro de la red; esto es, los puntos internos a los triángulos formados por las combinaciones de estaciones tomadas de tres en tres (puede obtenerse

como el menor polígono convexo que contiene a las estaciones). El área considerada en nuestro ejemplo es el polígono convexo mostrado en la figura 1. En esta etapa se determina la magnitud más pequeña detectada por la red sismográfica M_{\min} , y la magnitud mínima M_a , que sigue el patrón de Gutenberg-Richter.

El arreglo de puntos de la segunda etapa puede tener cualquier distribución que permita observar variaciones en la sensibilidad de la red sismográfica; sin embargo es recomendable emplear los nodos de una malla regular, ya que las distancias entre nodos determinan el nivel de detalle del estudio. En nuestro ejemplo, consideramos una malla con elementos de $0.5 \times 0.5 \text{ km}^2$.

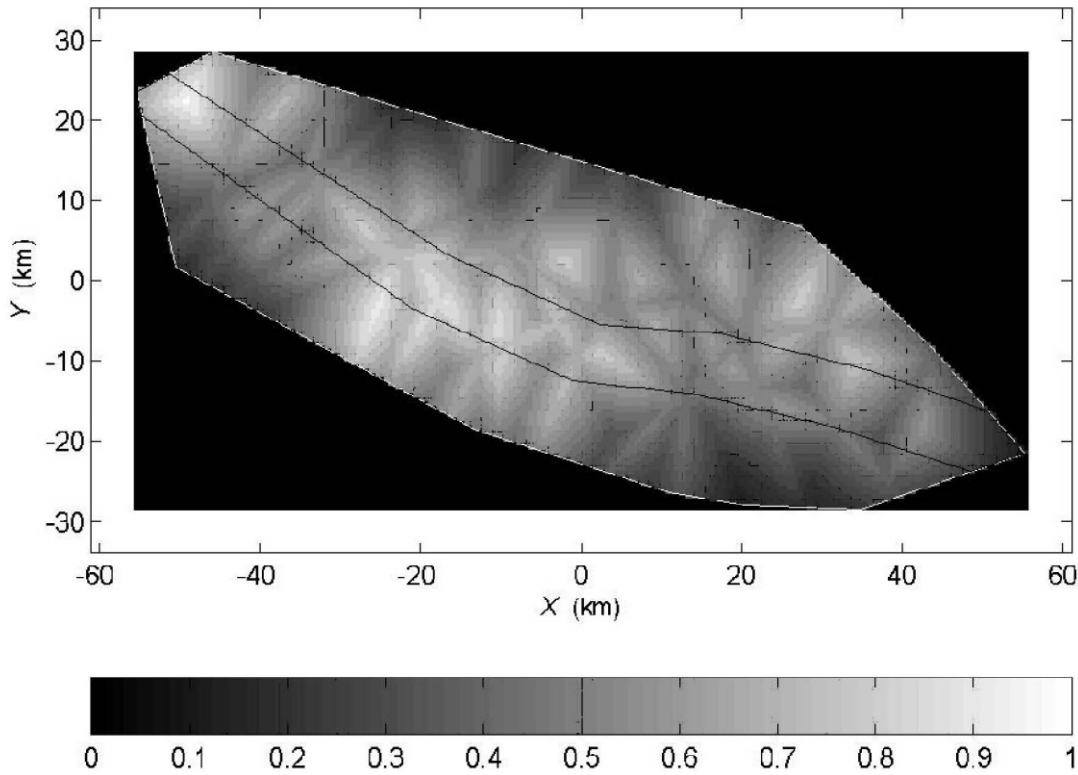


Figura 3. Probabilidades de cobertura adecuada en el área de estudio.

La búsqueda de la distancia radial mínima de la tercera etapa se realiza para cada uno de los nodos de la malla, probando si el criterio de cobertura apropiada es satisfecho para distancias que decrecen a partir de r_a en decrementos Δr . Como r_a no se conoce inicialmente, se utiliza una distancia inicial grande, del orden de la separación media entre estaciones y r_a se determina a posteriori. La precisión de las determinaciones aumenta conforme disminuye Δr , pero los resultados finales no dependen fuertemente de dicha precisión. Para nuestro ejemplo, $r_a=27$ km, $\Delta r=1$ km y $r_{\min}=7$ km.

Para la cuarta etapa, el histograma G-R de todos los sismos registrados en el área, mostrado en la Figura 2, indica que la cobertura es adecuada para sismos con magnitud mayor o igual a $M_a=1.5$ y que no fue posible localizar sismos para magnitudes menores a $M_{\min}=1.1$; estas magnitudes deben aproximadamente corresponder, por tanto, a los alcances r_a y r_{\min} , respectivamente.

Donde la cobertura es completa el histograma G-R es ajustado por la recta $\log N(M)=4.77-1.71M$, de donde calculamos $N_r=N(r)$ y, finalmente P_r .

La Figura 3 muestra las probabilidades resultantes del análisis, codificadas en color (edición electrónica) o tonos de gris (edición impresa) según la barra de la parte inferior; los tonos más claros corresponden a las probabilidades más altas. Vemos que las probabilidades son más bien altas para la banda a lo largo de la falla, y la probabilidad de que un epicentro se encuentre en esta banda, de acuerdo a la hipótesis nula, aumenta a $p=0.3047$.

La correspondiente probabilidad $\Pr(25,56|p)=0.0089$, permite rechazar la hipótesis nula al nivel de confianza de 98.2%, con la seguridad de que la concentración observada no es artefacto de la geometría de la red.

CONCLUSIONES

Presentamos un método para estimar la probabilidad de cobertura adecuada para una red sismográfica y mostramos un ejemplo de aplicación. Obviamente, es posible dar muchas otras aplicaciones al conocimiento de dicha probabilidad, incluyendo el propio diseño de redes. Para diseño, r_a y r_{\min} son determinados a partir de la distribución propuesta de estaciones; obviamente no se cuenta con un histograma G-R medido por la red, por lo que es necesario determinar M_a y M_{\min} a partir de observaciones de ruido en los sitios propuestos y una curva de atenuación, empírica o teórica; para estimar $N(M)$ puede usarse una relación G-R regional o aproximar ésta con un valor estándar $b \sim 1$.

El caso común de que la red tenga diferentes configuraciones para distintos periodos, puede ser fácilmente tratado considerando cada configuración por separado o, si se desea, obtener una probabilidad promedio sumando ponderadamente las probabilidades para las distintas configuraciones y renormalizando.

Debido a las particulares características del estudio de ejemplo, el método pudo emplearse en su forma más simple, pero es sencillo adecuarlo para tratar complicaciones como instrumentos con distintas amplificaciones, estaciones con elevaciones significativas, o estimación de probabilidades en un volumen tridimensional.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento a los colegas que arbitraron este trabajo. Agradecemos a Ramón Zúñiga sus valiosos comentarios. Esta investigación fue financiada por CONACYT, proyecto 35228-T, y CICESE.

REFERENCIAS

- Frez, J., Acosta, J., Nava, F., Suárez, F., González, J., Arellano, G., Álvarez, S., Carlos, J., García-Arthur, R. y Alvarez, M. (2009) Microseismicity studies in northern Baja California, Mexico: the Agua Blanca fault, Bull.Seismol.Soc.Am., sometido.
- Gomberg, J. (1991) Seismicity and detection/location threshold in the southern Great Basins seismic network. J.Geophys.Res.96,16401-16414.
- Gutenberg, B. & Richter, C. (1954) Seismicity of the Earth and related phenomena. Princeton Univ.Press, 768pp.
- Richter, C. (1958) Elementary seismology. W.H.Freeman & Co, USA, 768pp.
- Schorlemmer, D. y Woessner, J. (2008) Probability of Detecting an Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America 98, 2103-2117; DOI:10.1785/0120070105,
- Wiemer, S. y Wyss, M. (2000) Minimum Magnitude of Completeness in Earthquake Catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan. Bull. Seismol.Soc.Am. 90, 859-869.
- Zúñiga, R. y Wyss, M. (1995) Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: Influence on b-value estimates. Bull. Seismol.Soc.Am.85,1858-1866.

Recepción del manuscrito: 13 de abril 2009

Aceptación del manuscrito: 4 de agosto 2009

AGITACIÓN POR OLAJE EN EL PUERTO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA: MÉXICO MEDIDAS DE ATENUACIÓN

Modesto Ortiz Figueroa

Centro de investigación Científica y de educación Superior de Ensenada, B. C.

Departamento de Oceanografía Física, Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada

Tel. (646) 175-0500 Ext. 24045, ortizf@cicese.mx

Ensenada, Baja California, CP 22860, México

RESUMEN

En este trabajo se analiza el problema de agitación por oleaje en el Puerto de Ensenada, Baja California, México, y se proponen medidas de atenuación que a su vez se analizan mediante la simulación del oleaje en el puerto con un modelo numérico de propagación de olas para oleaje proveniente tanto del noroeste como del suroeste. Las medidas de atenuación que se proponen son: La prolongación de la escollera principal con una escollera impermeable de ~400 metros de longitud o la prolongación de la escollera principal con una escollera permeable de ~400 metros de longitud con 70% de impedancia en la altura del oleaje que se transmite.

ABSTRACT

The problem of wave agitation in the harbor of Ensenada, Baja California, México, as well as solutions for wave attenuation in the harbor, are analyzed by means of the numerical simulation of waves propagating from two directions, northwest and southwest. The solutions proposed here are: The increasing of ~400 meters in the length of the main breakwater, or the increase of ~400 meters in the length of the main breakwater by means of a permeable breakwater, with 70% of impedance for the transmitting wave height.

Palabras clave: Oleaje, difracción, Escolleras, Puerto de Ensenada.

Keywords: Wind waves, diffraction, breakwaters, Ensenada harbor

INTRODUCCIÓN

El puerto de Ensenada, Baja California, se localiza en la Bahía de Todos Santos en el Noroeste de México (Figura 1). A pesar de que es el puerto de altura más importante en la región, el oleaje en su interior ha hecho que los navegantes lo caractericen como "un puerto muy agitado" (comunicación personal, Director de Astilleros, 2008). Este efecto no deseado del oleaje se debe a que se han construido nuevas escolleras a demanda de necesidades específicas que han sobrepasado las expectativas del desarrollo del puerto a largo plazo. La cronología de las escolleras del puerto explica el problema de agitación por oleaje, motivo por el que en este trabajo se describe muy brevemente la cronología de cuatro de sus escolleras y se discute el efecto de éstas en el oleaje que se propaga al interior del puerto. Una cronología completa tanto de de las escolleras como de las variaciones morfológicas del Puerto de Ensenada entre los años 1935 y 2001 se encuentra en Sepúlveda (2003).

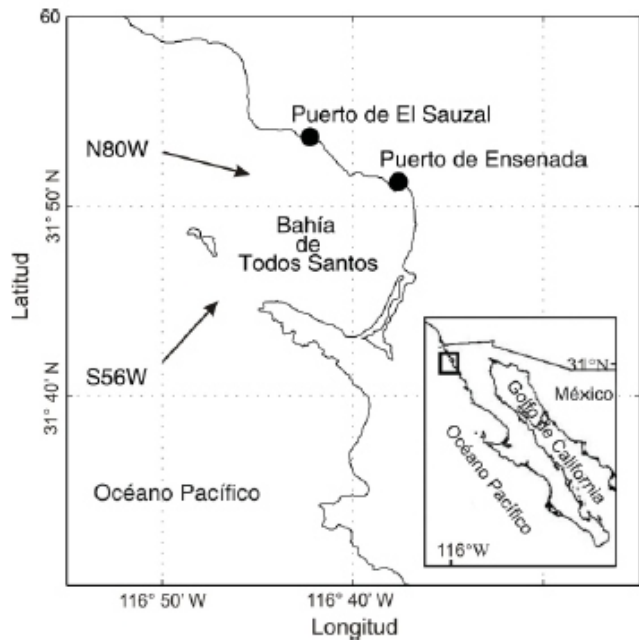


Figura 1. Localización del puerto de Ensenada, Baja California y vectores que muestran las dos direcciones de oleaje que se emplearon en este trabajo para el modelo de propagación de olas.

Cronología de las escolleras del puerto

La escollera principal o rompeolas del Puerto de Ensenada, con una longitud de 1650 metros (Figura 2), se construyó entre los años 1951-1955 con rocas que fueron extraídas del cerro "El Vigía", aledaño al puerto. En esos años no se construyeron escolleras adicionales que delimitaran el perímetro del puerto y consecuentemente la agitación por oleaje al interior era considerable debido a que la escollera principal solamente protegía a las embarcaciones del embate directo de las olas, permitiendo que el oleaje difractado al final de la escollera entrara sin obstáculos al interior.

La segunda escollera data del año 1955. Esta escollera inició su operación como un espigón de escasos 150 metros de longitud para apoyar las maniobras de la empresa cementera. El espigón operó sin cambios en su longitud hasta el año 1978. La prolongación del espigón hasta su longitud actual culminó en el año 1980.

Aun cuando esta escollera delimitó parcialmente el perímetro del puerto, ésta se construyó afuera del abrigo de la escollera principal, permitiendo que una fracción considerable del oleaje entrara sin obstáculos e incidiera directamente en el área de operaciones de la empresa cementera. En lugar de prolongar la escollera principal para dar abrigo a la escollera secundaria, se construyó en el año 1993 una tercera escollera o espolón orientado hacia el interior del puerto. Sobra decir que tanto la segunda escollera como el espolón se construyeron para satisfacer las necesidades específicas de la empresa cementera, sin considerar su efecto en el resto del puerto.

A manera de ejemplo para ilustrar una configuración adecuada entre una escollera principal y una escollera secundaria se muestra el Puerto de El Sauzal (Figura 3), ubicado a escasos 8 kilómetros al noroeste del Puerto de Ensenada. En El Sauzal, la escollera principal abraja a la escollera secundaria para impedir que el oleaje se propague directamente al interior del puerto.



Figura 2. Imagen del puerto de Ensenada, Baja California, que ilustra la cronología de tres de sus escolleras: La principal data del año 1955 y se indica con el numero 1; la segunda escollera en el extremo Sur del puerto data del año 1980 y se indica con el numero 2 y, una tercera escollera o espolón, data del año 1993 y se indica con el numero 3. Imagen INEGI, noviembre, 1993.

A finales del año 2006 se construyó en la parte sur del Puerto de Ensenada una cuarta escollera de 320 metros de longitud, orientada hacia el exterior del puerto y paralela al canal de navegación, partiendo del extremo oeste de la segunda escollera. En la Figura 4 se muestra una imagen reciente del puerto en donde se indica la ubicación de la cuarta escollera.

Intuitivamente, considerando las leyes de incidencia y reflexión de ondas, se aprecia en la figura que la cuarta escollera reflejará al interior del puerto el oleaje proveniente tanto del noroeste como del suroeste. De hecho, a raíz de esta escollera se agudizó el problema de agitación por oleaje en el interior del puerto (comunicación personal, usuarios del puerto de Ensenada, 2008). Al igual que la segunda escollera, es evidente que la cuarta escollera se construyó para satisfacer necesidades específicas, sin considerar su efecto en el resto del puerto.

La solución para atenuar la agitación por oleaje en el Puerto de Ensenada ha sido y es la prolongación de la escollera principal de tal forma que ahora debe abrigar a la cuarta escollera, motivo por el que las medidas de atenuación que se proponen son:

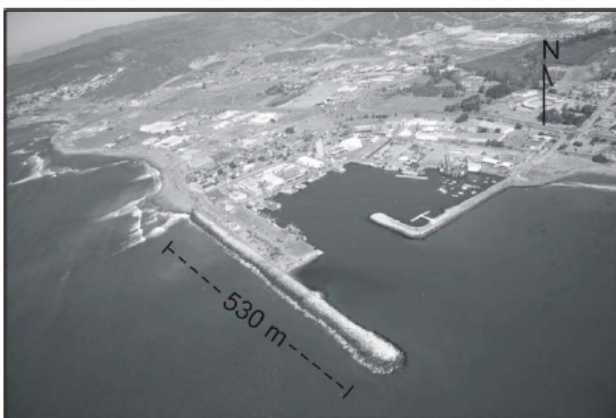


Figura 3. Puerto El Sauzal, Baja California, donde se ilustra una configuración adecuada entre la escollera principal y la escollera secundaria. Imagen cortesía de Servicios Portuarios S.A. de C.V., junio, 2003.



Figura 4. Fotografía del puerto de Ensenada, Baja California, que muestra la cuarta escollera (4) en el extremo sur del puerto, construida en el año 2006, cuya longitud es de 320 m de longitud. Imagen DigitalGlobe, enero, 2008.

La prolongación de la escollera principal con una escollera impermeable de ~400 metros de longitud, o la prolongación de la escollera principal con una escollera permeable de ~400 metros de longitud con impedancia suficiente para atenuar sustancialmente la altura del oleaje que se trasmite. En este trabajo se analizan las escolleras propuestas en función de la atenuación del oleaje al interior del puerto de manera independiente al costo de construcción de las mismas.

El modelo de propagación de oleaje

El oleaje más frecuente en la Bahía de Todos Santos proviene del noroeste y las olas más altas se observan en invierno. Con menor frecuencia y de menor altura se observa oleaje del suroeste, principalmente durante el verano. En particular, el oleaje más energético observado frente a la escollera principal del Puerto de Ensenada tiene períodos de 12 a 16 segundos (Martínez y Nava, 1987), motivo por el que en el modelo de propagación de olas se considerará el período de 15 segundos como representativo del oleaje en el puerto.

En la proximidad del puerto y en el interior de éste, en donde las profundidades son de ~15 metros, las olas con períodos de 12 a 16 segundos tienen una longitud de onda ~10 veces mayor que la profundidad del agua en donde se propagan, lo que permite simular adecuadamente la propagación del oleaje empleando las ecuaciones del modelo de propagación de ondas largas o barotrópicas comúnmente conocido en la literatura como el Modelo de Aguas Someras. En este trabajo se empleará el modelo de propagación de ondas de Goto et al. (1997), que resuelve numéricamente las ecuaciones del Modelo de Aguas Someras:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{U^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{UV}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gm^2}{D^{7/3}} U \sqrt{U^2 + V^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{UV}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{V^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gm^2}{D^{7/3}} V \sqrt{U^2 + V^2} = 0$$

La ecuación (1) representa la conservación de masa y las ecuaciones (2) representan la conservación de momentum en las direcciones perpendiculares x-y, respectivamente.

En el conjunto de ecuaciones (1) y (2), t es el tiempo, η representa el desplazamiento vertical de la superficie del agua respecto al nivel de medio del mar, g es la aceleración de la gravedad, h la profundidad media de la columna de agua (modelo digital de la batimetría). $D = (\eta+h)$ representa la profundidad instantánea de la columna de agua. U y V son las velocidades (integradas verticalmente) del flujo de agua en las direcciones perpendiculares x-y, respectivamente. La fuerza de fricción en el fondo se controla con el parámetro de rugosidad de Manning (m). Para la integración de las ecuaciones (1) y (2) se prescribió un paso de tiempo de $\frac{1}{4}$ de segundo y se simuló una hora de tiempo real hasta alcanzar un estado cuasi-estacionario del oleaje en el puerto.

