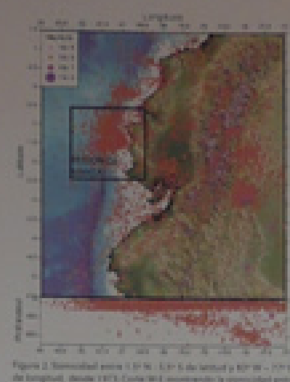
ESTUDIO DEL ENJAMBRE SISMICO DE MANTA/2005: CON TRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL POTENCIAL SISMOGENICO DE LA ZONA INTERPLACA

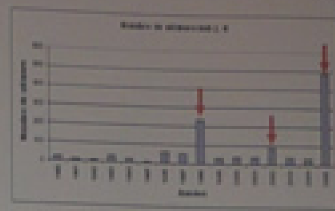
[1]VACA Sandro, [2]REGNIER Marc, [2]BETHOUX Nicole y [1]SEGOVIA Mónica
1Istituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador
2 Géosciences Azur, Nice - France

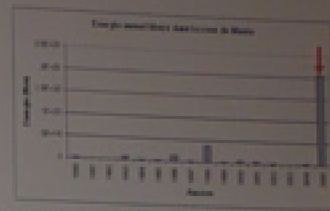
1. CUADRO GEODINAMICO



En Ecuador, la subducción de la placa Nazca y de la cordillera asísmica de Carnegie bajo la placa Sudamericana (Fig. 1) genera una acumulación importante de esfuerzos en la margen. La acumulación de esfuerzos es puesta en evidencia por las medidas de GPS, los levantamientos de terrazas marinas y por la sismicidad recurrente de la zona interplaca (Fig. 2)

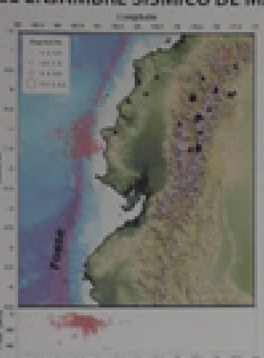
2. SISMICIDAD DE LA REGION DE MANTA

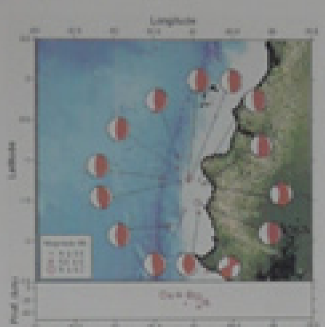




Cuatro sismos de gran magnitud (Mw > 7.6) se localizaron en la zona interplaca de la margen ecuatoriana del norte (zona de Esmeraldas) en el siglo XX (Fig. 1). Por el contrario en la región de Manta comprendida entre 0.5º S y 2.5º S, la sismicidad en el mismo periodo, está en el orden de magnitudes medias (Mw < 7.1) (Fig. 2). Sin embargo en la zona de Manta existe una sismicidad regular, según los catálogos de la sismicidad instrumental del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), en Ecuador. Esta información disponible desde 1990, muestra la existencia de varios enjambres sismos (1998, 2002 y 2005). Entre estos enjambre registrados, el de 2005 es el más importante (Figs. 3,4).

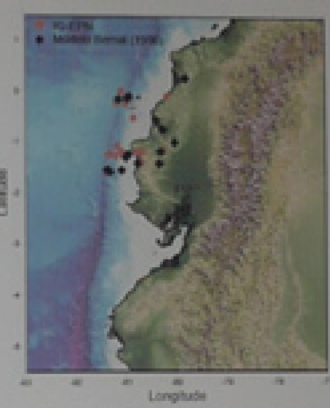
3. EL ENJAMBRE SISMICO DE MANTA/2005

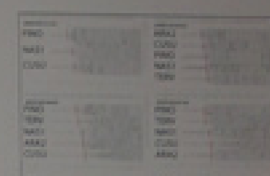


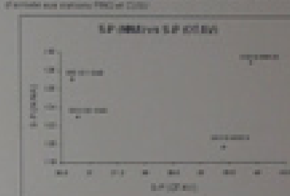


El enjambre sísmico de Manta/2005 está caracterizado por la occurrencia de cuatro sismos de Mw > 6, once sismos con Mw entre 5 y 6 según el NEIC y alrededor de 470 sismos de magnitud mb entre 4 y 5 (fuente IG-EPN) (Fig.5). Los hipocentros y los mecanismos focales de este enjambre no fueron bien resueltos por el IG-EPN, ni por el NEIC. 14 CMTS's (Centroid Moment Tensor Solution) fueron publicados por Harvard, sobre este enjambre, pero estos muestran una calidad variable (Fig. 6).
En este estudio se tiene por objectivos : (1) la relocalización de los eventos con la combinación de datos de la RENSIG y de la red temporal ESMERALDAS de Géosciences Azur y (2) un estudio de los parámetros de la fuente a partir de la inversión de formas de ondas telesísmicas con el método de Nabelek (1984).