El modelo digital del puerto o dominio espacial para la integración numérica del conjunto de ecuaciones (1) y (2) se confeccionó interpolando la batimetría en una malla rectangular con resolución espacial de 5 metros. En la Figura 5 se muestra el modelo digital de la batimetría considerando las cuatro configuraciones del puerto que se emplearon en este trabajo. En particular, la escollera permeable que se indica en la Figura 5d se confeccionó con una impedancia de 70%, es decir, la amplitud de las olas se reduce en 70% al propagarse a través de ésta. La impedancia de la escollera en el modelo numérico se prescribió con un "peine" de columnas o pilotes equidistantes que impiden naturalmente el 50% del flujo de agua (50% de impedancia). Para lograr la impedancia del 70% se aumentó artificialmente la disipación de momentum en las ecuaciones (2), aumentando artificialmente (a prueba y error) el valor del parámetro de rugosidad de Manning (m) en los nodos del modelo que corresponden a los espacios vacíos del peine de columnas. No se observaron cambios significativos en la atenuación del oleaje en experimentos numéricos con escolleras permeables con impedancias menores al 50%. No se hicieron experimentos con escolleras permeables con impedancias mayores al 70% por considerar que impedancias mayores se pueden suplir con escolleras impermeables.

Resultados del modelo de propagación de olas

A manera de ejemplo para ilustrar los resultados del modelo de propagación de olas se muestran cuatro registros sintéticos de oleaje (Figura 6), todos ellos resultantes de oleaje con periodo de 15 segundos proveniente del noroeste.

Los cuatro registros de oleaje sintético que se muestran en la Figura 6 corresponden a una misma localidad en el extremo noroeste del interior del puerto, y cada registro, como se indica en la figura, corresponde a cada una de las cuatro configuraciones del puerto que se muestran en la

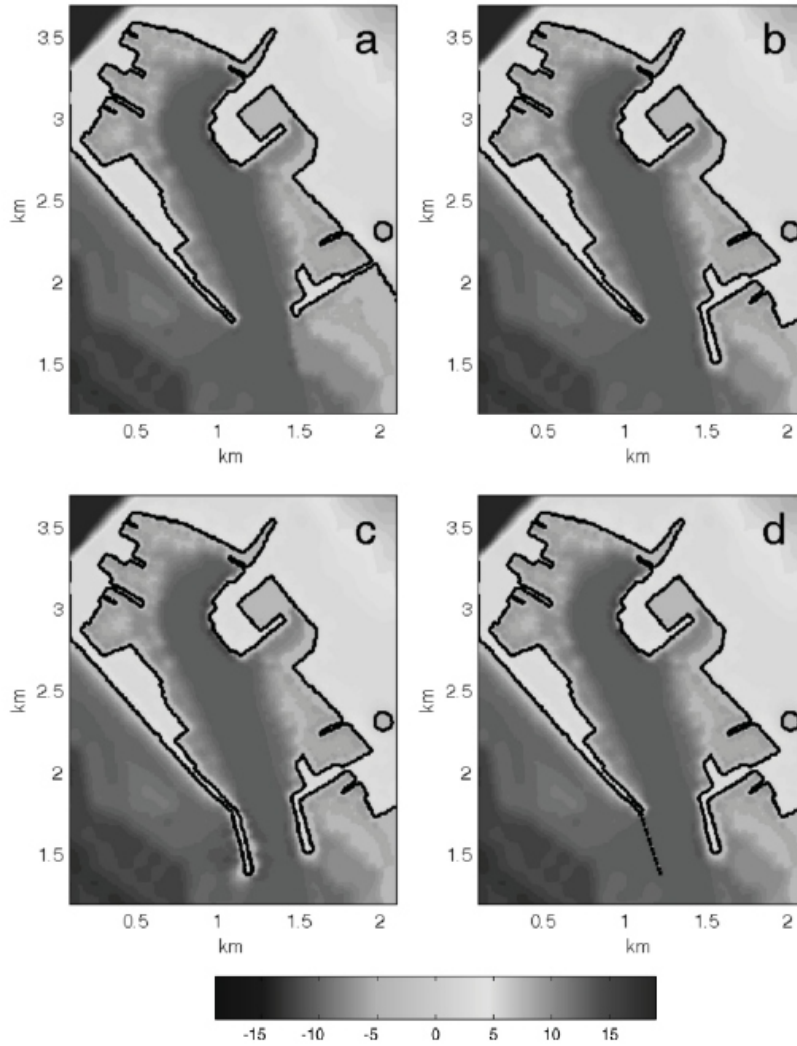


Figura 5. Modelo digital de la batimetría del puerto de Ensenada, Baja California. La escala de tonos indica la profundidad en metros: a) Configuración del puerto en el año 1993; b) en el año 2006; c) con prolongación impermeable de la escollera principal; d) con prolongación permeable de la escollera principal.

Figura 5. El oleaje de alta frecuencia que se observa en Figura 6 es el resultado de la superposición del oleaje incidente con las múltiples reflexiones del mismo en el interior del puerto.

Para comparar la altura del oleaje entre cada una de las configuraciones del puerto se obtuvieron registros sintéticos de oleaje en 21 localidades al interior del puerto, registros similares a los que se muestran en la Figura 6. A partir de cada registro se calculó la altura significativa o altura 1/3 del oleaje. Ésta se calcula como la altura promedio del tercio de las olas más altas del registro.

Los resultados de altura significativa en las 21 localidades al interior del puerto para oleaje proveniente del noroeste se muestran en la Figura 7. En la Figura 7a, que corresponde a la configuración del puerto en el año 1993, se indica la altura significativa del oleaje normalizada con la altura significativa en la entrada del puerto. En las Figuras 7b,c y d, se indica la altura significativa relativa a la altura significativa correspondiente a cada una de las localidades que se indican en la Figura 7a. La altura significativa-relativa r'_{jk} se calculó con la siguiente ecuación:

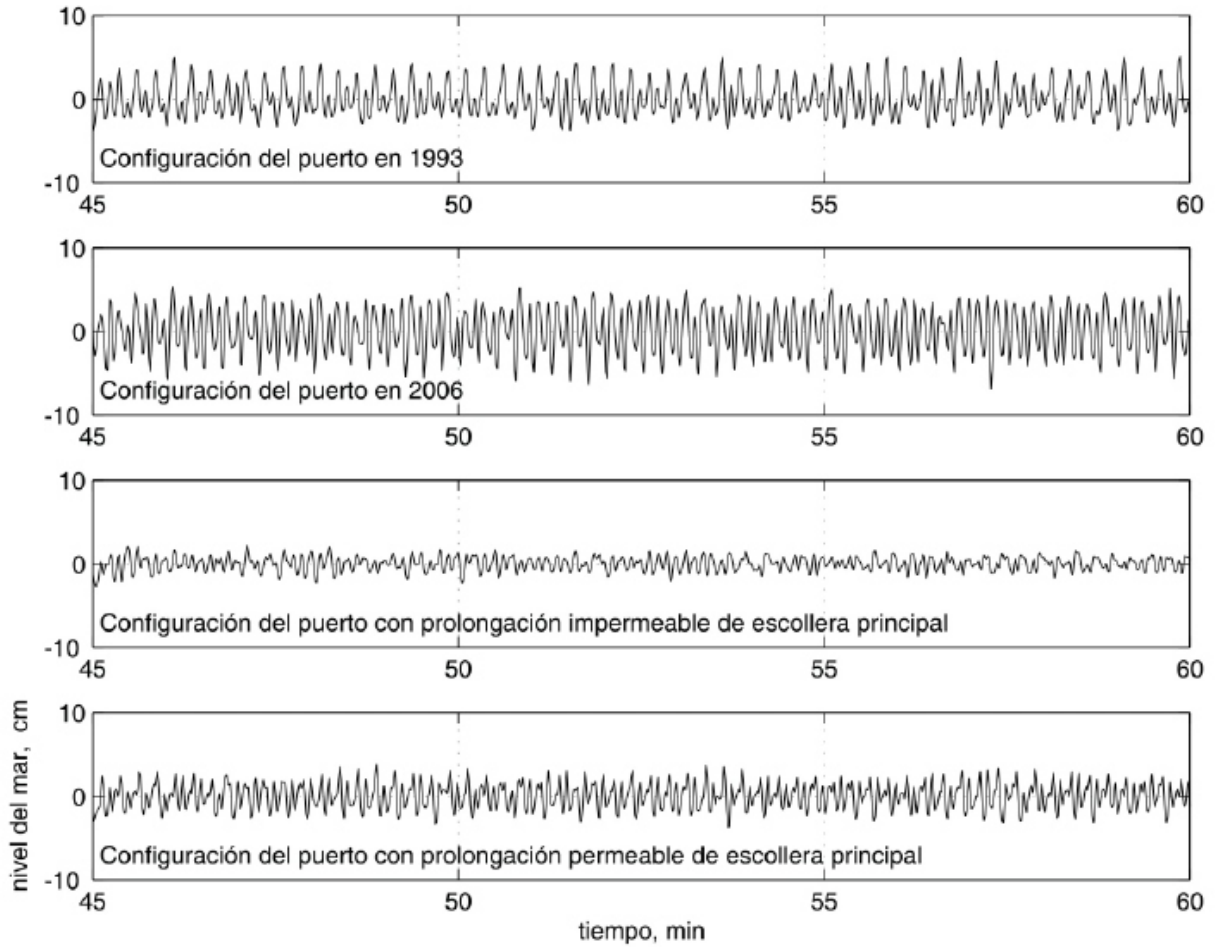


Figura 6. Registros sintéticos de oleaje en el interior del Puerto de Ensenada correspondientes a cada una de las cuatro configuraciones del puerto que se indican en la Figura 5.

$$r_{jk} = \frac{Z_{jk} - Z_{ja}}{Z_{ja}} \times 100 \quad (3)$$

donde Z_{jk} representa la altura significativa en las localidades j , para la configuración del puerto que se indica en las figuras 7k; ($k = b, c, d$).

Z_{ja} representa la altura significativa en las localidades j para la configuración del puerto que se indica en la figura 7a. La altura significativa-relativa indica a su vez el porcentaje de aumento (+) o en su caso de disminución (-) de la altura significativa con respecto a la altura significativa correspondiente que se indica en la Figura 7a. Por ejemplo, una altura significativa relativa de -100% indicaría la eliminación completa del oleaje. Ninguna escollera es perfecta, por lo que los valores negativos no llegan a -100%.

Cero por ciento indica que no hay atenuación del oleaje con respecto al oleaje de referencia que se indica en Figura 7a. En contraste, los valores positivos indican que el oleaje es mayor que el oleaje de referencia, es decir, que la escollera está trabajando al revés de lo planeado. A diferencia de los valores negativos, los valores positivos pueden ser mayores al 100%, indicando en este caso que la altura del oleaje es al menos el doble que la altura de referencia.

Al igual que en la Figura 7, los resultados de altura significativa para oleaje proveniente del suroeste se muestran en las figuras 8a,b,c y d.

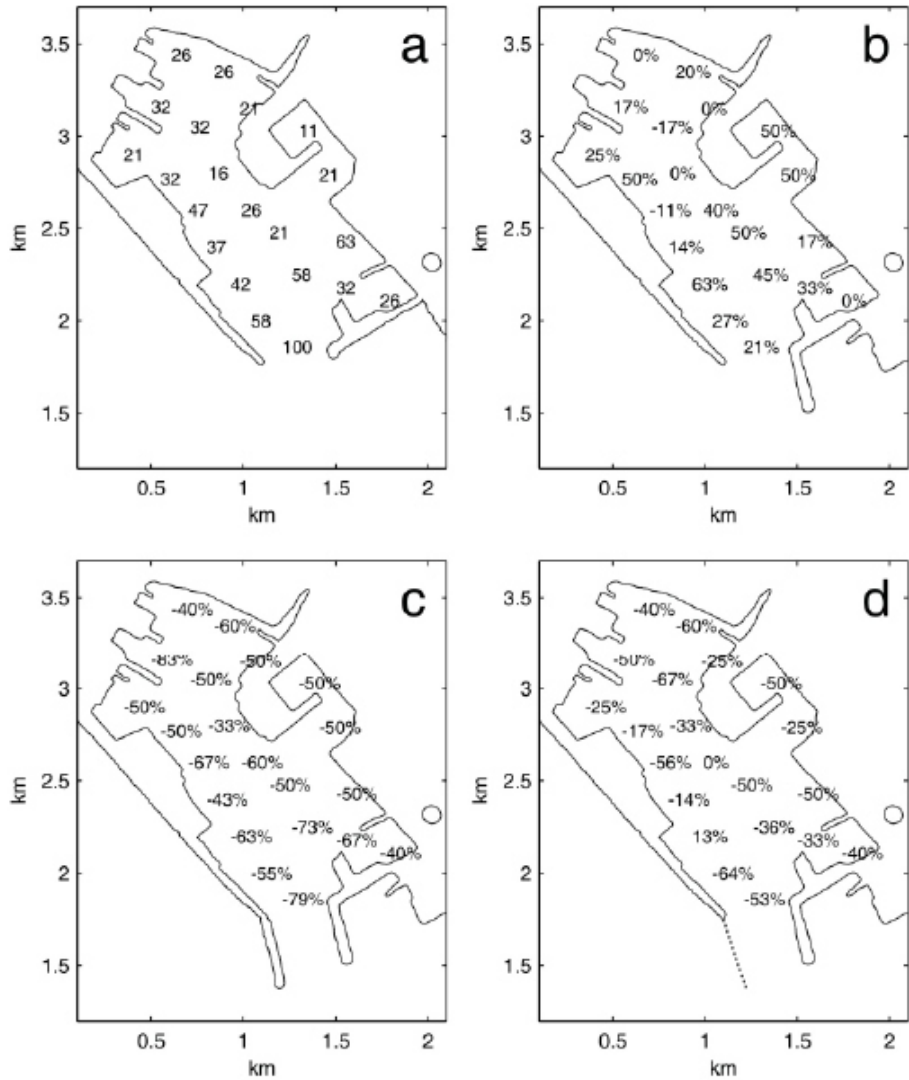


Figura 7. Resultados para olas provenientes del noroeste: a) Altura significativa del oleaje normalizada con la altura significativa en la entrada del puerto; b) Altura significativa-relativa a la altura significativa en a; c) Altura significativa-relativa a la altura significativa en a. d) Altura significativa-relativa a la altura significativa en a.

Discusión y conclusiones

Los resultados de altura significativa del oleaje corroboran el análisis intuitivo en el sentido de que la construcción de la cuarta escollera en el año 2006 -configuración actual del puerto-, aumentaría la agitación por oleaje (Figura 7b). En esta figura se observa en general un aumento promedio de 24% en la altura del oleaje con respecto a la configuración del puerto en el año 1993. Para olas provenientes del suroeste se observa un aumento promedio de 11% (Figura 8b).

La prolongación de la escollera principal con una escollera impermeable (Figura 7c) es la mejor solución al problema de agitación por oleaje. Esta escollera tiene como efecto una reducción promedio de 55% en la altura del oleaje con respecto a la configuración del puerto en el año 1993 y una reducción promedio de 79% con respecto a la configuración actual. Para olas provenientes del suroeste (Figura 8c), la atenuación es de 14% y 25% respectivamente.

Los resultados que se muestran en la Figura 7d corresponden a la prolongación de la escollera principal con una escollera permeable con 70% de impedancia. En esta figura se observa una reducción promedio de 37% en la altura del oleaje con respecto a la configuración del puerto en 1993 y una reducción promedio de 61% con respecto a la configuración actual. El efecto de la escollera permeable versus la escollera impermeable (Figuras 8c y 8d) es también alentador cuando las olas provienen del suroeste. La escollera permeable reduce la altura del oleaje prácticamente en el mismo porcentaje que la escollera impermeable y lo atenúa sustancialmente con respecto a la configuración actual del puerto.

Cabe mencionar que los valores positivos (183%, 117% y 117%) de altura significativa relativa que se observan en la vecindad de la entrada del puerto en las Figuras 8b, 8c y 8d, respectivamente, se deben al oleaje reflejado tanto por la cuarta escollera como por el espolón, cuando el oleaje proviene del suroeste. En particular, en la Figura 8c, se puede apreciar este efecto en tres localidades consecutivas de sur a norte.

El hecho de que la escollera permeable reduzca la altura del oleaje al interior del puerto no solamente se debe a la impedancia misma de la escollera, sino también a que la impedancia de la escollera inhibe la difracción del oleaje en el

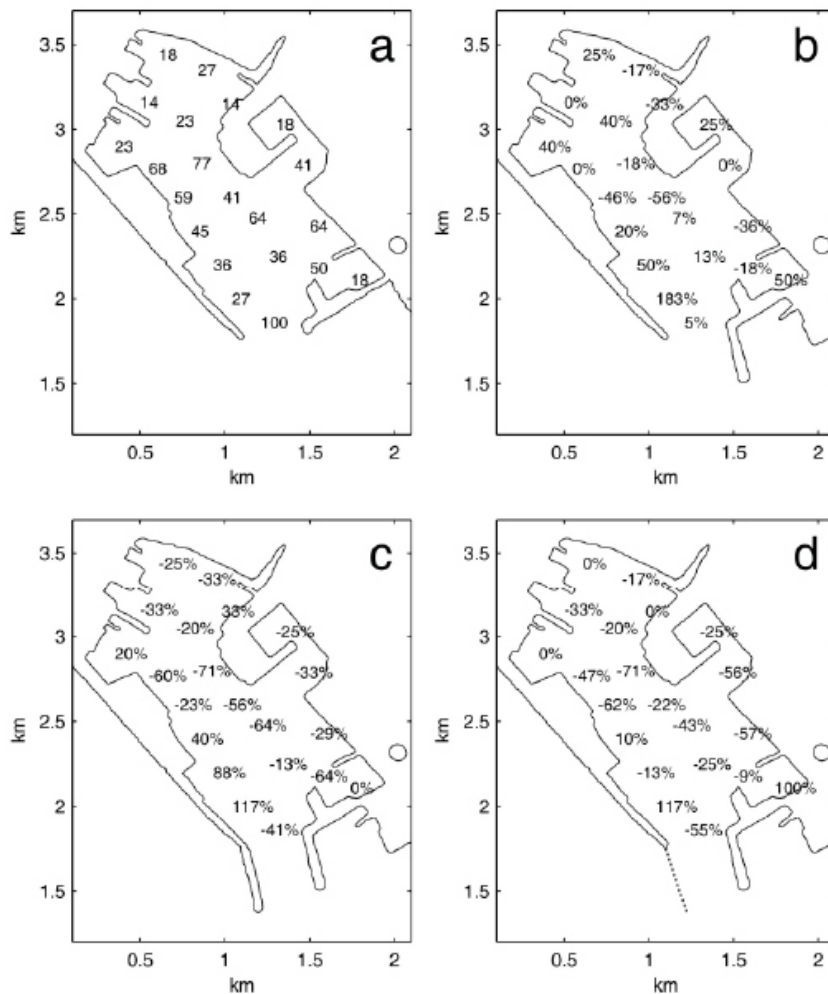


Figura 8. Resultados para olas provenientes del suroeste: a) Altura significativa del oleaje normalizada con la altura significativa en la entrada del puerto; b) Altura significativa-relativa a la altura significativa en a; c) Altura significativa-relativa a la altura significativa en a; d) Altura significativa-relativa a la altura significativa en a.