4. RELOCALIZACION

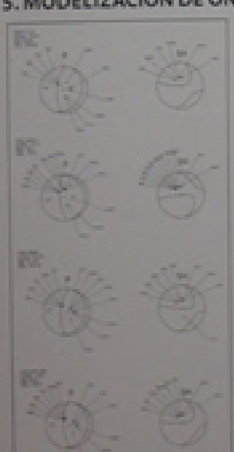


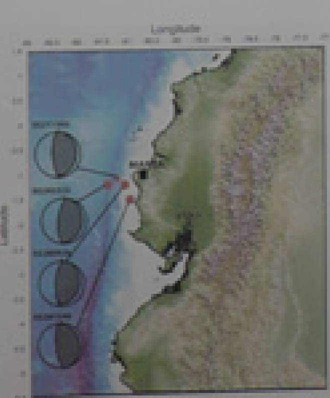




Para la localización, no se pudo obtener resultados concluyentes (Fig. 7). Sin embargo, se notó que los sismos no están ligados a una sola fuente, determinando por el contrario varias zonas sísmicas. Esta característica está confirmada por los tiempos de arribos de las fases P de los datos de la RENSIG (Fig.8) y por las diferencias de tiempos entre las fases S y P a las estaciones de la red mundial, OTAV (en Ecuador) et NNA (en Perú) (Fig. 9).

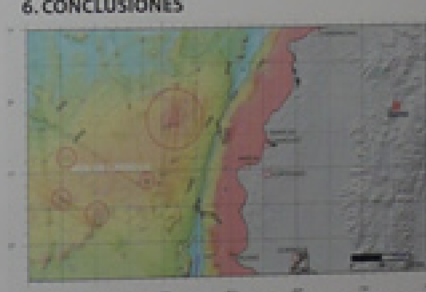
5. MODELIZACION DE ONDAS TELESISMICAS

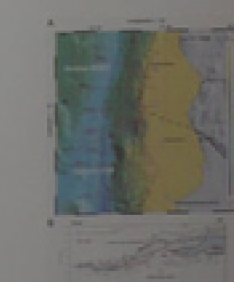




La modelización de formas de onda de los cuatro sismos más fuertes (magnitud 6+) del enjambre sísmico de Manta/2005 indica que los azimut son aproximadamente N-S, las pendientes entre 18º y 24º y los mecanismos son de tipo inverso (Fig. 10,11). Se determinó con precisión las profundidades de esos eventos entre 6 y 12 km y las magnitudes Mw entre 5.9 y 6.1.

6. CONCLUSIONES





- La zona de Esmeraldas (al norte de Ecuador) está caracterizada por la generación de fuertes sismos. Por el contrario en la región de Manta solo se han presentado enjambres sísmicos con eventos de magnitud media
- Se determinó la existencia de varias fuentes esparcidas por una zona extendida
- La modelización de las formas de onda muestran que:
  - Los mecanismos focales están de acuerdo con la dirección de la fosa y los mecanismos son de tipo cabalgante, características típicas de las zonas de interplaca
  - Se determinó con bastante exactitud la profundidad de los 4 sismos de mayor magnitud (entre 6 y 12 km)
  - Se determinó con bastante exactitud la profundidad de los 4 sismos de mayor magnitud (entre 6 y 12 km) Los diámetros de la ruptura según las relaciones de Wells y Coppersmith (1994) (entre 9 y 11 km) son similares a los de los montes submarinos presentes sobre la cordillera de Carnegie (Fig. 12)
- Finalmente, basados en la sismicidad, los parámetros de la inversión, los modelos crustales que muestran las secciones sísmicas multitraza en la región, parece creíble la idea que las fuentes de los sismos del enjambre estén ligadas a « asperezas » (altos topográficos) de la cordillera de Carnegie en subducción

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:


REPUBLICA DEL ECUADOR
PROVINCIA DE ESMERALDAS
CARTA DE INUNDACION POR TSUNAMI
SECTOR : PUERTO DE ESMERALDAS
REFERIDA AL EVENTO DE 1979
ESCALA 1 : 10000
FUENTE CARTOGRAFICA: MUNICIPIO DE ESMERALDAS
DATUM : PSAD 56
AREA INUNDADA
CURVAS DE NIVEL C/10m
DETALLE URBANO
LINEA DE COSTA
N
O
E
S
OCEANO PACIFICO
PUERTO DE ESMERALDAS
RÍO ESMERALDAS
ESMERALDAS
ISLA DE PRADO
TACHINA
Río Esmeraldas
Río Esmeraldas
SALIDA DEL MODELO DE SIMULACION (TSUNAMI 1906)
N 10112000
10111000
10110000
10109000
10108000
10107000
10106000
10105000
649000 E
650000
651000
652000
653000 E

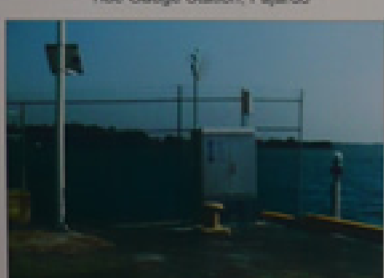
TsunamiReady: Recognizing Communities Running the Last Mile of the Tsunami Warning System in Puerto Rico

Christa von Hillebrandt-Andrade, Yadira Soto and Victor Huérfano, Puerto Rico Seismic Network, UPRM
Rafael Mojica, National Weather Service San Juan Forecast Office, NOAA
José Román, Mayagüez Emergency Management Agency
José Martinez Cruzado, Walter Díaz and Aurelio Mercado, University of Puerto Rico, Mayagüez
Carlos Rodríguez, VERNIX Engineering

TSUNAMI MONITORING IN PUERTO RICO

Two major tsunamis have affected Puerto Rico and USVI during recent history, 1867 and 1918. After many meetings and discussions, the Puerto Rico Tsunami Warning and Mitigation program was established in 2000 with funding from FEMA and UPR. In 2003 worst case tsunami inundation maps were completed for all of PR. Also, the Puerto Rico Seismic Network (PRSN) has been working toward establishing a Tsunami Warning Center for the region. The original goal was to provide a platform for tsunami warnings to Puerto Rico, but this has now evolved into an initiative to create a Caribbean Tsunami Warning Center, which would be a fundamental component of the Tsunami and Other Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions. Efforts to lay the foundation for this center included the installation of EarlyBird system at PRSN for the detection and reporting of potentially tsunamigenic earthquakes. This system monitors the seismic stations of PRSN and 92 other stations in and around the Caribbean that are available in real time through the GSN or bilateral agreements with regional seismic networks. Earthworm and SeisComP are used for the real-time exchange of seismic data. EarlyBird not only automatically locates earthquakes and provides different magnitudes for the events, it notifies PRSN personnel once specific regional dependent thresholds have been exceeded. In 2006, as part of the warning system, PRSN installed six FEMA-funded tsunami-ready tide gauge stations in Puerto Rico and a Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) receiver at Mayagüez, to gather data from these and other NOAA and regional tide gauges. To achieve a true Tsunami Warning System, PRSN complements improved monitoring capabilities with a series of research, education, and outreach initiatives.

Tide Gauge Station, Fajardo



Tide Gauge Station, Mayagüez

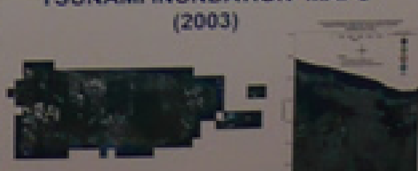
TSUNAMIREADY

In May 2006, the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) declared the city of Mayagüez the first TsunamiReady community in Puerto Rico and the Caribbean. The TsunamiReady program has proven to be an excellent venue to promote and validate tsunami readiness and has been widely accepted by the residents, businesses, public officials and the media. Also, Mayagüez continues to seek improve its level of preparedness and work is underway to install the first AHAB (All Hazards Alert Broadcast) radio to alert the people who are outdoors. The TsunamiReady program supports a multi hazard approach to preparedness as one of the requirements is that the community also be StormReady. The objective has been to create a basic guide, prepared to save lives through better planning. By increasing the knowledge and actions before a tsunami, fewer fatalities and property damage are expected.

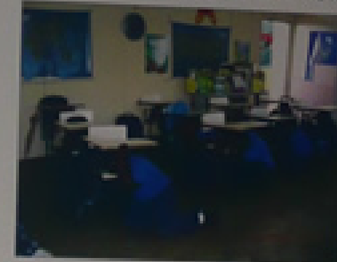
TSUNAMI EVACUATION MAPS (2006)

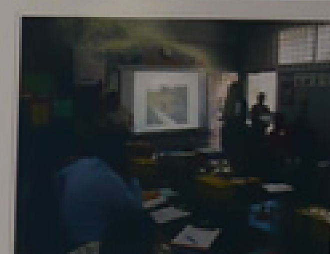
TSUNAMI SIGNS

PUERTO RICO TSUNAMI INUNDATION MAPS (2003)



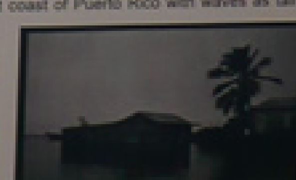
The Puerto Rico Seismic Network develop tsunami inundation modeling, seismic source characterization, protocol development, improved dissemination techniques, production of audiovisual materials, workshops, talks, and drills. All of these monitoring and complementary activities are being coordinated with other local, regional, and international institutions, including the West Coast and Alaska Tsunami Warning Center, the institution presently responsible for providing tsunami warning guidance for the region.