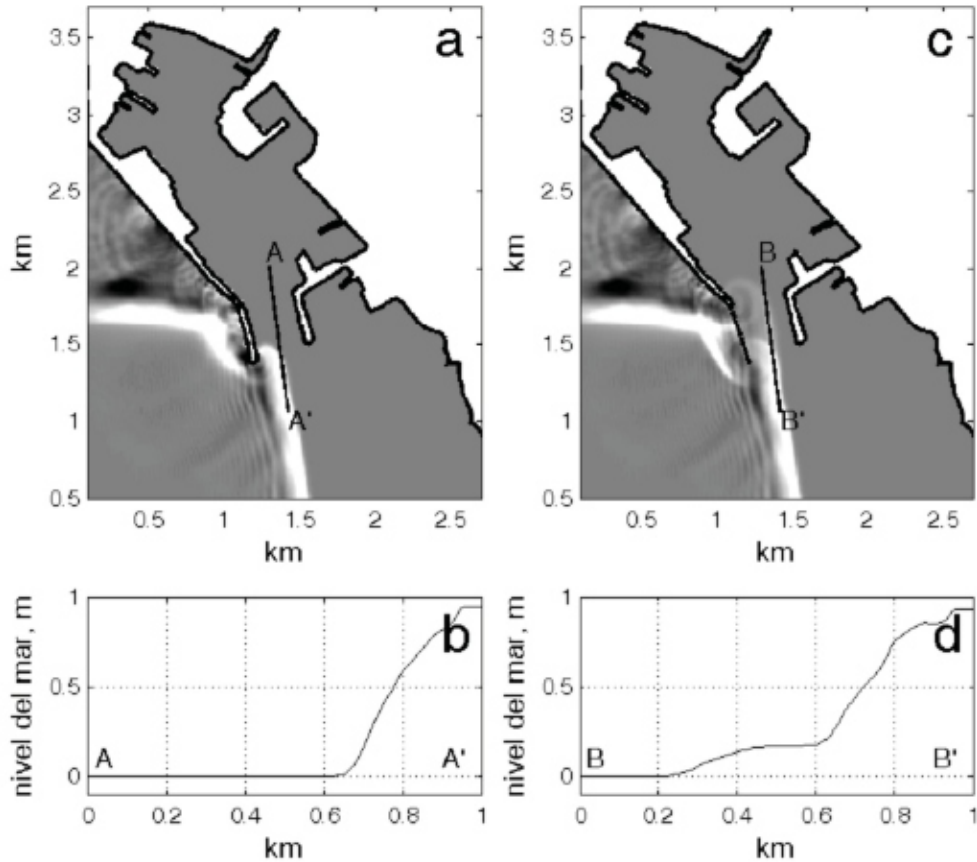


Figura 9. a) Instante en el que el frente de la ola se propaga más allá de la escollera impermeable; b) diferencia del nivel del agua a lo largo de la línea A - A'; c) instante en el que el frente de la ola se propaga más allá de la escollera permeable; d) diferencia del nivel del agua a lo largo de la línea B - B'.

extremo de la misma. Para explicar este mecanismo sutil, consideremos primeramente el caso una escollera impermeable y de un frente de ola avanzando hacia ella. En el instante en el que una parte de la ola se refleja en la escollera, la otra parte de la ola avanza más allá de ésta, como se indica en la Figura 9a. En ese preciso instante se establece un gradiente de presión debido a la diferencia de altura en la superficie del agua a lo largo del frente de la ola (Figura 9b), que fuerza a la ola a propagarse al interior del puerto. En el caso de la escollera permeable, la ola que pasa a través de la escollera reduce su altura mientras que la otra parte de la ola avanza intacta más allá de la escollera (Figura 9c). En este caso, la diferencia de altura en la superficie del agua a lo largo del frente de la ola (Figura 9d) es menor que en el caso anterior y consecuentemente es menor el gradiente de

presión que impulsa a ola difractada hacia el interior del puerto. Mientras que este proceso de difracción ocurre en el extremo de la escollera permeable, la ola que pasa a través de ésta se difracta a la altura en donde se une la escollera permeable con la escollera principal. El efecto conjunto de ambas difracciones es el de distribuir la energía de la ola incidente en mayor lapso de tiempo, como si dos trenes de olas de igual período entraran al puerto con un desfase constante, pero cada uno de ellos con menor altura que el que incidiría por difracción en el caso de una escollera impermeable.

A la par de los experimentos numéricos para analizar la atenuación del oleaje en el Puerto de Ensenada, se realizaron experimentos numéricos para estudiar la posibilidad de emplear, tanto

rompeolas impermeables, como permeables en el interior del puerto con el objetivo de proteger a las embarcaciones menores que atracan en los "peines" que se observan en el extremo norte del puerto en la Figura 4. En los resultados de los experimentos numéricos se observó, como era de esperarse, que al proteger al área de los peines se afectaba a diferentes áreas debido a la reflexión total o parcial del oleaje en los rompeolas sintéticos. En general, se debe considerar que cualquier modificación a la geometría del interior del puerto, ya sea para proteger algunas áreas o para construir nuevas marinas, deberá tener consecuencias en el patrón de agitación por oleaje.

En resumen, los resultados de este trabajo muestran que en primer lugar es necesario atenuar la agitación por oleaje en el todo el puerto antes de construir nuevas marinas o escolleras para satisfacer necesidades específicas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) por el financiamiento parcial de esta investigación mediante el proyecto de Ciencia Básica, CONACYT PCI 51457. Esta investigación se llevó a cabo en el marco del convenio de colaboración del CICESE con la Administración Portuaria Integral (API) de Ensenada, Baja California. También agradezco los arbitrajes por parte de Antonio González y otro revisor anónimo que ayudaron a lograr la versión final de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Goto, C., Y. Ogawa, N. Shuto, and F. Imamura, 1997. IUGG/IOCTIME Project: "Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-Frog Scheme", Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Manuals and Guides #35, Paris, 4 Parts.

Martínez Díaz de León A. y Nava Button C., 1987. Estadísticas del oleaje en las costas de Baja California. Reporte Técnico 87-04. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California.

Sepúlveda Nuñez, R., 2003. Variaciones Morfológicas de la Rada del Puerto de Ensenada, B. C., a partir del método de fotografía aérea multitemporal (1935-2001). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

Recepción del manuscrito: 29 mayo de 2009

Aceptación del manuscrito: 31 agosto de 2009

“CONDICIÓN SANTA ANA”... NO TODO ES VIENTO SECO, ALERGIAS E INCENDIOS FORESTALES

Modesto Ortiz Figueroa

ortiz@cicese.mx, Departamento de Oceanografía Física

CICESE, Ensenada, B.C.

El objetivo de esta nota es ilustrar cómo la condición ambiental conocida en esta región como "Condición Santa Ana", es un mecanismo que contribuye sustancialmente a la fertilización del océano adyacente a la península de Baja California. Esta condición ambiental o estado del tiempo se presenta durante el otoño y el invierno y se caracteriza principalmente por el viento seco proveniente del noreste que a su paso levanta tolvaneras para llenar de polvo todos los rincones. La "Condición Santa Ana" favorece la propagación de incendios forestales por la falta de humedad en el ambiente. Ocurre entonces que los pobladores, además de respirar el polvo producido por las tolvaneras, respiran también el humo, lo que da como consecuencia la exacerbación de las alergias en las vías respiratorias. Es tanta la cantidad de polvo en el ambiente, que éste se aprecia con claridad en fotos o imágenes tomadas desde el espacio exterior (Figura 1).

La frecuencia con la que se ha presentado la "Condición Santa Ana" en los últimos cuatro años es de ~50 días al año y se identifica con facilidad en las observaciones de humedad relativa del aire que se muestran en la Figura 2, en donde la humedad disminuye abruptamente de 90% hasta 10% durante el otoño y el invierno. En correlación con estas disminuciones de humedad se observan aumentos tanto en la presión atmosférica como en la temperatura ambiente y en la rapidez del viento.

La característica importante en este caso es el "viento seco" proveniente del norte-noreste, y que transporta grandes cantidades de polvo hacia el océano adyacente. En ocasiones, la intensidad y la permanencia de este viento sobre el océano son suficientes para generar filamentos de surgencia o afloramiento de aguas profundas ricas en nutrientes hacia la superficie del océano (Trasviña et al., 2003). La conjunción de estas surgencias peculiares de otoño e invierno, con la fertilización de las aguas superficiales, con grandes cantidades de polvo, son también una característica de la "Condición Santa Ana"... no todo es viento seco, alergias e incendios forestales.



Figura 1. Polvo transportado al mar durante la "Condición Santa Ana" del 9 al 11 de febrero del 2002. La imagen es cortesía del proyecto SeaWiFS de la NASA

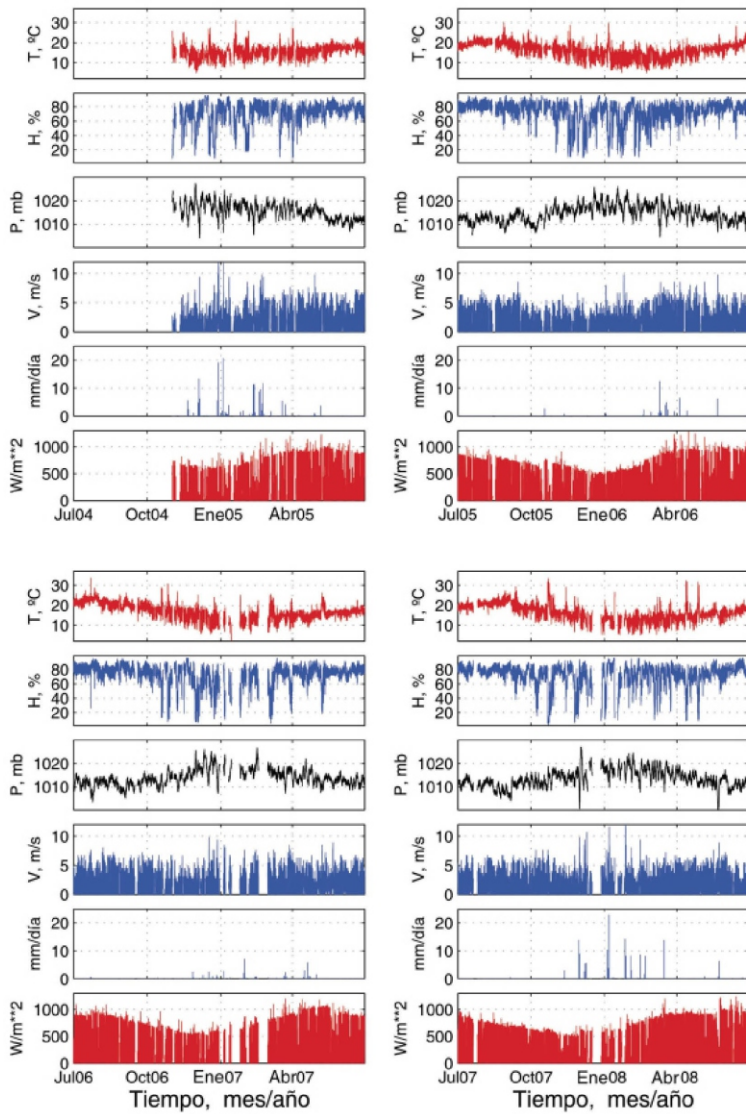


Figura 2. Cuatro años de observaciones de variables ambientales en la Bahía de Todos Santos: Temperatura ambiente (T, °C); Humedad relativa (H, %); Presión atmosférica (P, mb); Rapidez del viento (V, m/s); Precipitación pluvial (mm/día); Radiación solar (W/m²). Sobra decir que estas observaciones son ilustrativas por si mismas por el hecho de que permiten apreciar tanto la variabilidad como los valores promedio de cada una de las variables que caracterizan al medio ambiente en la Bahía de Todos Santos. Las observaciones son cortesía de la Empresa Servicios Portuarios que opera en el puerto de El Sauzal, Baja California.

BIBLIOGRAFÍA

Trasviña A., M. Ortiz-Figueroa, H. Herrera, M.A. Cosío, E. González, 2003. 'Santa Ana' winds and upwelling filaments off Northern Baja California. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. Vol.37(2003)113–129.

Recepción del manuscrito: 3 de junio de 2009
 Aceptación del manuscrito: 31 agosto de 2009

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RIESGOS DEBIDOS A LA GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA URBANA ZACATECAS-GUADALUPE Y SUS ALREDEDORES

Felipe de Jesús Escalona-Alcázar

Departamento de Ordenamiento Ecológico

Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas

INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos a considerar en el ordenamiento ecológico del territorio es la manera en que la geomorfología se relaciona con procesos que pueden afectar a la infraestructura o población de tal modo que los pongan en riesgo.

En este documento se presenta el análisis geomorfológico inicial de la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe; este sitio fue seleccionado por ser el más importante centro poblacional y económico del estado.

El área de estudio es de 168 km² y sus coordenadas UTM extremas son 740782, 2523938 y 756735, 2513362.

El trabajo de campo se realizó tomando como base la topografía del INEGI y se tuvo el apoyo de un geoposicionador Garmin eTrex modelo Summit. La cartografía realizada fue de antiguos depósitos de talud de la margen norte del Cerro la Virgen y la sur del Cerro la Bufa. Además se cartografiaron algunas zonas donde hay desarrollo de cárcavas de más de un metro de profundidad y se ubicaron los sitios en donde hay bloques de roca de más de tres metros de altura.

METODOLOGÍA

En la elaboración de este análisis se tomaron como base los datos vectoriales escala 1:50,000 del INEGI, cartas F13B58 y F13B68, con curvas de nivel cada 10 m. Se tomó con datum de referencia el NAD27. La metodología utilizada fue la descrita por Lugo-Hubp (1988). La zona de estudio se dividió en cuadros de 1.5 km de lado, los datos que se tomaron en cada uno se ubicaron en el centro para con ellos realizar las curvas de isovalores de los elementos analizados.

RESULTADOS

La selección de los límites de los mapas elaborados derivó del trabajo de campo. Se tomaron como límites los sitios en donde se desarrollan depósitos de talud. De esta manera se obtuvieron los valores límite mostrados en las figuras 1 a 4.

La descripción de los depósitos de talud y otros procesos geológicos está descrita en Escalona-Alcázar y colaboradores (2003).

La densidad de disección (sumatoria de la longitud del drenaje por área) muestra que los depósitos de talud cartografiados están donde el valor varía entre 4000 y 6500 m/km² (Fig. 1). La densidad de disección indica la cantidad de metros de cauces por kilómetro cuadrado. En la figura 1 se observa que la traza urbana ocupa los sitios en donde se han tapado más de 4 km de cauces por kilómetros cuadrado.

La densidad general de disección (Fig. 2) muestra que los depósitos cartografiados se presentan cuando la sumatoria de la longitud de las curvas por área es mayor o igual a 50 km. En el mapa de la Figura 2 se observa que esto ocurre principalmente en la parte central del área de estudio. La densidad general de disección es mayor en donde la topografía es abrupta y menor en los valles.

El análisis de la información de campo con los mapas geomorfológicos muestra que los depósitos de talud inician en los sitios donde la energía del relieve, o facilidad de erosión, tiene un valor de 170 hasta 240 (Fig. 3); en algunos casos hay depósitos de talud con valores de 110. Los valores más altos se encuentran en el Cerro la Virgen y al norte de la Veta la Cantera.

Respecto a la profundidad máxima de disección, los depósitos de talud inician en donde el desnivel por área es mayor que 80 m (Fig 4).

La definición de las zonas preliminares de riesgo (Fig. 5) se realizó conjuntando los valores límite mostrados en los mapas de las figuras 1 a 4. Las áreas definidas son donde la densidad de disección varía entre 4 y 6.5 km/km², la densidad general de disección es mayor que 50 km, la energía del relieve varía de 170 a 240 y la profundidad máxima de disección es mayor que 80. En los sitios donde se cumplen estas condiciones son los mostrados como zonas preliminares de riesgo geomorfológico ya que están sujetas a procesos erosivos más intensos.

CONCLUSIONES

Las características geomorfológicas mencionadas y su relación con los depósitos cartografiados indican que estas mismas condiciones de erosión intensa se presentan en zonas hacia donde las ciudades están desarrollándose. Al existir los escenarios favorables para la formación de depósitos de talud, erosión y, en una situación extrema de una avalancha, es necesario que en la planificación del desarrollo urbano se tomen las medidas de construcción apropiadas para esas zonas de riesgo potencial. De no llevarse a cabo obras preventivas, en el futuro podrían tenerse problemas en un drenaje diseñado inapropiadamente por la obstrucción de alcantarillas y tuberías debido a la remoción de sedimentos en los cauces de los arroyos o pendientes con poca cobertura vegetal, incluso, deslizamientos e inestabilidad del terreno.

REFERENCIAS CITADAS

- Escalona-Alcázar, F.J., Suárez-Plascencia, C., Pérez-Román, A.M., Ortiz-Acevedo, O. y Bañuelos-Álvarez, C., 2003, La secuencia volcánica terciaria del Cerro la Virgen y los procesos geomorfológicos que generan riesgo en la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe, GEOS, Vol. 23(1), p.2-16.
- Escalona-Alcázar, F.J., Delgado-Argote, L.A., Suárez-Plascencia, C. y Tavizón García, J.P., 2005, Identificación de zonas de erosión intensa a partir del análisis geomorfológico en los alrededores de la zona urbana Zacatecas-Guadalupe, Zacatecas, GEOS, Vol. 25(1), p.116.
- Lugo-Hubp, J.I., 1988, Elementos de geomorfología aplicada, Instituto de Geografía, UNAM.

Recepción del manuscrito: 5 de junio de 2009
Aceptación del manuscrito: 20 de septiembre de 2009

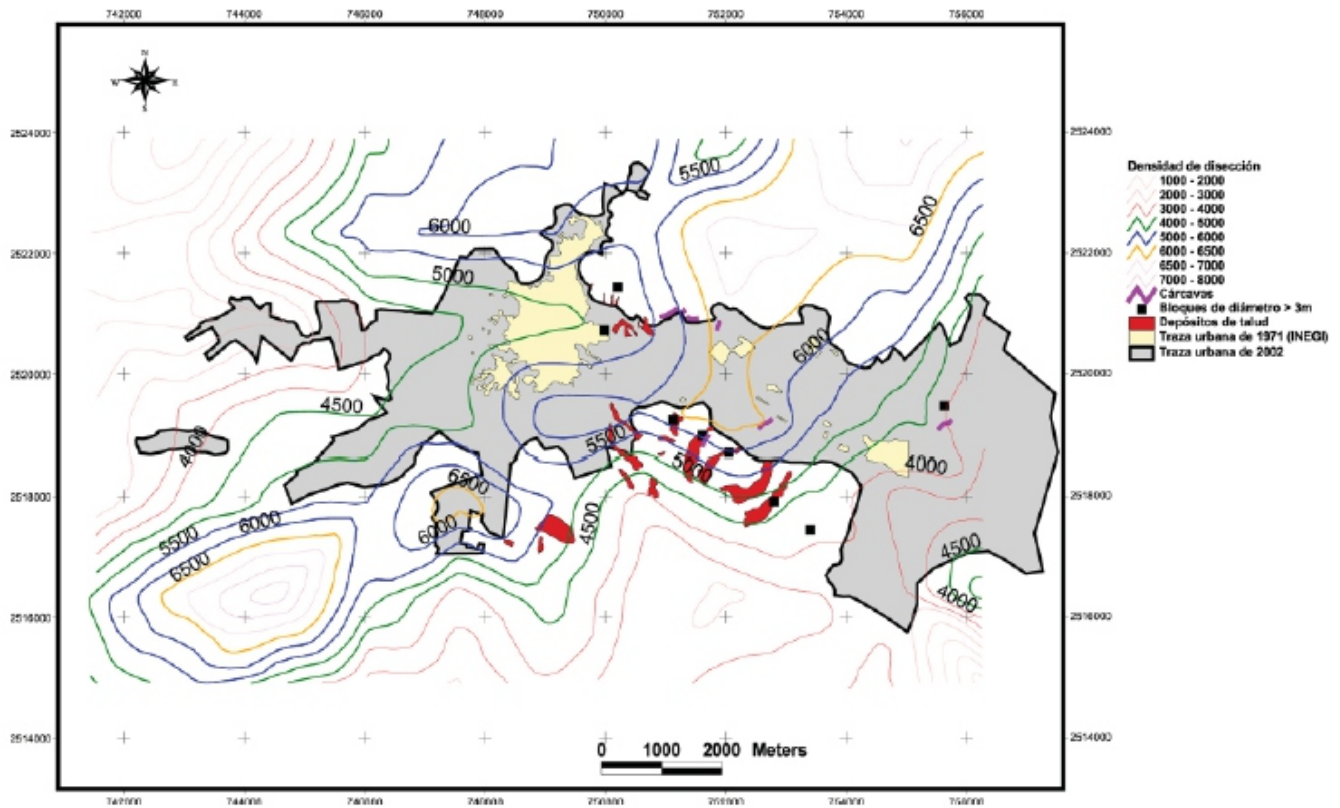


Figura 1.- Densidad de disección. Los valores de las isolíneas están en metros.