1867 and 1918 TSUNAMIS

On November 18, 1867 a M. 7.3 earthquake generated a 20 ft tsunami that caused death and destruction in St. Thomas and St. Croix; it was also observed in eastern PR. On October 18, 1918 Puerto Rico was affected by one to the strongest earthquakes in its history. It had a magnitude 7.3 and the epicenter of the earthquake was located in the Mona Canyon, 25 miles from the coast of Aguadilla. The earthquake was felt very strongly in the western side of the island. Official records of the time mention that one hundred sixteen people died, forty due to the tsunami that was generated immediately after the earthquake. Recent research indicate that the death toll of the tsunami itself was at least 140. The time between the earthquake and the first tsunami wave was one minute in Punta Borinquen area and affected all the west coast of Puerto Rico with waves as tall as twenty feet.



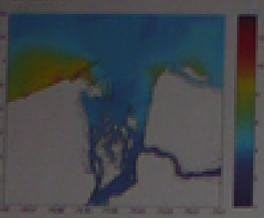
Tsunami of 1918 in Puerto Rico, house dragged out to sea

1867 Tsunami in Charlotte Amalie, St. Thomas

Analisis de Riesgos por "Tsunamis"

CIUDAD DE ESMERALDAS - AÑO 1979

SALIDA



MODULO DE SIMULACION (TSUNAMI 1906)

LEYENDA

- ESCENARIO 3.00 m
- ESCENARIO 6.00m
- ESCENARIO 9.00m
- CURVAS DE NIVEL C/15m
- DETALLE URBANO
- LINEA DE COSTA

Realizado por:
PATRICIA ARREAGA VARGAS
Director de Tesis:
ING. JOSE CHANG GOMEZ

REPUBLICA DEL ECUADOR

ESCALA 1 : 10000 EN METROS

FUENTE CARTOGRAFICA: MUNICIPIO DE ESMERALDAS

PUERTO DE ESMERALDAS

Cartografía de amenazas por tsunamis en la ciudad de Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas, Ecuador

Cruz, M. Escuela Superior Politécnica del Ejercito (ESPE) cruzdhowitt@yahoo.es, Sangolquí, DNDC y CGVG-USFQ, Ecuador - Vasconez, N. Dirección Nacional de Defensa Civil (DNDC), Quito, Ecuador - Toulkeridis, T. Centro de Geología, Volcanología y Geodinámica, Universidad San Francisco de Quito (CGVG-USFQ), Quito, Ecuador

La ciudad de Esmeraldas es probablemente la ciudad mas vulnerable de la costa Ecuatoriana delante de un futuro tsunami. En el pasado se impacto en Esmeraldas un tsunami debido de un sismo de 8.8 Mw en el 31 de Enero de 1906 con el resultado de aproximadamente 1500 victimas, en su mayoria en las costas Colombianas. Se ha realizado la cartografía de amenazas por tsunamis en la ciudad de Esmeraldas, cual misma está ubicada principalmente en la margen izquierda del valle del río del mismo nombre, sobre una planicie que corresponde a una terraza aluvial elevada 10 metros sobre el nivel actual del río. La ausencia de adecuadas políticas de uso del suelo ha llevado a una caótica expansión de la ciudad hacia el sector occidental donde predominan relieves arcillosos con colinas de alturas medias, de cimas redondeadas y pendientes fuertes, comprendidas entre los 22° y 35° de inclinación. Debido de la morfología y batimetría submarina especial como del control estructural muy marcado de esta área, el sismo desencadenante del tsunami es destructor en si mismo, por lo que el primer efecto será la destrucción masiva de la infraestructura física de la ciudad, especialmente en el sector colinado, ya que por las características mencionadas, su constitución geológica, deforestación y alteración de la geomorfología por los agentes antrópicos, se producirán deslizamientos importantes que comprometerán también a las zonas planas adyacentes, independientemente de la época del año, en que ocurra el fenómeno. Los fenómenos colaterales serán los incendios y contaminación ambiental, principalmente por roturas del oleoducto y daños en las instalaciones de la refinería estatal. Luego, en un corto intervalo de tiempo comprendido entre los 5 y los 20 minutos de ocurrido el sismo, según la ubicación del epicentro y la geometría de la rotura, se prevé la ocurrencia de un tsunami, el que represará momentáneamente al río, ocasionando una severa y rápida inundación por elevación del nivel del río, con niveles máximos de 10 metros, que afectarán a toda la población asentada en las orillas dentro del valle de los ríos Esmeraldas y Teaone. La presencia de la "fosa" marina en la desembocadura del río agrava el escenario, ya que a pesar de la protección natural que ofrecen los depósitos aluviales y las barras arenosas, la abrupta pendiente de esta fosa incrementará la altura esperada de ola, estimándose que superaría los 10 metros; la zona de afectación por acción de las olas gigantes y erosión por reflujo es amplia y se concentra en las instalaciones de Autoridad Portuaria de Esmeraldas. Por las consideraciones anteriores, la parte colinada de la ciudad de Esmeraldas es de alto riesgo para deslizamientos; así mismo la margen izquierda del río Esmeraldas hasta la cota 10 metros es de alto riesgo para inundaciones violentas por efecto de dique, la zona de Las palmas es de alto riesgo para daños por efecto de ariete e inundación turbulenta por acción de olas de tsunami. El valle del río Teaone es, en general, de riesgo bajo por inundaciones violentas a causa de desbordamiento del río, en caso de ocurrir el evento mencionado.

Cartografía de amenazas por tsunamis en Manta, Provincia de Manabí, Ecuador

Cruz, M. Escuela Superior Politécnica del Ejercito (ESPE) cruzdhowitt@yahoo.es, Sangolquí, DNDC y CGVG-USFQ, Ecuador - Vasconez, N. Dirección Nacional de Defensa Civil (DNDC), Quito, Ecuador - Toulkeridis, T. Centro de Geología, Volcanología y Geodinámica, Universidad San Francisco de Quito (CGVG-USFQ), Quito, Ecuador

Se encuentra sobre un extremo de la Bahía de Manta, sobre una playa antigua levantada (tablazos marinos). Casi toda la ciudad se levanta en el sector colinado; prácticamente no existe playa, puesto que las colinas terminan abruptamente en acantilados altos, hacia el mar. Estos acantilados son inestables y están sometidos a fuerte erosión eólica y marina, principalmente y en época lluviosa, a la acción de las aguas de escorrentía superficial, que también excavan cárcavas y zanjones en la zona colinada y generan flujos de lodo por sobresaturación del suelo, que descienden hacia el sector del malecón y a la playa.

La cartografía de amenazas por tsunamis averiguo, que la existencia de la Punta Jaramijó, hace que el perfil submarino tenga una fuerte pendiente (1%), en consecuencia, el frente de olas se refractará hacia ambos lados de la bahía, pero dada la forma de ésta, la energía de las olas se incrementará, aumentando el run up y run off de las olas.

Debido a que la mayor parte de las construcciones de vivienda y comercio en general, se encuentran en los sectores altos colinados, la zona de muy alto riesgo queda confinada a la pequeña extensión de playa y al malecón, a pesar de estar protegido por enrocado; así como también a los valles pequeños correspondientes al río Jaramijó, (a la entrada del pueblo) y al estero sin nombre inmediatamente al pié de la colina.

Debido a la forma cerrada de la bahía, la refracción de las olas podría incrementar su altura, las que se impactarían en los acantilados, provocando muy pocos daños a la ciudad. Sin embargo, dada la naturaleza arenosa de las colinas, y las precarias condiciones en que se encuentran la mayoría de viviendas del sector alto, de producirse un sismo cercano, éste dañaría gravemente a las construcciones de la ciudad, puesto que podría producirse el fenómeno conocido como "licuación de arenas" o una amplificación de las ondas sísmicas superficiales, ocasionando el colapso de las viviendas en la mayor parte de la población, especialmente las ubicadas sobre las laderas.

Debido a la forma cerrada de la bahía, la refracción de las olas podría incrementar la altura de las olas y los efectos de run off en el área. Por tratarse de una morfología colinada y playas de acantilados, un tsunami poco afectaría a la ciudad, sin embargo, un sismo tsunamigénico cercano causaría gran destrucción por lo precario de las viviendas, mala calidad de los materiales, poca cimentación y naturaleza arenosa del suelo, además de deslizamientos y derrumbes en laderas inestables. Durante los periodos lluviosos, la escorrentía superficial erosiona el suelo formando cárcavas y zanjones que conducen torrencialmente el agua hacia los esteros, los que ocasionalmente se desbordan, afectando a las viviendas levantadas muy cerca de sus cauces.

Para cualquiera de estos eventos, los terrenos aledaños a las vías a Crucita o a Manta podrían ser considerados como zonas de seguridad.


VI INTERNATIONAL
TSUNAMI MITIGATION WORKSHOP: NEW INSIGHTS IN TSUNAMI
PREPAREDNESS, WARNING AND MITIGATION
TSUNAMI
HOP


S.H.O.A.