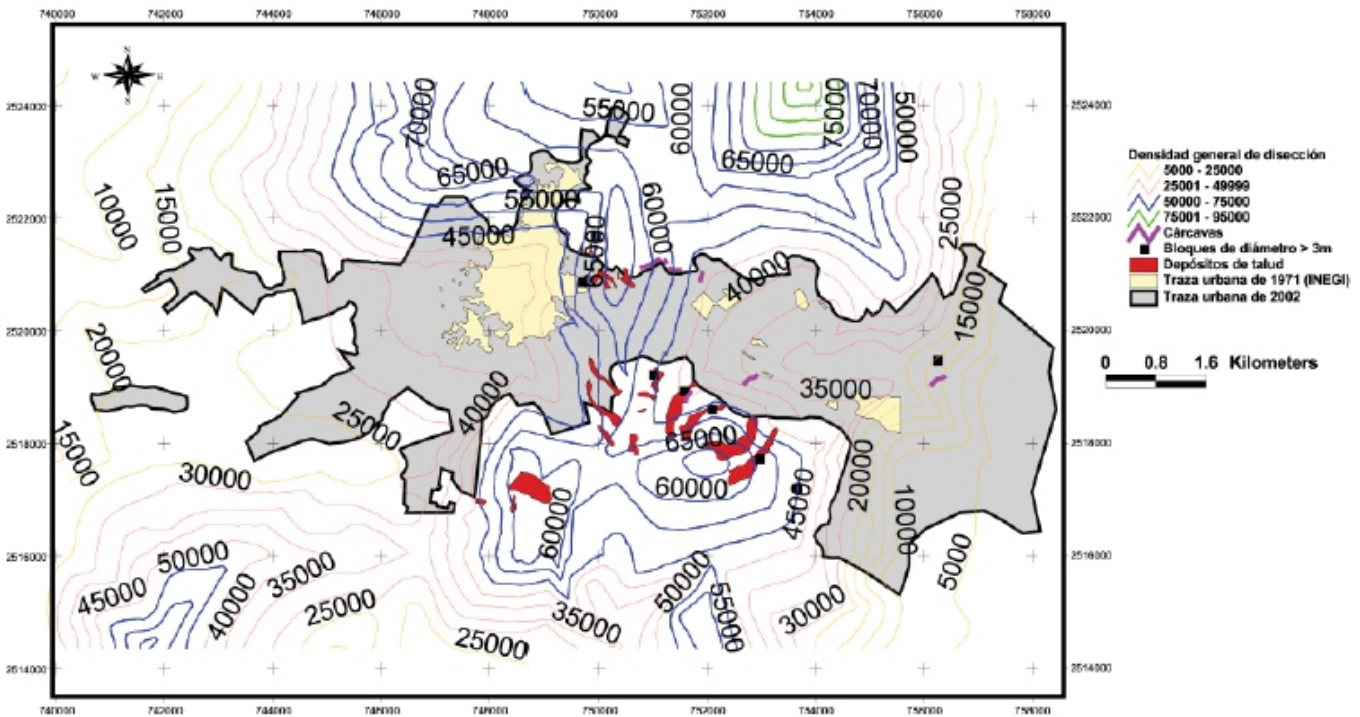


Figura 2.- Densidad general de disección. Las unidades de las isolíneas son metros.

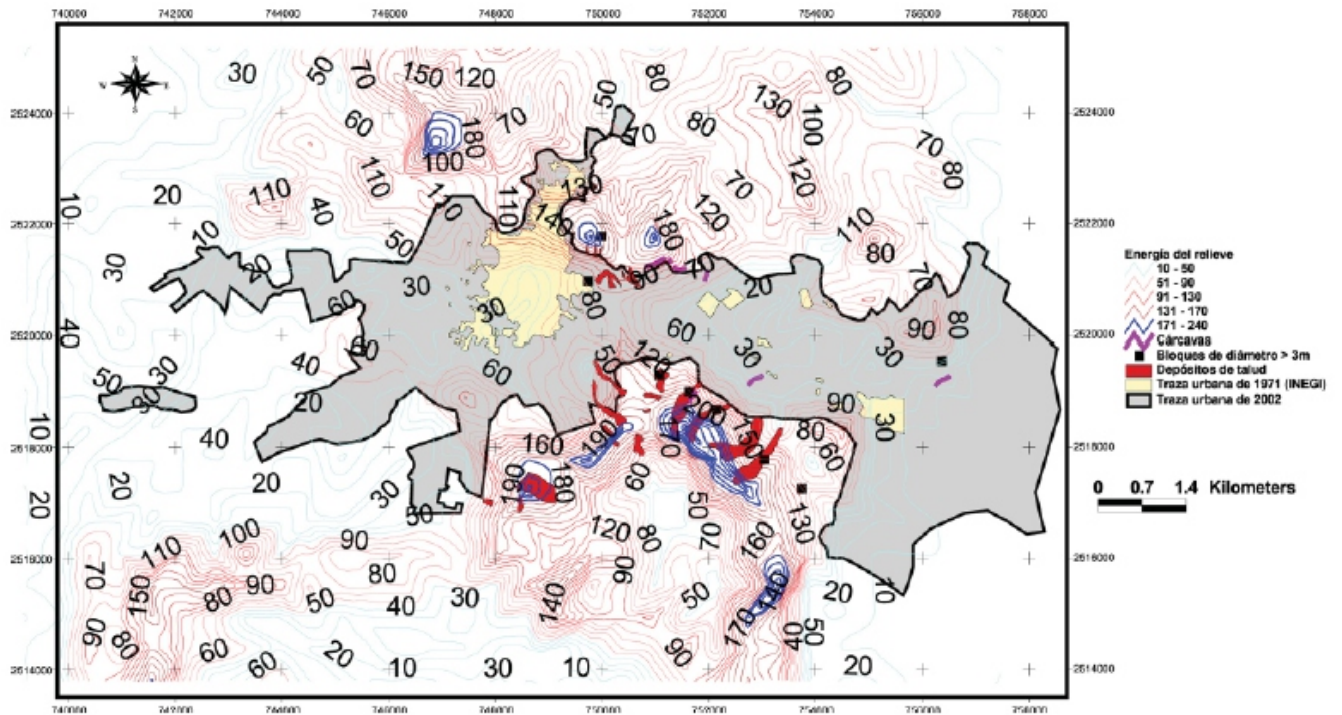


Figura 3.- Energía del relieve. Las isólinas son dimensionales.

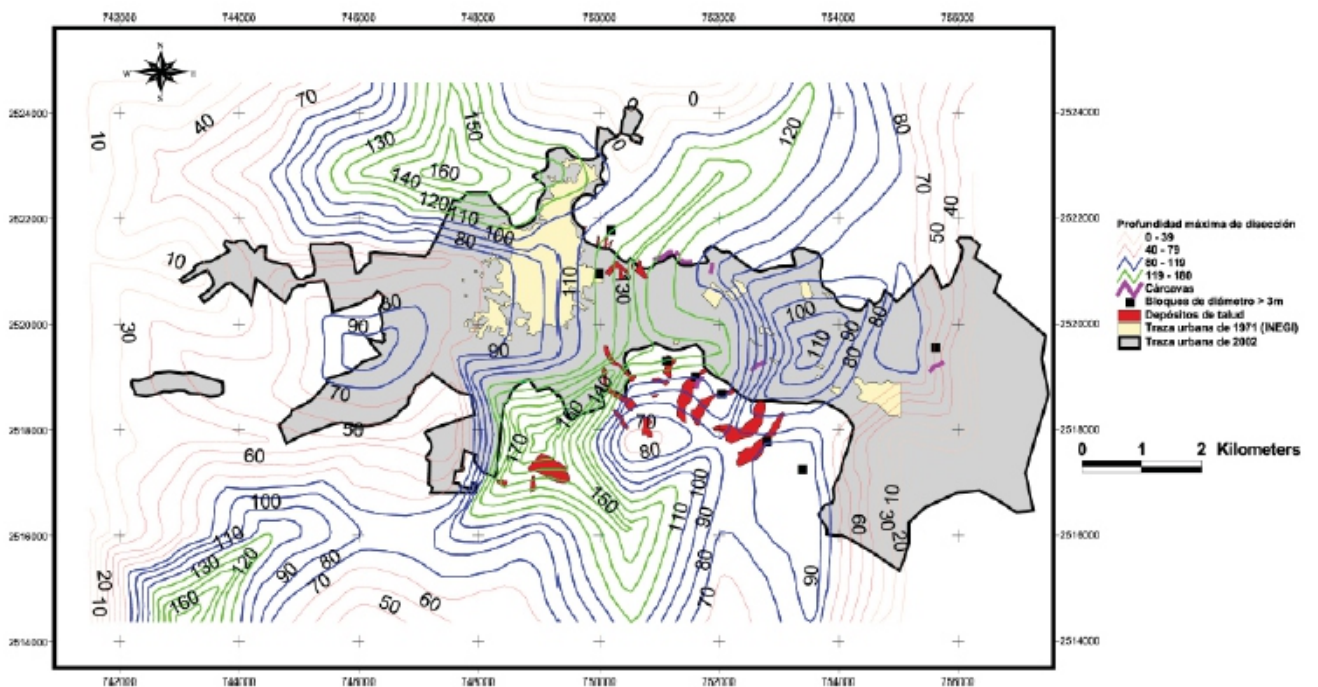


Figura 4.- Profundidad máxima de disección. Los valores de las isólinas están en metros.

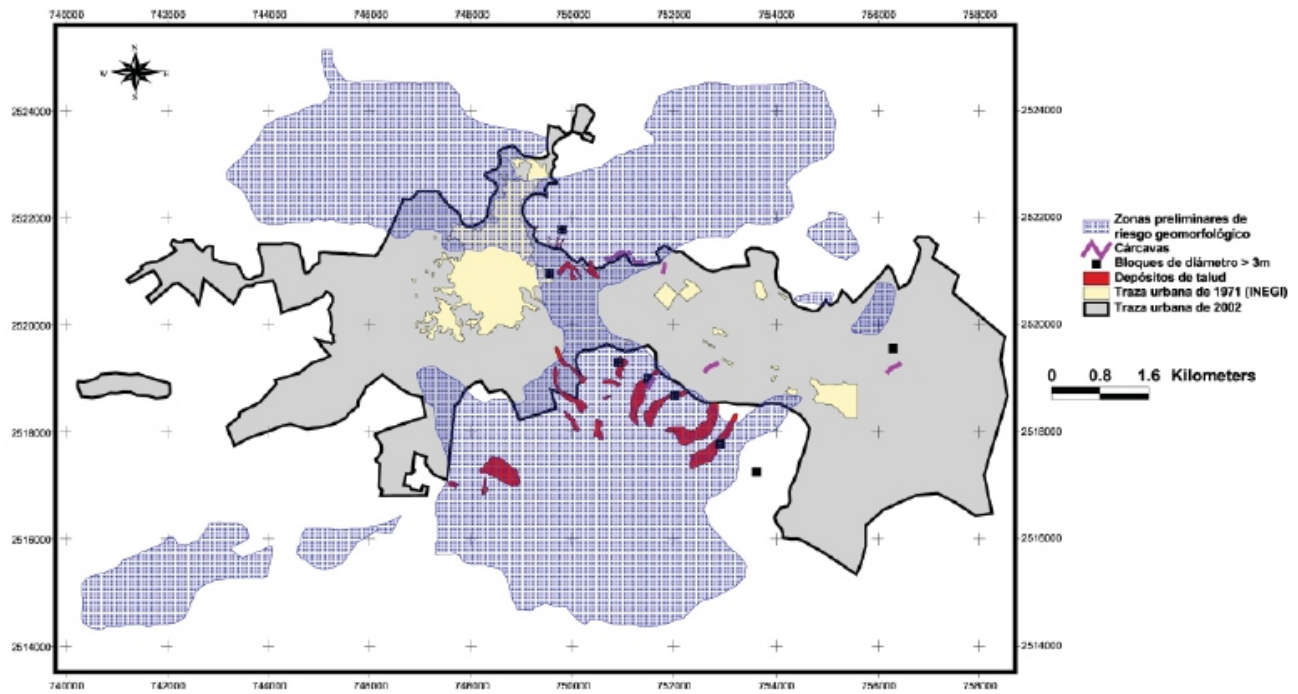


Figura 5.- Zonas preliminares de riesgo geomorfológico.

INCIDENCIA DE LA GEOMORFOLOGÍA EN LOS DESLIZAMIENTOS DE LA CARRETERA DE BELTRÁN, GUANTÁNAMO, CUBA

Sandra Y. Rosabal Domínguez¹, José A. Zapata Balanque¹, Joel Gómez

sandra@cenais.cu

¹Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), Calle 17 # 61 entre 4ta y 6ta. Vista Alegre, CP: 90400,

Santiago de Cuba, Cuba.

²CITMA, Guantánamo, Cuba.

RESUMEN

Se realizó el estudio geomorfológico de los alrededores de la localidad de Beltrán, municipio Yateras, provincia Guantánamo, con el apoyo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, utilizando las variables disección vertical, máximas alturas y clasificación del relieve. Se contrastaron los resultados con los materiales obtenidos de los recorridos de campo realizados en la zona, producto de los deslizamientos ocurridos después de periodos de intensas lluvias en Yateras. Se presentan los principales impactos causados por los deslizamientos en la carretera de Beltrán y se señalan aquellas zonas que, con similares parámetros, son proclives al fenómeno.

palabra clave: Geomorfología; deslizamientos; Beltrán, Guantánamo, Cuba

INTRODUCCIÓN

En la construcción de las carreteras se presentan una serie de dificultades que a veces encarecen el proceso; el costo puede ser mayor si no se elige correctamente el trazado, por lo que debe considerarse la geomorfología, relieve, geología, tectónica y parámetros de la ingeniería geológica. La metodología presentada por Mora y Vahrson (1993) referenciada en el TC-4 (ISSMGE, 1999), considera importante la determinación de las condiciones geomorfológicas y determina la susceptibilidad del relieve a partir del cálculo de la disección vertical.

El presente trabajo surge a partir de estudios preliminares, metodologías y propuestas de trabajos realizadas con anterioridad para el área

de Beltrán, que sugieren realizar una caracterización de las variables geomorfológicas que influyen en los deslizamientos. Escobar (2007) plantea en su informe técnico criterios sobre la determinación de la susceptibilidad geomorfológica basada en el cálculo de la pendiente, la disección vertical y creación de un modelo digital del terreno.

Rodríguez (1991) plantea que la consideración geomorfológica más importante en el pronóstico de los deslizamientos es la historia de éstos en un área determinada. Otros factores son la pendiente de una ladera en relación a la fuerza de los materiales que la forman y el aspecto de la ladera o la dirección hacia donde enfrenta la ladera su curvatura.

ANTECEDENTES

En propuesta realizado por Zapata et al. (2008) para caracterizar el sector de 20 km² entre las coordenadas X: 681 000 a 686 000 y Y: 178 000 a 182 000, se proponían las siguientes actividades:

1. Conocer los factores que catalizan los deslizamientos en la zona de interés.
2. Modelar las potenciales áreas de ocurrencia de futuros deslizamientos.
3. Tomar las medidas para la gestión y manejo del ordenamiento territorial ambiental y desarrollo de los ecosistemas existentes (asentamientos humanos y trazado definitivo de las carreteras y los viales).
4. Determinar las zonas y propuestas de procedimientos donde deben ejecutarse obras ingenieras de contención (Zoológico de Piedra).

Basados en estos criterios se exponen los pasos seguidos para determinar la caracterización geomorfológica del área y la susceptibilidad del área de Beltrán a los deslizamientos.

METODOLOGÍA

Para la caracterización geomorfológica del área fue necesario determinar las máximas altitudes; se digitalizaron las curvas de nivel y con el apoyo de un GIS (Sistemas de Información Geográfica por sus siglas en inglés; gvSIG), se obtuvo el modelo digital del terreno (MDT) en 3D y se clasificó el relieve.

Luego se confeccionó el mapa de disección vertical, calculando las diferencias de altura entre curvas de nivel dentro de una unidad de superficie (de 1 km²) a escala 1:50 000. Se realizó el mapa de red fluvial y se caracterizó el drenaje.

Por último, para determinar la susceptibilidad por deslizamiento utilizamos la Zonación de Grado 1, la aplicación del método presentado en el TC-4 (ISSMGE, 1999) denominado zonación por criterios activos, considerando como agentes catalizadores un sismo de mediana a gran intensidad y las intensas lluvias frecuentes en la zona.

Ubicación Geográfica

El área de Beltrán, de aproximadamente 16 km², se encuentra al noreste de la ciudad de Guantánamo, en el municipio de Yateras (Figura 1) en la provincia Guantánamo, con coordenadas geográficas: latitud N 20.255° - 20.291°, longitud W 75.091-75.053°

La Tabla 1 muestra las coordenadas de los sitios donde han ocurrido los principales deslizamientos del área de Beltrán; la vía era transitable hasta el momento de la ocurrencia de los deslizamientos, muchos ubicados en sectores muy cercanos al Zoológico de Piedra, un terreno privado (finca) y otros dos sitios en la carretera Beltrán que une a las comunidades La Güira y Boquerón (sectores (a) y (b)). Estos últimos deslizamientos fueron estudiados en el trabajo presentado por Escobar y otros (2006); se presentan las Fotos 1 a 4 de los deslizamientos.

Sitios	Lat. N	Long. W
Zoológico de Piedra	20.273°	-75.069°
Terreno Privado (Finca)	20.280°	-75.072°
Carretera Beltrán (a)	20.265°	-75.069°
Carretera Beltrán (b)	20.262°	-75.070°

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los sitios donde están localizados los deslizamientos estudiados.

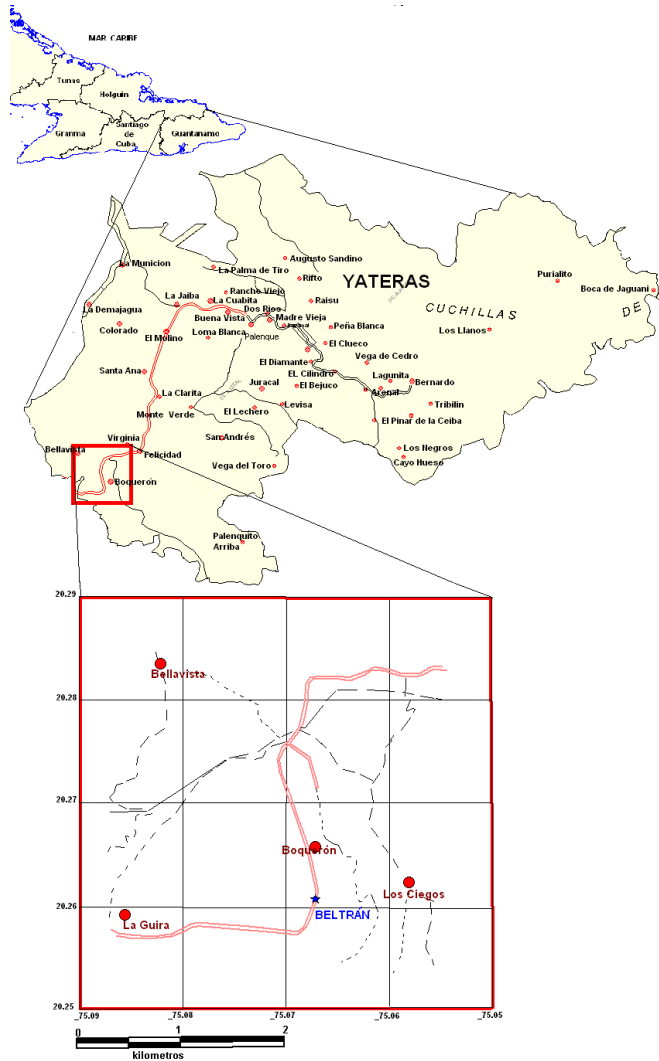


Figura 1. Ubicación geográfica de Beltrán (recuadro) en el municipio de Yateras y vista detallada del área (estrella en azul), en la carretera entre La Güira y Boquerón, principal vía de comunicación sus comunidades (círculos en rojo).

Agentes catalizadores

Los sismos y las intensas lluvias son considerados agentes catalizadores de los deslizamientos, siendo las lluvias el más importante agente catalizador.

Sin embargo, es importante considerar que el área puede ser afectada por terremotos de mediana a gran intensidad, generados en alguna de las zonas sismogeneradoras más próximas al sitio, tales como Oriente, Sabana 1 y Purial.

El municipio de Yateras se encuentra en la región Oriental de Cuba, considerada la de mayor sismicidad y peligro sísmico de Cuba, dada su ubicación cercana a la zona de contacto entre la Placa Norteamérica y la Microplaca de Gonave (Arango, 1996), en la que el sistema de fallas regional convierte a la zona en la principal zona sismogénica del país (Bartlett-Caimán u Oriente).

Por esa razón, en este municipio, los sismos son un factor activo, catalizador del fenómeno de deslizamientos. En esto se tiene en cuenta que en cualquiera de las zonas sismogénicas que lo afectan, se pueden generar sismos con magnitudes mayores de 5.0, a partir de la cual, considerando las distancias relativas y los valores que puede alcanzar la intensidad sísmica, puede inducirse este fenómeno. Debemos tomar en cuenta igualmente que sismos con epicentros en la parte norte de Haití y República Dominicana, han sido mayores de 7.0 o más grados en la escala MSK de intensidad sísmica en la provincia de Guantánamo.

En la Figura 2 se presenta el mapa de epicentros registrados en la región oriental de Cuba en el período 1998–2007 para terremotos de magnitud $M > 3.0$ Richter. Se observa en la zona del municipio Yateras, poca existencia de epicentros de cualquier rango de magnitud constituyendo los perceptibles históricos, antes de la implementación de registros instrumentales (Chuy, 1999), los de mayor valor de magnitud.

Históricamente los primeros reportes de deslizamientos en el área datan desde el huracán Flora, en 1963; luego en 1993 se reportaron deslizamientos de importancia en la zona del Zoológico de Piedra que se extendieron hasta Bellavista, (Escobar et al. 2006), después de intensas lluvias producto de la interacción de un frente frío con una onda tropical casi estacionaria sobre el oriente del país, que provocó acumulados superiores a los 200 mm en varios

puntos (periódico Granma del 25 de noviembre de 1993). Los últimos reportes asociados a intensas lluvias datan del 2006 y 2008.

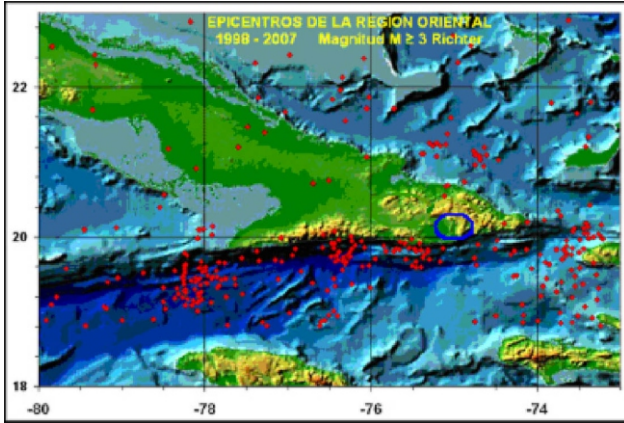


Figura 2: Epicentros registrados por el SSNC en la región oriental de Cuba en el período 1998-2007 con Magnitud $M > 3.0$ Richter. Con un círculo azul se indica el municipio Yateras (SSNC, 2007).

Para la zona de Boquerón las precipitaciones media anual es de 1,333.8 mm, pero 1 de cada 4 años acumula más de 1,600 mm y presenta en la serie de estudio un acumulado anual máximo de 1,744.9 mm en el 2006 y 1,729.5 mm en el 2005. (El acumulado histórico es de 1,881.1mm en 1963 según CMP Guantánamo, 2008).

Se determinaron las áreas donde predominan las máximas elevaciones (800 m), estando las máximas hacia el este y sureste del área, donde se localizan las comunidades de Boquerón y Los Ciegos. Las alturas mínimas (280 m) están ubicadas hacia el oeste donde se localiza la comunidad de La Güira. En la Figura 3 se muestran las máximas elevaciones del área, a través del modelo digital del terreno (MDT) en 3D que refleja las irregularidades del terreno de Beltrán. Con base en los rangos de altitudes más utilizadas en Cuba, presentados en la Tabla 2 (Díaz et al., 1986), se realizó una clasificación altimétrica de la zona que permitió definirla como de relieve ondulado que va desde alturas grandes ubicadas al oeste (280 m) hasta montañas pequeñas ubicadas al sureste (800 m).



Foto 1. Deslizamiento del tramo de la carretera de La Güira a Boquerón (Sector a).



Foto 2. Destrucción de la carretera de La Güira a Boquerón por un deslizamiento (Sector b).



Foto 4. Escarpe principal del deslizamiento en el Zoológico de Piedra.

CATEGORÍA DEL RELIEVE	PISO ALTITUDINAL	
	Montañas	2 000 - 1 500
1 500 - 1 000		Montañas bajas
1 000 - 500		Montañas pequeñas
500 - 300		Submontañas
Alturas	300 - 200	Alturas grandes
	200 - 120	Alturas medias
	Menores de 120	Alturas pequeñas
Llanuras	120 - 80	Llanuras altas
	80 - 20	Llanuras medias
	Menores de 20	Llanuras bajas

Tabla 2. Resumen de la clasificación altimétrica del relieve, en pisos altitudinales y sus categorías (tomada de Díaz et al., 1986).

Disección Vertical y Red Fluvial

Los máximos valores de disección vertical se localizan hacia el sureste con valores mayores que 300 m/km². Los mínimos valores de disección vertical (Figura 4) se localizan hacia el oeste y norte del área con valores muy bajos en el rango de (50 - 150 m/km²). En las zonas montañosas cuando ocurren las lluvias en las partes más altas, existe un fenómeno de escorrentía a través de la red fluvial hacia los lugares más bajos donde se acumulan las aguas en los valles de inundación. Los ríos que se encuentran dentro del área son el Hondo que corre en dirección W y el Yateras que corre en dirección E. La red del drenaje se clasifica como radial.

Zonación por criterios pasivos

Después de haber realizado el análisis geomorfológico del área y la clasificación del relieve, se realizó una zonación de acuerdo a los criterios pasivos, donde intervienen el relieve y las características geológicas existentes en el área. El relieve es factor que influye en la ocurrencia de los deslizamientos y desprendimientos; tienen importancia significativa su forma y los valores de las pendientes. En el primer caso la forma del relieve determina la ocurrencia o no del fenómeno, esto es, en un relieve llano o suavemente ondulado no se producen deslizamientos y se producen con mayor frecuencia en relieves premontañosos y montañosos. En relación con las pendientes, las suaves (0-10 grados) no favorecen su ocurrencia, siendo más susceptibles a partir de los 10 grados y alcanzan su máximo valor de susceptibilidad a partir de los 30 grados.

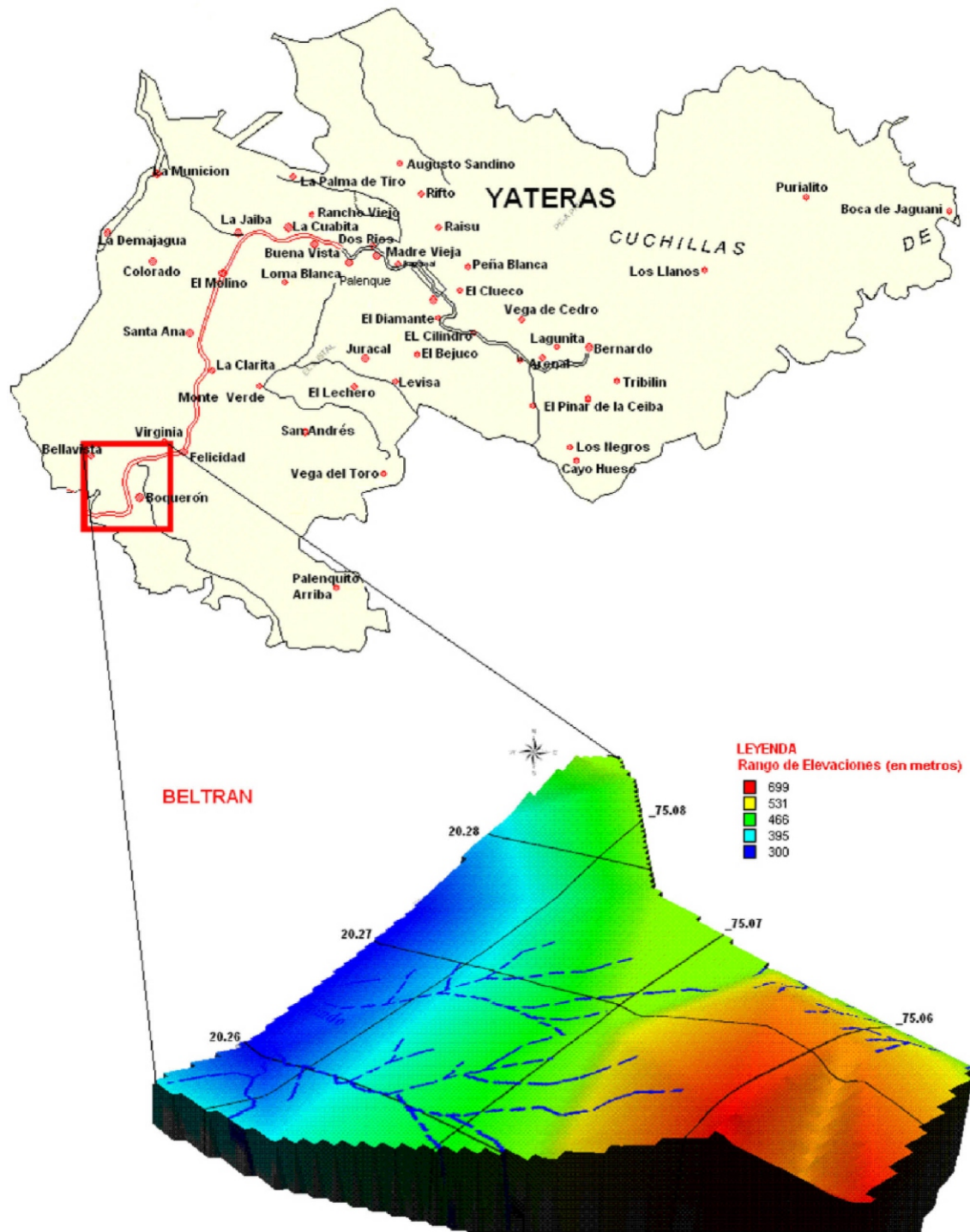


Figura3. Modelo Digital del Terreno (MDT) en 3D del área de Beltrán con el trazado de la red fluvial.

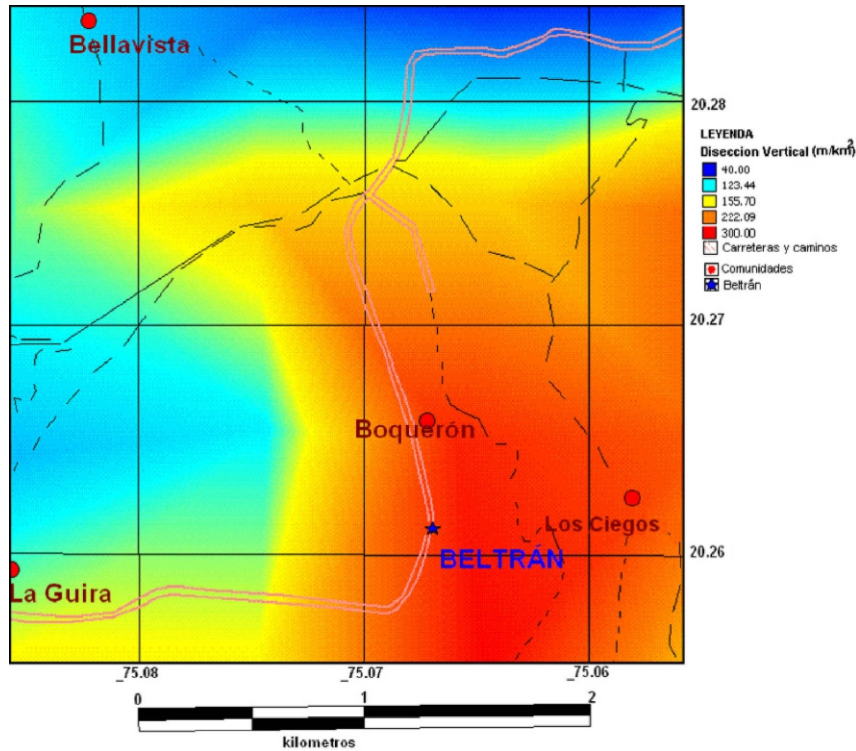


Figura 4. Mapa de disección vertical del área de estudio, con el trazado de las carreteras y vías secundarias de comunicación.

Geológicamente, la litología, el grado de alteración o de intemperismo, así como el agrietamiento, son los factores más importantes. Los planos de estratificación también son importantes en la ocurrencia de los deslizamientos, ya que constituyen discontinuidades en el macizo, que favorecen la ocurrencia de deslizamientos.

Para la zonación utilizamos la clasificación siguiente: Muy Favorable, Favorable, Poco Favorable.

BELTRÁN: Favorable. Caracterizado por un relieve montañoso de grandes elevaciones que varían entre los 280 y 800 metros sobre el nivel del mar. Aquí se calcularon las pendientes; los valores más bajos de pendiente se concentran hacia el W con valores que oscilan entre 6 y 9°; hacia el E los valores de las pendientes oscilan

entre los 10 y 30°; los máximos valores de disección vertical que se obtuvieron fueron de 300 m/km². La litología (Figura 5) es favorable para que se produzcan deslizamientos pues existen intercalaciones de areniscas, arcillas y margas con intercalaciones de calizas biodetríticas de la Formación Maquey (P3 -- N1) mq del Oligoceno-Mioceno Inferior.

Zonación por criterios activos

Para realizar la zonación por criterios activos utilizamos el método de "Criterio magnitud - distancia recomendado", propuesto por el TC-4 (ISSMGE, 1999); este método tiene en cuenta a los sismos y las precipitaciones como agentes catalizadores de los deslizamientos; consideramos que la precipitación es el agente más importante catalizador de este fenómeno geológico en el área de estudio (Figura 6)

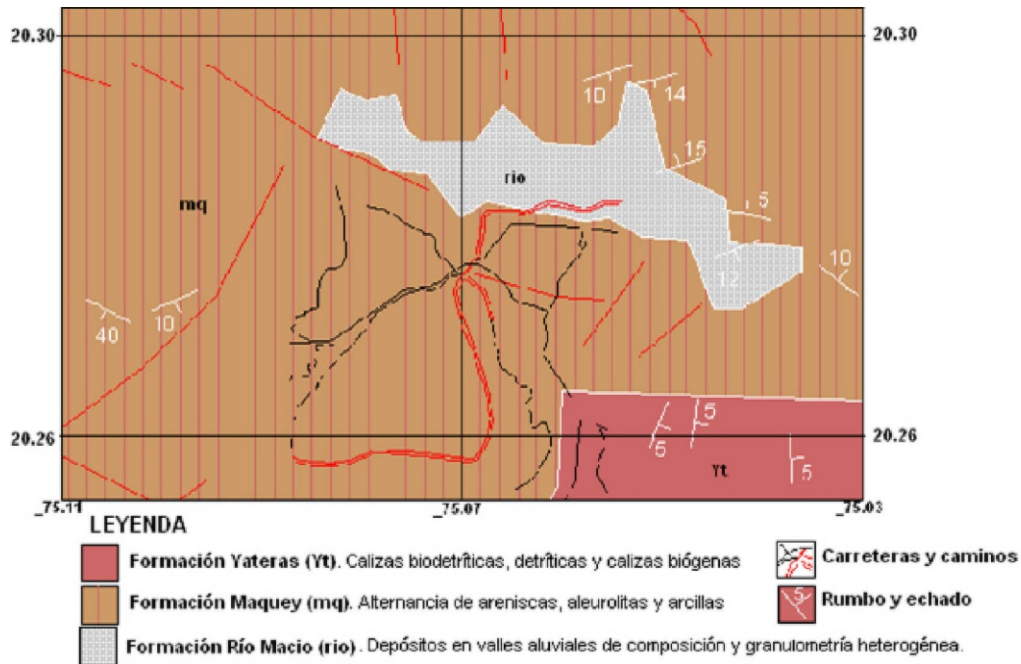


Figura 5. Esquema geológico del área de Beltrán. Tomado del IGP, 2003. Trazado de la carretera (doble línea en rojo) y vías secundarias de comunicación (líneas en negro).

Clase 1: Máxima distancia epicentral de fallo destructivo de taludes.

Clase 2: Máxima distancia epicentral de fallo de taludes.

En la Tabla 3 se presentan las principales Zonas Sismogeneradoras que afectan al municipio de Yateras y la máxima distancia de fallos de taludes según la magnitud máxima esperada (Ms). En el área existen otras zonas sismogeneradoras, pero no se evalúan porque su magnitud no influye en los deslizamientos, que ocurren cuando la magnitud es mayor que 5.

Aunque no se muestra un mapa de epicentros, la distancia epicentral al sitio Beltrán es 115 km a partir de la principal zona sismogeneradora.

Susceptibilidad del área a los deslizamientos

Para la clasificación de la susceptibilidad empleamos cuatro criterios: pasivo, activo, memoria histórica y el obtenido en los recorridos de campos efectuados en noviembre (2006) y enero (2008). Este último nos permitió conocer el estado actual del área, las rocas, el agrietamiento y la erosión, entre otros factores. Se observaron grandes grietas transversales localizadas en la zona que ocupara el escarpe principal, grietas de cizallamiento; la superficie de ruptura en el área de los deslizamientos, es un elemento fundamental que permite su clasificación; en este caso, las superficies son curvas, cóncavas, que corresponden a deslizamientos rotacionales.

ZS	M _{máx}	Clase 1	Clase 2
Sabana	7.0	18	120
Purial	6.5	11	78
Oriente 3	7.6	33	190

Tabla 3. Principales zonas sismogeneradoras y máximas distancias de fallo de taludes, las clases en km., la M_{máx} magnitud en (Ms) y ZS son las zonas sismogeneradoras.