TSUNAMIS


ENGLAND COLLEGE


VI
UNESCO
International Union of Geodesy and Geophysics
Union Géodésique et Géophysique Internationale
INTERNATIONAL WORKSHOP
NEW INSIGHTS
IN TSUNAMI RESEARCH,
PREPAREDNESS,
WARNING AND MITIGATION
Guayaquil - Ecuador
14 September 2007
TSUNAMI


TSUNAMIS
VI
TALLER INTERNACIONAL
NUEVAS VISIONES EN LA INVESTIGACION, PRECAUCION, ALERTA Y MITIGACION DE LOS TSUNAMIS


TSUNAMIS
VI
TALLER INTERNACIONAL
NUEVAS VISIONES EN LA INVESTIGACION,
PRECAUCION, ALERTA Y MITIGACION
DE LOS TSUNAMIS


TSUNAMI RESEARCH,

UNESCO
International Union of Geodesy and Geophysics
Union Géodésique et Géophysique Internationale
VI INTERNATIONAL
TSUNAMI MITIGATION WORKSHOP: NEW INSIGHTS IN TSUNAMI RESEARCH,
PREPAREDNESS, WARNING AND MITIGATION
14 SEPTEMBER 2007
GUAYAQUIL - ECUADOR
ESPOL
CICYT
M. I. MUNICIPALIDAD DE GUAYAQUIL
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Puerto Rico Seismic Network

http://redsismica.uprm.edu

o Rico Tsunami Warning and Mitigation Program

http://poseidon.uprm.edu

THANK YOU!


VI INTERNATIONAL
TSUNAMI MITIGATION WORKSHOP: NEW INSIGHTS IN TSUNAMI RESEARCH,


VI
TSUNAMI MITIGATION WORKSHOP:


VI INTERNATIONAL
NEW INSIGHTS IN TSUNAMI RESEARCH,

VI INTERNATIONAL
IN TSUNAMI RESEARCH,

Puerto Rico Seismic Network

http://redsismica.uprm.edu

Puerto Rico Tsunami Warning and Mitigation Program

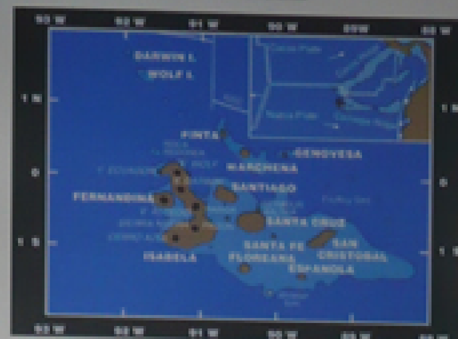
http://poseidon.uprm.edu

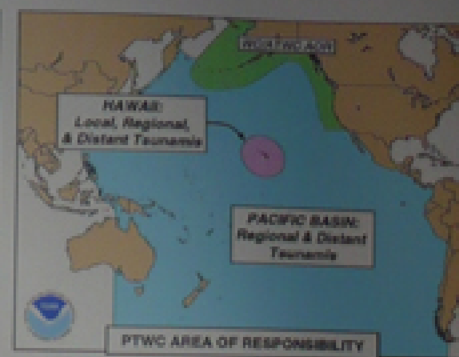
THANK YOU!

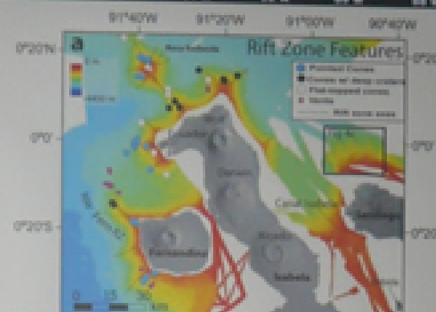
A proposal to a new, human decision independent, early alert system for tsunamis at the Ecuadorian coast and other near off-shore subduction zones

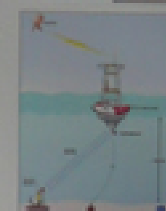
Theofilos Toulkeridis - Center of Geology, Volcanology and Geodynamics, Universidad San Francisco de Quito (CGVG-USFQ) Quito, Ecuador; Giorgio de la Torre - Instituto Oceanografico de la Armada (INOCAR), Guayaquil, Ecuador; Marcelo Cando - Direccion Nacional de Proteccion Ambiental (DINAPA), Quito, Ecuador; Mario Cruz - Escuela Politecnica del Ejercito (ESPE), Quito, Ecuador; Nelson Vasconez - Direccion Nacional de Defensa Civil (DNDC), Quito, Ecuador
Contact: theofilost@usfq.edu.ec or theousfq@yahoo.com