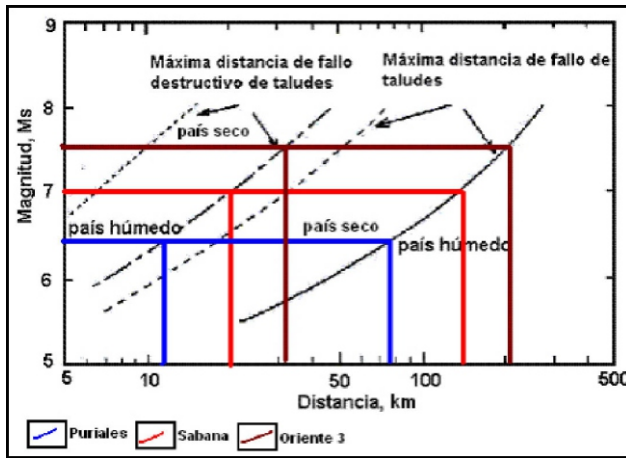


Figura 6 Curvas propuestas en el método criterio magnitud - distancia recomendado (tomado de TC-4, 1999).

Clasificación de la susceptibilidad a los Deslizamientos

- Susceptibilidad alta: Favorable, Clase 1 y condiciones malas de estabilidad.
- Susceptibilidad media: Favorable, Clase 1 y condiciones buenas de estabilidad.
- Susceptibilidad baja: Favorable, Clase 1 y condiciones muy buenas de estabilidad.

Beltrán presenta alta susceptibilidad a los deslizamientos por estar dentro de la categoría de Favorable por el criterio pasivo, tiene malas condiciones de estabilidad por su geología y se ubica en la clase 1 por los criterios activos.

Para la determinación del sector de mayor peligro geológico por deslizamientos, fue necesario realizar un análisis de todas las capas de información, auxiliándonos con la herramienta del GIS (Figura 7).

Se propone (Figura 8) el sector de mayor peligro geológico por deslizamiento, donde se encuentran los máximos valores de pendiente, de disección vertical y de altitudes.

Cuando se realizó el trazado de la carretera que une a las comunidades de La Güira con Boquerón no se tuvo en cuenta que el relieve predominante en este sector es montañoso. Se cortó la ladera, por consiguiente, se rompieron las condiciones de equilibrio existente, las condiciones del drenaje natural, la pendiente natural formada por los procesos denudativos de erosión, fundamentalmente producto de las altitudes del área. Bajo esas nuevas condiciones puede ocurrir un incremento en la frecuencia de los movimientos gravitacionales e incluso pueden reactivarse antiguos deslizamientos que habían alcanzado el estado de reposo.

La ocurrencia de estos deslizamientos en el área ha provocado impactos negativos:

- Deterioro paisajístico.
- Riesgos para el tránsito.
- Evacuación de pobladores hacia zonas más seguras.
- Vida útil corta de la carretera, lo que obligó a construir otras vías de acceso; el camino utilizado está afectado por la erosión, existe presencia de grandes surcos.
- Continúa el peligro por deslizamiento de tierra en las pendientes pronunciadas, con el consiguiente perjuicio para la infraestructura y la utilización de la tierra.

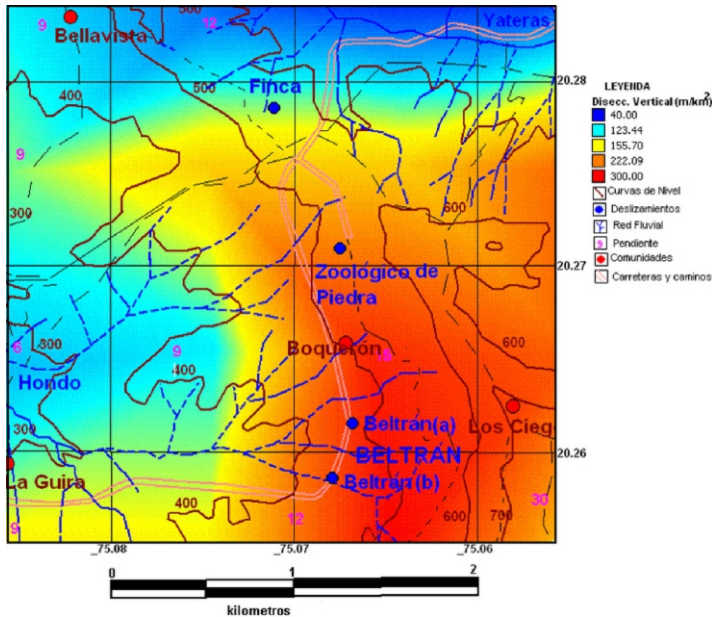


Figura 7. Múltiples capas de información sobre el área de Beltrán.

CONCLUSIONES

1. El relieve que caracteriza el área, de acuerdo con las altitudes, es ondulado, que va desde la categoría de alturas grandes ubicadas al oeste (280 m) hasta la categoría de montañas pequeñas ubicadas al sureste.
2. El área de Beltrán posee alta susceptibilidad a los deslizamientos.
3. El trazo y construcción de la carretera fueron realizados sin tener en cuenta las características del relieve.
4. Se identificó el sector de mayor peligro geológico por deslizamiento.
5. Los principales impactos detectados por la ocurrencia de los deslizamientos en el área están relacionados con el paisaje, con el riesgo para la circulación y con la evacuación de pobladores hacia zonas más seguras, además de acortar la vida útil de la carretera.

Recomendaciones

Se recomienda que el nuevo trazado del tramo de la carretera afectada, se realice sobre un área de menor susceptibilidad al deslizamiento. En la construcción de la nueva carretera consideramos importante proponer algunas medidas ingenieriles para mejorar la estabilidad del área:

- Teniendo en cuenta que el material de la zona es arcilloarenoso, es necesario sustituir, al construir la explanación, este material por suelos granulares, ya que cuando el contenido de arcilla es alto, estos suelos son menos estables en estado húmedo.
- Pueden construirse muros de contención cimentados sobre material con capacidad resistente para lo cual se recomienda realizar estudios detallados propios de la ingeniería geológica que permitan ubicar el estrato resistente.
- Eliminar la capa vegetal y construir mediante excavadora, buldózer o moto niveladora, escalones en la ladera, con el objetivo de sustituir la insuficiente resistencia contra el desplazamiento sobre la superficie de la ladera.
- Construir sistemas de drenaje adecuados para la evacuación de las aguas superficiales; dichas alcantarillas deben ser de tubos prefabricados que garanticen la unión entre las piezas, así como con la losa de asiento.

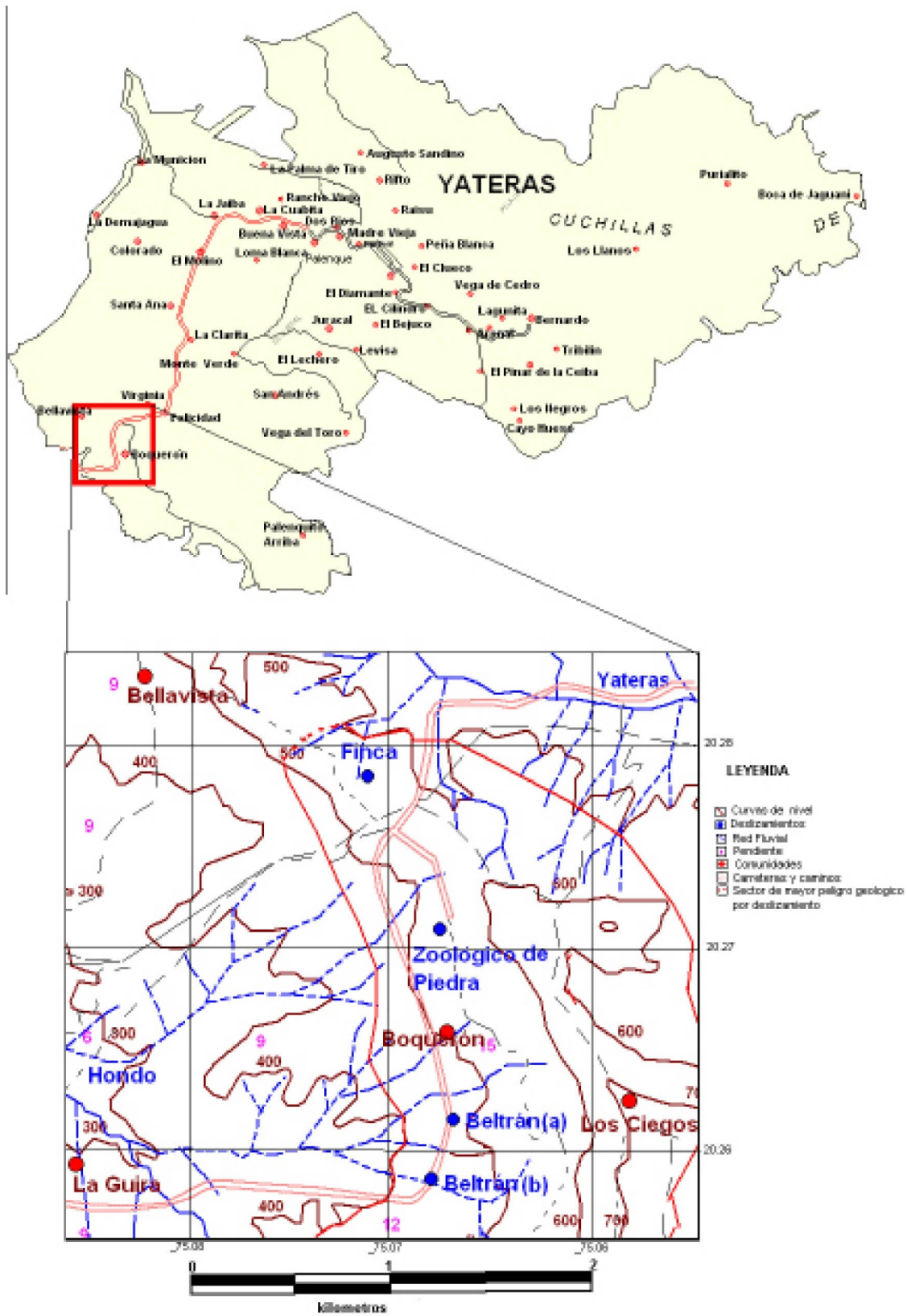


Figura 8. Sector (línea roja) interpretado como de mayor peligro geológico por desplazamiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI) y la Delegación Territorial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA) de Guantánamo, para la realización de este trabajo. También a los dos árbitros y editor de la revista, por las oportunas sugerencias realizadas al artículo.

Bibliografía

- Arango, E., 1996. Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las Placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- CMP Guantánamo, 2008. Datos climáticos medios anuales de 3 sitios de la carretera Guantánamo - Yateras. Centro Meteorológico Provincial Guantánamo.
- Chuy, T. J., 1999. Macrosísmica de Cuba y su utilización en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica. Tesis de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES y CENAI.
- Díaz Díaz, J. L., J. R. Hernández Santana, A. H. Portela Peraza, A. R. Magaz García y P. Blanco, 1986. Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región centro oriental de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geografía, La Habana, 60 pp.
- Escobar, E., Guasch, F., Villalón, M., Bársana, A., Rosabal, S., Oliva, R., Gómez, J., Delgado, R., Mesa, A., 2006. Informe Preliminar sobre el deslizamiento de tierra ocurrido en la localidad de Beltrán, municipio Yateras, provincia Guantánamo en Noviembre del 2006. Reporte técnico en Fondos del CENAI y Delegación CITMA Guantánamo, 6pp.
- Escobar, E., 2007. Peligros por deslizamientos. II Convención Cubana de la Ciencias de la Tierra.
- IGP, 2003. Mapa geológico digital de la región Oriental de Cuba, escala 1:100 000. Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS.
- Mora, S. and Vahrson, W., 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination, Bulletin International Association Engineering Geology. Vol. XXXI, No.1, p.49-58.
- Mora, S. y Vahrson, W., 1993. Mapa de amenazas de deslizamiento en la región central de Costa Rica, Escala 1:200000, CEPREDENAC – Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Periódico Granma, 1993. Información de la Defensa Civil sobre intensas lluvias en la Zona Oriental del país, 25 de Noviembre de 1993.
- Rodríguez, A., 1991. Manual de Geomorfología. Instituto Superior Minero Metalúrgico: 1987.
- SSNC, 2007. Base de Datos del Servicio Sismológico Nacional de Cuba. Fondos del CENAI – CITMA, Santiago de Cuba.
- TC-4, 1999. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering. The Japanese Geotechnical Society, 219pp.
- Zapata, J. A., Rosabal, S. Y., Escobar, E. y Gómez, J. F., 2008. Análisis de los principales factores naturales y antrópicos que catalizan e inciden en la ocurrencia de deslizamientos en la zona de Beltrán (municipio Yateras). Tarea técnica presentada por el CENAI a CITMA Guantánamo. Enero/2008. 3pp.

Recepción del manuscrito: 24 de febrero de 2009

Aceptación del manuscrito: 23 de septiembre de 2009

LOS COLORES DEL CIELO Y LA XIV OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Enrique Gómez Treviño

CICESE, División de Ciencias de la Tierra,

Ensenada, Baja California, México 22860

Si el cielo fuese verde a nadie le extrañaría, como tampoco nos extraña que de hecho sea azul. El color del cielo es uno de esos fenómenos que, por ser tan cotidianos, los damos por triviales sin mayor consideración. Si un mes el cielo fuese azul y el otro mes verde, para cambiar después a rojo o naranja, entonces sí que llamaría la atención y forzaría a la mente a buscar explicaciones. Y sin embargo, a pesar de ser algo tan común que apenas si llama la atención, ha habido desde hace miles de años personas para quienes el color de cielo requiere de una explicación en términos más elementales que simplemente decir que es azul, porque ese es su color, azul. Explicar algo en términos más elementales significa proponer una hipótesis de lo que está detrás o más allá de lo que se ve a simple vista. Se trata de des-cubrir lo que está cubierto.

La primera sospecha de que debe haber algo más allá de lo que se ve a simple vista proviene de observaciones de sentido común. En el caso del cielo tenemos que el aire es transparente a la luz, o al menos eso parece. No se puede detectar, de día o de noche, si una linterna de mano está encendida o apagada, a no ser que la veamos de frente o que ilumine algo. Esto indica que la luz simplemente se pasa de largo sin ser afectada por el aire, o bien que el aire es transparente. Pero si el aire es transparente entonces la luz del Sol se pasaría de largo y el cielo debería ser oscuro. Veríamos luz solamente viendo el Sol directamente, como en el caso de la linterna. Pero el hecho es que el cielo se ilumina, y se ilumina incluso por un buen rato después de la puesta del Sol.

Esto nos lleva a que el aire no es tan transparente como parece. ¿Qué es lo que lo hace que no sea tan transparente? ¿Y por qué azul? ¿Y por qué rojo al atardecer? ¿Y por qué en experimentos con linternas, en pequeños volúmenes, el aire sí es transparente?

La aventura de des-cubrir lo que está detrás de estos fenómenos le tomó a la humanidad miles de observaciones, hipótesis, experimentos y cálculos a lo largo de muchos siglos. Destacan los trabajos pioneros e ideas científicas del mundo árabe de alrededor del siglo X. Posteriormente en Europa, personajes tan brillantes como Leonardo da Vinci y Newton realizaron observaciones y experimentos al respecto pero fallaron en descifrar el enigma. Alrededor del año 1800 se descubre que la luz azul del cielo está polarizada, más experimentos y observaciones, más hipótesis descartadas y así llega la parte final del siglo XIX. Lord Rayleigh propone una teoría más o menos convincente basándose en los experimentos de Tyndall, pero con ciertas deficiencias que fueron luego completadas por Einstein. Y llega 1918. El hijo de Lord Rayleigh demuestra experimentalmente que no se requieren partículas extrañas al aire para que la luz se esparza según había predicho su padre. Y es que Lord Rayleigh, al igual que todos los científicos anteriores excepto Alhazen, tenían su partícula favorita, para unos era polvo, para otros gotitas de agua, humo o cristallitos de sal.

Las 25 preguntas sobre este tema que se incluyeron en el examen de la XIV Olimpiada recrean esta fascinante historia sobre el color del cielo y aspectos relacionados.

Lugar	Estudiante	Escuela	Ciudad	Profesor
Primero	Christian Uriel Pérez Delgadillo	COBACH La Mesa	Tijuana	Manuel Armando Gómez Piñón
Segundo	Guadalupe Susan Ramos García	COBACH La Mesa	Tijuana	Manuel Armando Gómez Piñón
Tercero	Francisca Saldaña Velazco	COBACH Tijuana Siglo XXI	Tijuana	Gabriela de la Selva Rubio

Estas preguntas se incluyen al final del presente artículo. En lo que sigue se presenta la guía que se publicó un mes antes del examen. En esta ocasión presentaron el examen 137 estudiantes provenientes de preparatorias de Mexicali, Tijuana, Rosarito, San Felipe y Ensenada. Los ganadores fueron

Guía para la XIV Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra Instalaciones del CICESE, Ensenada, Baja California Sábado 29 de noviembre de 2008

El examen de la XIV Olimpiada constará de dos partes. La primera se basará en las preguntas de las olimpiadas VI (año 2000) y X (año 2004), según se encuentran en artículos de la revista GEOS. En esta revista de la Unión Geofísica Mexicana se han publicado cada año los informes de cada olimpiada, con una parte de las preguntas y con alguna reflexión sobre el tema del año. En esta misma página pueden consultar o descargar todos los artículos que se han escrito al respecto, los cuales a la fecha son 12, aunque se han realizado 13 olimpiadas (sólo hay 12 artículos porque en el primero se cubren la primera y la segunda). Leyendo los artículos podrán darse una idea de cómo han ido cambiando las cosas en estas olimpiadas, el tipo de preguntas así como los temas de cada año. Sin embargo, para el examen revisen muy bien los correspondientes a las dos olimpiadas mencionadas, porque 75 preguntas de las 100 que acostumbramos poner en cada examen saldrán de esos artículos. En el artículo sobre la olimpiada VI hay 30 preguntas y en el de la X hay otras 50. En total encontrarán 80 preguntas, de las cuales se escogerán 75 para el examen de la presente olimpiada. Decidimos revivir la mitad de las preguntas de la X olimpiada, la del año 2004 que trata sobre el Calentamiento Global, dado el renovado interés sobre este tema en el último año, con la entrega del Premio Nobel 2007 a Al Gore.

Sin embargo, para no perder la costumbre de preguntas nuevas y mantener la emoción que trae consigo lo inesperado, decidimos incluir 25 preguntas nuevas, las cuales no conocerán sino hasta que estén en el examen. Estas preguntas versarán sobre observaciones de la atmósfera que ustedes mismos pueden realizar todos los días y que pueden plasmar en preguntas concretas. Por ejemplo: se observa que el cielo es azul. La pregunta obligada sería: ¿Cómo, o porqué, es que el cielo es azul? Otra: se observa que aún después de la puesta del Sol tenemos un buen rato de luz con la que podemos hasta leer. ¿Por qué no se oscurece el cielo de inmediato? ¿De dónde viene esa luz? Podrán observar también que si bien el cielo es azul directamente sobre nosotros, hacia el horizonte el azul tiende a convertirse en blanco. Esto le interesaba mucho a Leonardo da Vinci (hace más de 500 años) porque quería pintar paisajes realistas y deseaba saber cómo producir esos efectos. Vean por ejemplo la Mona Lisa. ¿Y el arcoíris, qué es? ¿Quién calculó el espesor de la atmósfera midiendo lo que dura el crepúsculo, y cómo y cuándo lo hizo? ¿Y a propósito, qué es el crepúsculo? ¿Y la aurora y el alba, qué son? ¿Quién fue Ibn Muadh (pista gratis)? ¿Desde cuándo se sabe o se comprende por qué el cielo es azul? ¿Tuvo Einstein algo que ver en el asunto?