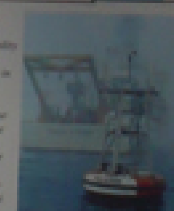
ABSTRACT

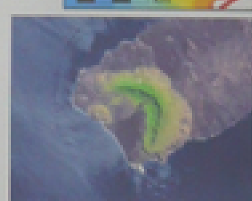


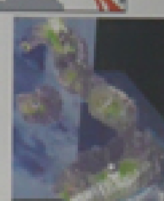


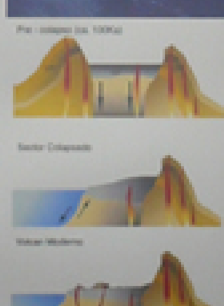


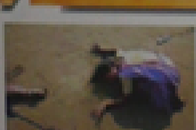


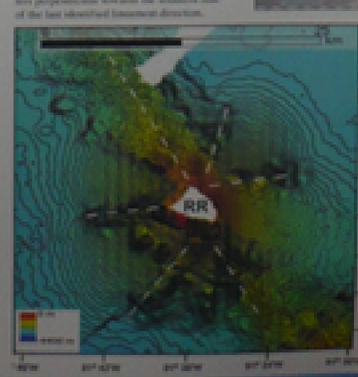


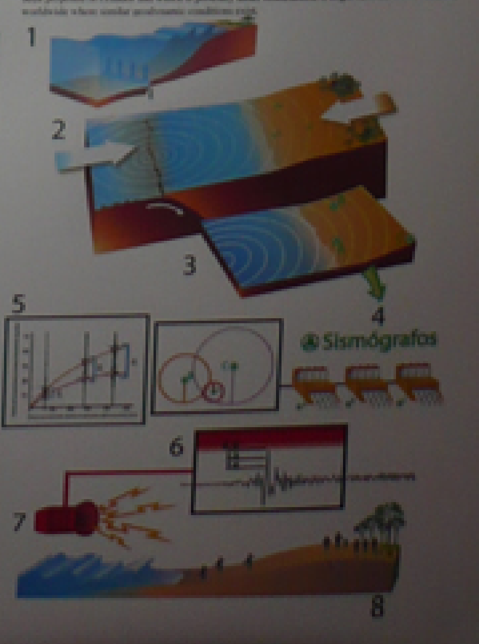












MONITORING AND EARLY WARNING SYSTEM

HISTORIC CASES OF TSUNAMIS IN ECUADOR

Cartografía de amenazas por tsunamis en Crucita, Provincia de Manabí, Ecuador

Cruz, M. Escuela Superior Politécnica del Ejercito (ESPE) cruzdhowitt@yahoo.es, Sangolquí, DNDC y CGVG-USFQ, Ecuador - Vasconez, N. Dirección Nacional de Defensa Civil (DNDC), Quito, Ecuador - Toulkeridis, T. Centro de Geología, Volcanología y Geodinámica, Universidad San Francisco de Quito (CGVG-USFQ), Quito, Ecuador

Crucita, "La Bella", contiene una de las playas mas visitadas de país. El sector urbano de Crucita, se asienta sobre una llanura aluvial compuesta de sedimentos limosos con intercalaciones de conglomerados sueltos, en capas alternantes. Debido al perfil batimétrico algo más pendiente cerca de la costa y a la forma de la bahía, la cartografía realizada indica que la altura de las olas tsunamicas potenciales podría incrementarse ligeramente, para luego irrumpir con fuerza hasta unos 500 metros costa adentro, destruyendo construcciones débiles en la zona plana. En consecuencia, este es el sector de muy alto riesgo por efecto de inundación turbulenta y escombros, debido a la gran inercia de las aguas.

El sector céntrico de Crucita está en muy alto riesgo hasta prácticamente la línea de cambio de pendiente, es decir donde se inicia el sector colinado, en donde se observan evidencias de recientes deslizamientos, que se reactivan cada temporada lluviosa por sobresaturación de las arcillas, generando flujos de lodo que, debido a la inercia adquirida, afectan hasta la calle principal. La zona de seguridad deberá ubicarse en la parte posterior del pueblo, sector de la calle principal o vía a Portoviejo.

El nivel de riesgo es muy alto para el 80% de la población que se asienta en la zona plana, pues se prevé inundación y afectación severa de la infraestructura física y servicios básicos en todo el sector, a más de efectos importantes causados por erosión durante el retroceso de las aguas (Run Off). Si el sismo generador ocurre muy cerca, se activarán los deslizamientos, tan comunes en las laderas del sector colinado, a más de que las construcciones y demás infraestructura podría afectarse severamente por efectos de licuación de arenas, en la playa y sector plano.

La zona de seguridad podría estar ubicada a una distancia no menor de 500 metros de la playa, y la infraestructura educativa existente podría ser utilizada como albergues temporales para los evacuados.