Háganse preguntas como estas y ahora que existe la Red, Web o Internet, se puede consultar mucho más fácil que antes sobre cualquier tema con un buen buscador. Si no encuentran lo que buscan en español, búsqüenlo en inglés (también hay diccionarios en línea que los ayudan a traducir). ¿Porqué las nubes son blancas, y por qué hay unas muy oscuras? Todos estos fenómenos ópticos de nuestra atmósfera se entendieron cabalmente sólo hasta hace apenas un siglo. Muchos científicos, desde los tiempos de los griegos hasta hace muy poco, hacían sus propuestas e hipótesis así como experimentos para comprobar sus ideas. Cada quién estaba convencido de que su teoría era correcta, pero como siempre ha habido envidiosos, casi tan pronto como se proponía algo aparecía alguien más para detectar errores y proponer algo mejor. Así las cosas, no queda otra alternativa que mejorar con cada nueva crítica o propuesta. Y así sigue siendo en la ciencia, es uno de sus puntos fuertes. Una vez que se prueban las hipótesis éstas se convierten en teorías. Léanse el ensayo con el que empieza el artículo sobre la XI olimpiada. Allí se explican de manera muy simple lo que son las teorías y para qué sirven.

En lo que concierne al comportamiento de la luz en la atmósfera parece que ya tenemos todo lo que necesitábamos: una buena teoría. Desde hace varias décadas nadie ha podido demostrar que los fenómenos básicos se pueden explicar mejor con otra teoría. Cuando decimos que tenemos una buena teoría no nos referimos a algo que puedan leer en un párrafo y aprenderlo de memoria. En realidad se trata de un conjunto de ideas que en su tiempo fueron hipótesis, luego teorías y, de hecho, valga la redundancia, ahora son hechos. Detrás del comportamiento de la luz en la atmósfera está que la atmósfera está hecha de átomos, que estos son de naturaleza eléctrica, que tienen cierto tamaño y que están separados por ciertas distancias. Ah, y también que están constantemente chocando entre ellos.

También está detrás que la luz es una onda como las olas del mar y que esas ondas son de perturbaciones eléctricas que pueden mover a los átomos, ya que también son eléctricos. Los detalles de porqué el cielo se pone rojo a la puesta del Sol se los dejamos a ustedes. ¿Habían oído hablar del rayo verde?

En sus búsquedas en la Red traten de hacerse para ustedes mismos una visión general de lo que pasa. Integren los diferentes detalles en una historia que puedan contar. Por ejemplo: El Sol emite luz de diferentes longitudes de onda, con un máximo más o menos en el centro, la luz llega a la atmósfera y perturba a las moléculas de que se compone el aire, la perturbación no es igual para todas las longitudes de onda, siendo las más eficaces las de tal o cual longitud de onda, las moléculas afectadas remiten la luz en todas direcciones y eso es lo que vemos como el color del cielo, los otros colores se pasan de largo y no los vemos. ¿Y si no hubiera atmósfera en la Tierra, podríamos ver las estrellas en el día? ¿Y podríamos vernos unos a otros? ¿Y podríamos escondernos debajo de un techo sin paredes? No cabe duda que siendo las cosas como son, vivimos en un planeta muy bonito. La capa de ozono también tiene algo que ver con el azul del cielo, pero a cierta hora. Tenemos además el fenómeno de la polarización, el cual se puede apreciar con lentes o plásticos polarizados (ojo: no todos los lentes o plásticos oscuros son polarizados). Como en los eclipses y en general, no se debe ver directamente al Sol, con o sin lentes.

Recuerden, lean y trabajen en los artículos de las VI y X olimpiadas, tanto en los ensayos como en las 80 preguntas, y también en el ensayo de la XI olimpiada (no en las preguntas). Las preguntas nuevas valdrán el doble que las otras. En total serán 100 preguntas como siempre.

Pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. Para el mediodía trataremos de contratar los tacos de siempre (los del año pasado estuvieron bien, pero el consenso se inclinó hacia los anteriores). Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios incluyendo la red sismológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California (ya recibimos mediante Internet información de estaciones instaladas en Baja California Sur). Por favor recuerden que es muy conveniente para nosotros que se inscriban con anterioridad, ya sea en forma individual o en

grupo según se indica en el poster (en esta página), porque nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir los diplomas de participación, así como el número de pupitres que necesitaremos y la cantidad de comida que debemos ordenar. Sin embargo, aún si no se inscriben con anticipación, pueden llegar ese mismo día e inscribirse. A la fecha hemos podido manejar perfectamente a los pocos que a última hora se deciden en participar. Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Las 25 preguntas sobre el color del cielo

1. La luz es invisible en el aire, de día o de noche. Hagan la prueba con una linterna. Véanla desde atrás o de lado, y no sabrán si está encendida o apagada. De acuerdo con esto, cuando el Sol se mete debería hacerse de noche inmediatamente, pues la luz sobre nuestras cabezas sería invisible y no podría iluminarnos. Simulen una puesta de Sol con una linterna y un libro como obstáculo. Verán que la oscuridad es inmediata al otro lado del libro. Entonces, si el aire es transparente no debería haber crepúsculos. Y sin embargo los hay. Para simular un crepúsculo, hagan lo mismo que para la puesta de sol, pero ahora hagan que la luz de la linterna incida sobre humo. Como por arte de magia, verán que la parte oscura se ilumina con luz más o menos difusa. ¿Qué está pasando? Al parecer, las partículas de humo reflejan como minúsculos espejitos la luz que de otra manera pasaría sin ser detectada. Esta reflexión ocurre en todas direcciones, pues se ilumina la parte oscura detrás del libro, así como llega a nuestros ojos en el lado opuesto. Al parecer se trata de una reflexión muy especial, porque la luz que antes tenía una dirección determinada, ahora no tiene dirección preferencial. El crepúsculo requiere, según esta similitud, que el aire no sea tan transparente y que tenga esta especie de espejitos que difunden la luz por todos lados.

Pero ¿Qué son, o de qué están hechos estos espejitos? ¿Existen en realidad? ¿El cielo es azul porque los espejitos son azules, y al atardecer se vuelven rojos? La inquietud e interés por explicar este tipo de fenómenos llegó al mundo árabe en el siglo VIII a través de La Casa de la Sabiduría, en Bagdad, Iraq, donde se realizaron las primeras traducciones de los escritos griegos. El primer personaje importante de esa época fue al-Kindi, a quien las explicaciones de Aristóteles de que el aire cambia de color al condensarse le parecieron sin mucho fundamento. Las observaciones de al-Kindi lo llevaban a que el aire es transparente y que para que tenga color, deberá contener algún tipo de partículas que no fueran transparentes. Para al-Kindi estas partículas eran

- a) polvo terrestre b) gotitas de agua
- c) humo d) cristallitos de sal

2.-Doscientos años después de al-Kindi vivió en Egipto quien para muchos fue el primer científico del mundo. Nació en Basra, Iraq. Sus obras fueron traducidas al latín y eran conocidas en Europa en la edad media, en donde se le conocía como Alhazen. Su libro Óptica ha sido considerado, al lado del Principia Matemática de Filosofía Natural de Newton, como uno de los libros más influyentes en la historia de la física. Se le considera pionero del método científico y, como tal, autor de la idea más influyente en la historia de la ciencia en los últimos mil años. Entre sus logros se incluyen el principio de Fermat de tiempo mínimo para la luz y el principio de inercia de Galileo o primera ley de Newton. Prometió al Califa que podía hacer una presa para controlar el río Nilo, pero al visitar el área se dio cuenta que no podría cumplir su promesa y, para evitar que lo mataran (así se estilaba en ese tiempo y lugar), se hizo pasar por loco. Al morir el Califa recuperó "milagrosamente" la razón. Ese periodo de "demencia" duró más de 10 años, tiempo en que escribió su obra principal Óptica. Era partidario de que la atmósfera no era infinita, sino que debía tener un espesor finito. Sus observaciones sobre la interacción entre luz y aire lo llevaron a concluir que el aire retiene una pequeña parte de la luz. Esto hace que el aire se vuelva a su vez una fuente de luz, remitiendo en todas direcciones esa pequeña parte que se guarda. Su opinión era que no se requiere de ningún tipo de partícula en el aire para que se produzca este efecto. El verdadero nombre de este personaje era

- a)al-Kindi b)Ibn al-Haytham
c)IbnMuadh d)al-Biruni

3.-Abu Abd Allah Muhammad ibn Muadh Al-Jayyani, o simplemente Ibn Muadh, nació en el año 989 en Córdoba, España. Su nombre y apellidos no son típicamente españoles como los que se usan actualmente, porque nació en el periodo de varios siglos en que ese país estuvo ocupado por los árabes.

Para muchos, Ibn Muadh es el gran científico olvidado, pues sus contribuciones no han sido suficientemente reconocidas en la historia de la ciencia, como lo son la invención de la trigonometría esférica y la demostración de importantes teoremas al respecto. Ibn Muadh estimó, hace mil años, el espesor de la atmósfera mediante una combinación muy ingeniosa de observaciones y geometría, en el más puro estilo de los antiguos griegos y, al mismo tiempo, en el más moderno estilo de la ciencia actual. Estimó primero el ángulo que hacen los rayos del Sol con respecto a la línea del horizonte en el momento en que se hace completamente de noche. Para eso estimó la duración del crepúsculo vespertino y la comparó con la duración de un día completo. El crepúsculo vespertino es la parte del día que va desde que se oculta el Sol en el horizonte hasta que se hace completamente de noche, cuando la sombra de la Tierra termina por desaparecer en el horizonte. Su estimación de dicho ángulo corresponde perfectamente a las mediciones actuales. El ángulo en grados es de

- a)4.5 b)9.0
c)13.5 d)18

4.-En nomenclatura o notación moderna, el razonamiento de Ibn Muadh conduce a la fórmula $h=R(1-\cos(A/2))/\cos(A/2)$, donde h es el espesor de la atmósfera, R es el radio de la Tierra y A es el ángulo mencionado en la pregunta anterior. Recuerden que los antiguos griegos ya habían estimado el radio de la Tierra y que dicho valor era muy cercano al que tenemos nosotros. Los árabes de ese tiempo conocían los logros de los antiguos griegos porque hacia el siglo VIII habían localizado y traducido muchas de sus obras matemáticas y de otras disciplinas, incluyendo los compendios de Aristóteles. En lo que se conoce como la época de oro del mundo árabe, del siglo VIII al XIII, se continuaron y superaron muchos de los logros de los griegos, en universidades y bibliotecas distribuidas a lo largo y ancho del imperio. Europa vivía lo que se

conoce como la Edad Media y existía nulo o casi nulo interés por la ciencia, excepto en España que, como se mencionó anteriormente, en ese tiempo formaba parte del imperio árabe. Utilizando un valor de R de 6,370 km, la fórmula de Ibn Muadh lleva a que el espesor de la atmósfera es de

- a)20 km b)40 km
- c)80 km d)160 km

5.-Leonardo da Vinci, pintor, ingeniero, inventor, escultor y hombre de ciencia, vivió en Italia alrededor del año 1500. Conocía los trabajos de Aristóteles y de los científicos árabes sobre el color del cielo, así como de algunos de sus propios contemporáneos, y no podía sino quedar confundido por las diferentes opiniones y teorías al respecto. Siendo él mismo uno de los descubridores de la perspectiva, con la que se le da profundidad a dibujos y pinturas, su interés no era pura curiosidad, pues le interesaba poder hacer lo mismo pero a base de colores, como se puede apreciar en gran parte de sus cuadros. Como buen representante del renacimiento europeo, ponía en duda todas las opiniones y se dedicaba a observar por sí mismo y a probar diferentes hipótesis. Experimentaba con luz reflejada en humo proveniente de leña seca y húmeda, y comparaba con diferentes fondos, oscuros y claros. Subía a los Alpes y veía cómo el cielo de azul se convertía en negro, y veía hacia el horizonte y lo encontraba más azul. Sus observaciones y experimentos lo llevaron a concluir que el color azul del cielo se debía a la presencia en el aire de

- a)polvo terrestre b)gotitas de agua
- c)humo d)cristalitos de sal

6.-Doscientos años después, aparece en Inglaterra un libro llamado Óptica, esta vez por Isaac Newton. En el libro se describen muchos descubrimientos hechos por el autor sobre la reflexión y refracción de la luz, así como la demostración de que la luz blanca está compuesta de los diferentes colores del espectro que todos conocemos. Para aplicar sus descubrimientos a la atmósfera, en particular al color azul del cielo, Newton supuso que pequeñas partículas por reflexión podían descomponer la luz blanca en sus diferentes colores, y que de alguna manera las cosas se acomodaban para que viéramos solamente la parte azul. Las partículas que Newton suponía era

- a)polvo terrestre b)gotitas de agua
- c)humo d)cristalitos de sal

7.-Aunque la teoría de Newton sobre el color azul del cielo fue bastante criticada, su prestigio en otras áreas de la ciencia era tan grande, que pocos se atrevían a hacerlo abiertamente y a proponer teorías alternativas. Uno que lo hizo fue Rudolf Clausius, de Berlín, Alemania. Clausius demostró, 150 años después de la propuesta de Newton, que de ser cierta su teoría el Sol debería de verse 100 veces más grande. Obviamente algo estaba mal en la explicación de Newton. Clausius modificó la teoría de Newton para salvarla. Lo que hizo fue re calcular los efectos de las mismas partículas que Newton, pero huecas. Las partículas que Clausius modificó eran de

- a)polvo terrestre b)gotitas de agua
- c)humo d)cristalitos de sal

8.-Unos años después, en 1868, el físico irlandés John Tyndall se propuso hacer un cielo artificial en un tubo de vidrio. Lo más simple hubiera sido cerrar el tubo y trabajar con el aire tal como es, o simplemente trabajar con el aire, sin tubo, como en la primera pregunta.

Ya sabemos que en este caso no pasa nada, no hay ni crepúsculo ni cielo azul ni nada. Veremos más adelante que en realidad sí existen estos fenómenos en volúmenes pequeños de aire, pero es muy, muy difícil detectarlos. De hecho, si fuera posible detectar estos efectos en pequeños volúmenes, no hubieran sido enigmas por tanto tiempo. Lo que hizo Tyndall fue incidir luz blanca en vapores de varios ácidos y sustancias, observando que si en el tubo había gotitas microscópicas se producía el azul. Tyndall explicaba que la luz azul se producía porque la luz blanca incidente interactuaba con las gotitas mediante una de las cuatro propiedades de la luz conocidas hasta entonces. ¿Cuál de ellas escogió?

- a)refracción b)reflexión
- c)difracción d)dispersión

9.-Tyndall escogió la propiedad equivocada, pero no por tonto, sino porque todavía no se había descubierto la propiedad que necesitaba. Unos años después, Lord Rayleigh, quien todavía no era Lord, trabajando en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, se propuso desenmarañar los resultados experimentales de Tyndall. La clave para Lord Rayleigh estaba en que todas las sustancias probadas por Tyndall producían luz azul, y que solamente lo hacían cuando las gotitas eran extremadamente pequeñas, y el efecto desaparecía cuando las gotitas se hacían más grandes. Obviamente la clave no era la sustancia sino el tamaño. Hizo unos cálculos comparando la longitud de onda de la luz azul con estimaciones del tamaño de las gotitas, y se dio cuenta que su diámetro era menor que la longitud de onda. Y ahí estaba el error de Tyndall, porque la propiedad que escogió sólo tiene sentido cuando los objetos son grande con respecto a la longitud de onda. Imaginó una nueva propiedad de la luz al interactuar con objetos pequeños, a la cual llamó esparcimiento, en el sentido de esparcirse o difundirse algo, en este caso la luz.

Esta nueva propiedad es parte de la ciencia moderna y explica perfectamente el color del cielo y muchas otras cosas, pero no como lo expresó Lord Rayleigh en su momento. Como muchos antes que él, excepto Alhazen, todos requerían partículas de algún tipo en el aire, como el humo en los experimentos de la primera pregunta. ¿Cuál era la partícula preferida de Lord Rayleigh?

- a)polvo terrestre b)gotitas de agua
- c)humo d)cristalitos de sal

10.-La teoría de esparcimiento de Rayleigh predice que la luz esparcida está polarizada a cierto ángulo con respecto a la luz incidente. Esto estaba muy bien porque Tyndall en sus experimentos había observado ese mismo ángulo. Ustedes pueden hacer sus propias observaciones al respecto con una botella de vidrio o de plástico con agua, a la que le agreguen unas gotas de leche. El agua se pone un poco turbia por las partículas en suspensión, las cuales en este caso serán las responsables del esparcimiento. Coloquen una lámpara encendida en el fondo de la botella y verán que la luz que primero se esparce es la azul, llegando al otro lado solamente la amarilla y roja. Con un plástico polarizado determinen la polarización de la luz azul. También lo pueden hacer viendo el cielo. El hecho de que los tres valores coinciden, el experimental, el teórico y el del cielo, sugieren que el experimento es una versión correcta de lo que pasa en el cielo, y que la teoría explica ambos casos, por lo que debe ser una buena teoría. El ángulo de polarización es de

- a)45 grados b)90 grados
- c)180 grados d)360 grados

11.-La teoría que no pasó la prueba de la polarización fue la de Newton, la cual predice un ángulo que no corresponde ni al del cielo ni al de los experimentos. Solamente algunos despistados y mal informados siguen pensando que Newton estaba en lo correcto. El ángulo que predice la teoría de Newton es de

- a)54 grados b)64 grados
- c)74 grados d)84 grados

12. En 1973 recibió el Premio Nobel de fisiología/medicina un científico alemán por haber hecho un descubrimiento fascinante en 1949. Sus primeras investigaciones datan de 1910, con trabajos donde demuestra que los peces pueden distinguir colores y brillo. Pasa después a estudiar a las abejas y tras décadas de observarlas y experimentar con ellas descifra la llamada danza de las abejas, mediante la cual las abejas que llegan a la colmena indican a sus compañeras la dirección y distancia a la que se encuentra la fuente de alimento. Experimentando con luz polarizada, también descubrió que las direcciones se indican con respecto al patrón de polarización del cielo a esa hora del día. Y no importa que esté parcialmente nublado, porque utilizan todo el patrón del cielo, por lo que sólo necesitan unos pocos claros donde se vea el cielo y reconocen el patrón completo. El nombre de este científico es

- a)Karl von Frisch b)Karl von Weber
- c)Karl von Braun d)Karl von Bonnel

13. En 1809 se descubrió que la luz del cielo está polarizada. Se estima que 40 % de la luz que vemos está polarizada. Esta es una cantidad relativamente grande, pues es casi la mitad del total. Por miles de años no nos dimos cuenta de que casi la mitad de la luz que vemos tiene propiedades especiales. Las abejas lo sabían pero nunca dijeron nada.

El hecho es que aunque nos lo hubieran dicho de alguna manera, nosotros no sabríamos de qué estaban hablando, porque nosotros no tenemos células especializadas para distinguir polarizaciones y ellas sí. El científico que descubrió que el cielo estaba polarizado construyó un aparato hecho de muchos vidrios inclinados para polarizar la luz, y descubrió lo que nosotros podemos comprobar con un simple plástico polarizado. El nombre de este científico es

- a)Francois Arago b)John Tyndall
- c)Karl von Weber d)Simon Laplace

14. La luz que no está polarizada puede polarizarse natural o artificialmente. Polarizar la luz significa escoger la que vibra en una dirección determinada. Esto es lo que hace los plásticos polarizados, rechazan una componente y dejan pasar la otra. Algunos procesos naturales son capaces de hacer lo mismo. Por ejemplo, cuando luz no polarizada incide sobre la superficie del agua, la parte que se refleja está polarizada horizontalmente y la que penetra lo está en otra dirección perpendicular. Por eso es que los plásticos polarizados les son muy útiles a los pescadores, pues eliminan los reflejos y permiten ver lo que está por debajo de la superficie: los peces. El ángulo de incidencia al cual la luz está completamente polarizada en dos direcciones perpendiculares se le conoce como ángulo de

- a)Arago b)Tyndall
- c)Brewster d)Descartes

15. Los espejos polarizan la luz por

- a)reflexión b)refracción
- c)esparcimiento d)no la polarizan

16. Los patrones de polarización del cielo son bastante regulares y simples. Cambian en forma regular según avanza el día. El patrón al amanecer es el mismo que al anochecer pero rotado y trasladado a la posición correspondiente del Sol. Uno puede extrapolar y reconstruir fácilmente todo el patrón con ver solamente una parte del mismo. Por eso es que las abejas pueden utilizarlo aún en días parcialmente nublados. La polarización de la luz del cielo es

- a) tangencial a círculos alrededor del Sol
- b) perpendicular a círculos alrededor del Sol
- c) tangencial a elipses alrededor del Sol
- d) perpendicular a elipses alrededor del Sol

17. Si en Tijuana el máximo de polarización del cielo se encuentra exactamente sobre nuestras cabezas, en Matamoros

- a) el máximo está más hacia el este
- b) el máximo está sobre sus cabezas
- c) es de noche
- d) el máximo está hacia el sur

18. El rayo verde es el título de una novela de Julio Verne, en la que los personajes buscan oportunidades de ver el rayo verde, pero siempre se ven frustrados por la presencia de nubes, barcos u otros obstáculos en el momento crítico. Este fenómeno se debe principalmente a la forma diferente en que los colores se refractan en la atmósfera. Como se sabe, por el experimento de Newton con el prisma, el color azul se refracta mucho más que el rojo. Esto implica que desde nuestro punto de vista el Sol al atardecer es más rojo en su parte inferior y más azul en su parte superior, aunque generalmente no lo notemos. El efecto aumenta cuando la atmósfera es más refractiva, lo cual sucede cuando hay mayor gradiente vertical de densidad del aire. En condiciones óptimas los colores se separan lo suficiente para ser observados a simple vista, y aparece el rayo verde al final de la puesta del Sol.

Sin embargo, según lo que sabemos el azul se refracta más que el verde, por lo que el rayo debería ser azul, pero no lo es. ¿A dónde se fue el azul? El color azul

- a) se refracta tanto que se pierde
- b) se refleja hacia atrás
- c) se esparce y no llega
- d) se difracta y se pierde

19. Como se mencionó anteriormente, Lord Rayleigh pensaba que su teoría necesitaba algún tipo de partícula además de las moléculas del aire, y él mismo propuso su favorita. Uno supondría que siendo él quien propuso la nueva propiedad de la luz, debería saber qué partículas estaba simulando con sus matemáticas. Pero no, no lo sabía. La razón es que su teoría de esparcimiento es indiferente al tipo de partícula. Recordemos que se propuso simular los resultados de Tyndall, los cuales le indicaban que el fenómeno de la luz azul dependía solamente del tamaño de las gotitas de los vapores. Su resultado final fue que la intensidad de la luz que esparce una partícula pequeña, más pequeña que la longitud de onda de la luz, aumenta al disminuir la longitud de onda. O sea, que una partícula pequeña esparcirá más luz azul que roja, simplemente por tener menor longitud de onda. En términos más precisos, la dependencia que encontró se expresa como $1/\lambda^4$ (λ = longitud de onda). Calcular cuántas veces más se esparce la luz azul ($\lambda = 400\text{nm}$) que la roja $\lambda = 700\text{nm}$.

- a) 700/400
- b) 10
- c) 2
- d) 70

20. Las nubes están formadas por gotitas de agua -no de vapor de agua, como generalmente se cree- de alrededor de 20 micro-m (20,000 nm) de diámetro, o sea que son más o menos 30 veces más grandes que la longitud de onda de la luz roja y más veces que la de la azul. Cuando la luz incide sobre partículas de este tamaño también se produce el fenómeno de esparcimiento. O sea que la luz, independientemente desde qué

dirección proceda, al interactuar con las gotitas de agua éstas la esparcen en todas direcciones, al igual que en el caso del esparcimiento de Rayleigh. La diferencia, sin embargo, es que en este caso la cantidad de luz esparcida casi no depende de la longitud de onda. Esto implica que si la luz incidente es blanca, la luz esparcida también es blanca. Y así tenemos que las nubes, que en realidad están hechas de agua transparente, se ven como cúmulos de algodón. El modelo matemático de este tipo de esparcimiento fue desarrollado por un científico alemán de apellido

- a)Goethe b)von Brawn c)Mie
d)Kosch

21. Cuando el Sol está sobre nuestras cabezas la luz atraviesa la atmósfera más o menos verticalmente, siendo afectada solamente por un espesor de aire aproximadamente igual al espesor de la atmósfera. Sin embargo, cuando el Sol se pone en el horizonte, la luz tiene que viajar a través de un espesor mucho mayor de aire. Esta diferencia es responsable de fenómenos como el de los atardeceres rojos. ¿Cuántas veces es mayor la cantidad de aire en los atardeceres que al mediodía?

- a)10 b)15 c)25 d)35

22. ¿Cómo es que el cielo se pone rojo hacia el horizonte cuando se pone el Sol? Esto es porque el color rojo es el que

- a)menos se refracta b)menos se dispersa
c)menos se esparce d)menos se diluye

23. Cuando alrededor del año 1900 se hicieron las primeras estimaciones del tamaño de átomos y moléculas y de las distancia entre ellos, particularmente en gases, se calculó que en una longitud de onda de la luz cabían alrededor de 100 moléculas de aire.

Estos números eran devastadores para el modelo de esparcimiento de Rayleigh, porque si caben tantas moléculas en una longitud de onda, implica que para nosotros que estamos lejos, lo que hace la mitad positiva de la onda se debe cancelar con lo que hace la parte negativa. El efecto neto a grandes distancias se cancela, y adiós el cielo azul: la teoría no sirve. Y sin embargo el efecto existe, y la teoría parecía muy buena. ¿Qué hacemos? ¿La desechamos como se desechó la de Newton, o la mejoramos introduciendo algo que se nos olvidó? La cuestión es imaginar y encontrar lo que se nos olvidó. Entre 1908 y 1910 Einstein y Smoluchowski salvaron la teoría de Rayleigh basándose en que

- a)sólo hay una molécula por longitud de onda b) en el aire existen fluctuaciones de densidad que rompen la simetría
c)la longitud de onda del azul es en realidad mucho menor
d)no son las moléculas de aire las que esparcen la luz sino cristalitas de sal

24.El experimento del crepúsculo artificial con la linterna y el humo sugiere que se necesita algún tipo de partícula en el aire para que se produzca el esparcimiento de la luz. Todos los interesados en el problema sugerían un tipo de partícula además del aire, excepto Alhazen, hace mil años, para quien el aire mismo retenía una parte de la luz y la volvía a emitir en todas direcciones. Hasta el mismo Lord Rayleigh sostenía que se requerían partículas extrañas al aire, y que si en realidad era suficiente con el aire mismo, nunca se iba a poder probar en el laboratorio con muestras pequeñas de aire. Sin embargo, en 1918 su propio hijo demostró experimentalmente con aire puro que sí existe esparcimiento de la luz y además con los aspectos de polarización y de colores que predecía la teoría de su padre. Así se cierra la historia de este tema, aunque todavía es creencia común que son partículas de polvo u otro material las que hacen que el cielo se ponga rojo al atardecer.

Cuando hay muchas partículas extrañas el efecto aumenta, pero no son necesarias. Alhazen tenía razón. El hijo de Lord Rayleigh no se apellidaba Rayleigh, porque tenía el apellido original de su padre, quien recibió el título nobiliario de Lord Rayleigh por herencia de su abuelo, quién lo recibió por haber peleado contra Napoleón a principios de siglo XIX. El apellido original de Lord Rayleigh era

- a) Kelvin b) Strutt
- c) Thomson d) Rutherford

25. El último enigma sobre el color azul de cielo se resolvió hacia 1950 por Edward Olson Hulburt. En la hora del crepúsculo el cielo sigue siendo azul sobre nuestras cabezas, pero según el esparcimiento de Rayleigh ya no debería ser azul sino rojo, o por lo menos amarillo, porque el azul ya se esparció antes de llegar a nosotros, como sucede hacia el horizonte. Hubo que tomar mediciones en globos aerostáticos y cohetes para resolver esta cuestión, así como recordar experimentos hechos en 1887 en Francia sobre el ozono. En ese tiempo ya se había descubierto el ozono y se sabía que absorbe los rayos ultravioleta, y también que la atmósfera, en alguna parte, contiene ozono. También se sabía que el ozono filtra la luz visible, aunque en menor grado que la ultravioleta - como mil veces menos. El ozono deja pasar sólo el azul y filtra los demás colores por un proceso químico de disociación de moléculas. En el día lo que predomina es el azul del esparcimiento de Rayleigh, pero en el crepúsculo domina este otro efecto de filtrado, porque a esa hora se están iluminando sólo las altas capas de la atmósfera, en donde se encuentra precisamente el ozono. O sea que el cielo sigue siendo azul, pero por un proceso químico, no físico. Casi nadie nota la diferencia cuando el cielo pasa de un proceso a otro, porque esa luz, para que llegue a nosotros, como de hecho llega, termina por esparcirse según el mecanismo de Rayleigh. El proceso de absorción responsable por el efecto de filtrado se llama

- a) absorción de Arago
- b) absorción de Chappuis
- c) absorción de Hulburt
- d) absorción de Lorentz

POLÍTICAS EDITORIALES

GEOS es el boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, contiene artículos de investigación originales así como artículos de divulgación y notas cortas sobre aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra, así como noticias de interés para los miembros de la UGM; se publican tres números en el año en forma impresa como electrónica.

Los artículos de investigación publicados en **GEOS** deben ser **originales** son **arbitrados** por al menos dos expertos del tema; mientras que los trabajos de divulgación son arbitrados por un especialista del tema. Los editores se reservan el derecho de decidir sobre la publicación de notas o reportes.

Son particularmente bienvenidas todas aquellas contribuciones que coadyuven a la difusión y a la enseñanza de las Ciencias de la Tierra.

Una vez concluido el proceso de arbitraje, el manuscrito será devuelto al primer autor con los comentarios de los árbitros y del editor. El manuscrito corregido en forma final será editado por el Editor Técnico de **GEOS** para su publicación impresa y electrónica. El autor principal tendrá oportunidad de revisar la versión final de su trabajo antes de publicarlo en WEB de la UGM (www.ugm.org.mx).

Cualquier cambio a la política editorial de GEOS se publicará en el primer número de cada volumen.

Instrucciones para los autores

Publicar en GEOS es gratuito, todos los manuscritos deberán enviarse en forma electrónica a cualquiera de los editores principales:

Luis Alberto Delgado Argote (CICESE)
ldelgado@cicese.mx

Claudia Arango Galván (UGM)
claudiar@geofisica.unam.mx

Preparación de texto:

Podemos procesar manuscritos en formato **WORD**, texto ASCII o **LaTeX**. Se recomienda que los manuscritos no excedan 12 páginas en el formato de la revista (una página contiene aproximadamente 900 palabras).

Las publicación de **figuras a color** en la versión impresa de **GEOS** no es posible por ahora, sin embargo la versión electrónica puede contener ilustraciones a todo color, se recomienda a los autores preparar sus figuras pensando en ambas ediciones.

Preparación de figuras e ilustraciones:

Las ilustraciones y figuras se pueden enviar en cualquiera de los siguientes formatos: **TIF, EPS, PS, DXF, DWG, PDF, JPG o WMF**; y **deben enviarse en archivos individuales y separados del texto**.

Secciones:

Con excepción de las notas, todas las contribuciones deberán incluir: título, resumen(en español y en inglés), introducción, una sección de métodos, una sección de

resultados, una sección de discusión y/o conclusiones y una sección de referencias bibliográficas.

Resumen:

El no deberá exceder 350 palabras. Al prepararlo haga énfasis en los objetivos de la investigación, los resultados más importantes y las conclusiones alcanzadas. En el resumen no deben aparecer citas bibliográficas.

Introducción:

La introducción deberá destacar la relevancia del problema e incluir una revisión adecuada de publicaciones antecedentes sobre el tema. El objetivo de la introducción es enmarcar el problema dentro del estado general del conocimiento en el área que le corresponde, destacar la contribución del trabajo y motivar la lectura del artículo completo.

Metodología:

La metodología empleada en el trabajo deberá ser descrita con suficientes detalle para que otros miembros de la comunidad puedan comprenderla, pero al mismo tiempo, debe ser sencilla para que un lector inexperto pueda comprender las ideas fundamentales. Los desarrollos demasiado detallados, pero necesarios, deben diferirse a una sección apéndice.

Resultados:

Usualmente, los resultados de la aplicación de cualquier metodología pueden presentarse en forma de tablas o figuras. Evite redundancias mediante una adecuada selección de sus resultados. Los pies de figura deberán ser lo suficientemente explicativos para resaltar la importancia de lo que se ilustra sin necesidad de acudir al texto.

Discusiones y conclusiones:

En esta sección se deben discutir las implicaciones de los resultados, su concordancia o divergencia con hipótesis anteriores, construir nuevas hipótesis derivadas de ellos, discutir sus aplicaciones prácticas y posibles limitaciones.

Referencias:

Todas las referencias deberán estar agrupadas en orden alfabético por apellido del primer autor. Si un autor es citado más de una vez el mismo año, utilice el sufijo: a, b, etc. para distinguir el trabajo. Aquellos manuscritos que no estén en publicados (aceptados o en prensa) no deberán incluirse en la referencias. Los artículos de divulgación podrán agregar una sección de referencias recomendadas.

Formato para citas:

Para cada autor o co-autor, escriba con mayúscula únicamente la primera letra del apellido y después las iniciales. Utilice letras mayúsculas sólo en la primera letra del título y para nombres propios.

Incluya el nombre completo de la revista o editorial que la publicó, volumen y páginas. Por ejemplo:

Alvarez-Borrego, S., 1996, Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity, *Geofísica Internacional*, v. 35, p. 51-61.

Lomnitz, C., 1995, Diez años después: Una reinterpretación de la catástrofe de 1985. En: F. Medina-Martínez, L. A. Delgado-Argote y G. Suárez-Reynoso, editores, la Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1), Unión Geofísica Mexicana, *Monografía* No. 2, p. 61-67.

Ripa, P., y Velázquez, G., 1993, Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, v. 32, p. 41-56.

Sánchez-Sesma, F. J., and Luzón, F., 1994, Seismic response of three-dimensional alluvial valleys for incident P, S, and Rayleigh waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 85, p. 269-284.

Winkler, H.G.F., 1967, Petrogenesis of metamorphic rocks, 2nd Ed. Springer-Verlag, New York, 237 pp.

Unidades:

Con algunas excepciones, todas las unidades físicas deberán expresarse en el Sistema Internacional de unidades (SI). Las siguientes excepciones son aceptables:

densidad en g/cm^3
 presión en bar

Expresiones matemáticas:

Escriba sus ecuaciones en la forma más simple posible, utilizando signos de puntuación. Utilice itálicas para todos los símbolos, exceptuando las letras griegas. Vectores y matrices se escribirán con negrillas. Numere en forma consecutiva y entre paréntesis todas las ecuaciones que aparezcan en el texto.

$$g(\mathbf{r}) = g_0 \int \frac{\rho(\mathbf{r}_0)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|^2} d\mathbf{r}_0$$

Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.
que la cuota es de \$400.00 para investigadores
y \$300.00 para estudiantes.

página internet: www.ugm.org.mx

Con un cordial saludo

Luis A. Delgado Argote y Claudia Arango Galván
Editores

Costo anual de anuncios en GEOS

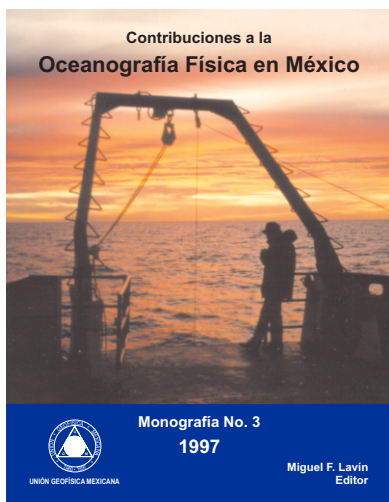
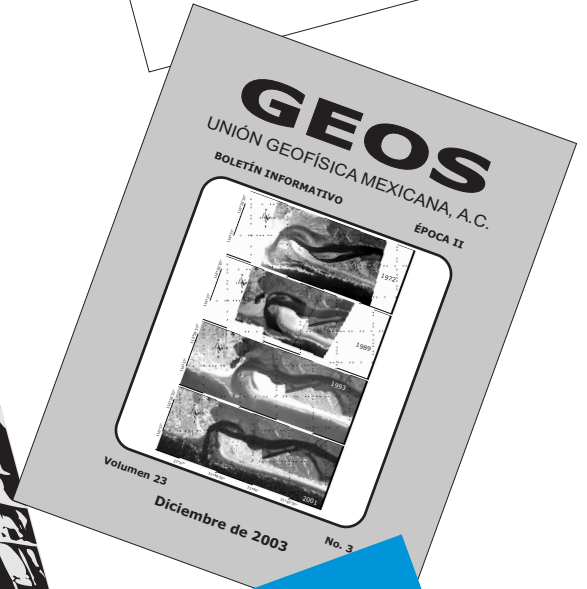
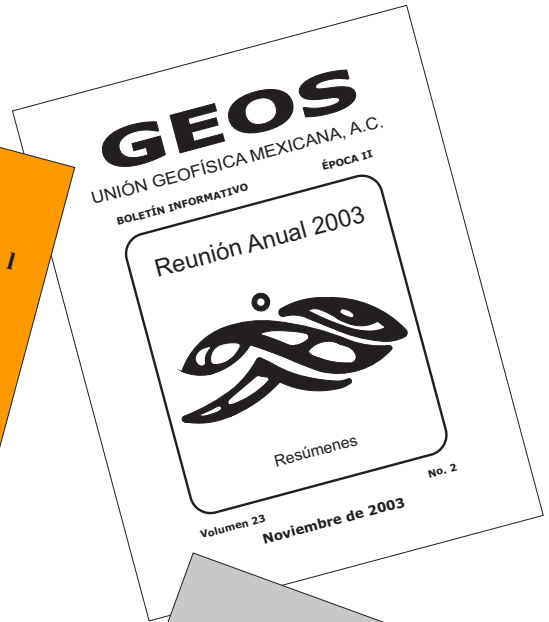
Instituciones:	Comerciales y Gubernamentales	Académicas
Página completa	\$4,000.00	\$2,000.00
Media página	\$2,000.00	\$1,000.00

GEOS

Información con:

Ivonne Pedrín Morales
División de Ciencias de la Tierra
Tel: 01(646)174-5050
Ext: 26004
Correo electrónico: ipedrin@cicese.mx





Tus trabajos de investigación y divulgación tienen cabida en estos foros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.