COMMUNITY IN ESMERALDAS - ECUADOR

Patricia Arreaga, Instituto Oceanográfico de la Armada de Ecuador, Guayaquil, Ecuador
Modesto Ortiz, Departamento de Oceanografía Física, CICESE, Ensenada, Baja California, México
Salvador Farreras, Departamento de Oceanografía Física, CICESE, Ensenada, Baja California, México

Abstract

Inundation maps for Esmeraldas-Ecuador were produced to identify areas susceptible to tsunami flooding as a first step to develop a reliable early tsunami warning system and to indicate evacuation routes and emergency shelter locations. The identification of possible tsunami source areas was based on the historic record of regional tsunamigenic earthquakes. Predicted tsunami inundation models were calculated and calibrated against the 12 December 1979 Colombia earthquake and tsunami. As expected, results of the simulated tsunamis showed the most destructive tsunamis to Esmeraldas to be those that are generated directly off the coast of Esmeraldas. Among the most vulnerable places in Esmeraldas are Las Palmas and Capitanía de Puerto; this is in spite of the protection offered by structures built up to protect the harbor. Both banks of the Esmeraldas River were also found to be highly vulnerable to tsunami flooding.

INTRODUCTION

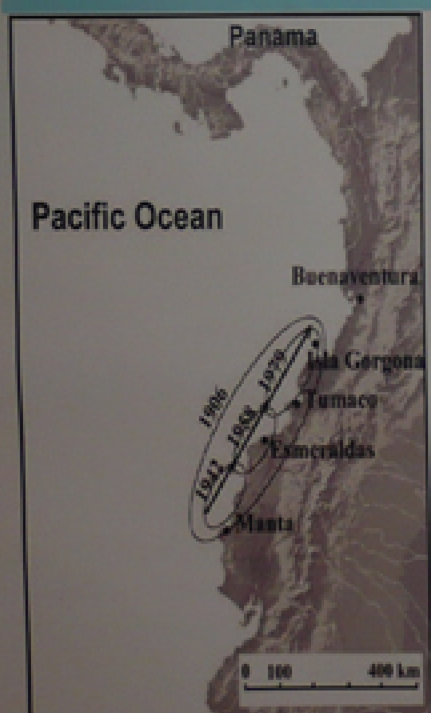


Figure 1 . Direction of rupture propagation and rupture areas of large sallow earthquakes in the Ecuador-Colombia region (Kelcher, 1972; Herd et al., 1981; Beck and Ruff, 1984).

The history large shallow earthquakes during the XX century along the coasts of Ecuador and Colombia is by itself a positive evidence of the potential tsunami hazard for the city of Esmeraldas-Ecuador, as well as for the entire region. For example, the tsunami generated by the 31 January 1906 Ecuador-Colombia earthquake (M_w 8.8; Kanamori and McNally, 1982) washed away all homes on the low-lying coast above the rupture area; by various estimates 500 to 1500 persons were killed by the tsunami (Soloviev and Go, 1975). The rupture length of this earthquake was estimated to be 400-500 km, from Manta to Buanaventura (Kelcher, 1972; see Figure 1). Both, the southern and central parts of the 1906 rupture were ruptured again by the 14 May 1942 earthquake (Mw > 7; Kelcher, 1972), and by the 19 January 1958 earthquake (Mw 7.7; Kanamori and McNally, 1982).The 12 December 1979 Tumaco earthquake (Mw 8.2; Kanamori and Mc Nally, 1982) apparently fulfilled the gap between the 1906 and 1958 earthquakes. In contrast, no tsunami damage was reported in Esmeraldas-Ecuador, where the recorded tsunami, which arrived at the time of low tide, exhibited a maximum height (peak to peak) of 1 meter (Figure 2).

The code used to compute the tsunami inundation map in this study is available through the Tsunami Inundation Modeling for Exchange (TIME) program of the Tohoku University. Mass conservation is represented by equation (1) and momentum conservation is represented by the set of equations (2).

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

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

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

The fault plane used for our simulation parallel the subduction zone offshore Esmeraldas and approximately fit the area and seismic moment of the 12 December 1979 Colombia earthquake.

As expected, results of the simulated tsunamis showed the most destructive tsunamis to Esmeraldas to be those that are generated directly off the coast of Esmeraldas (Figure 3).

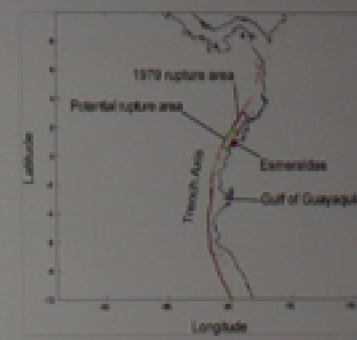


Figure 3. Potential rupture area for a subduction-type earthquake, similar in magnitude to the 12 December 1979 (Mw 8.2) Colombia earthquake, used to estimate tsunami hazard for the City of Esmeraldas.

TSUNAMI INUNDATON MAP FOR ESMERALDAS

The results are illustrated in Figure 4. Computed tsunami run-up height in Esmeraldas along the riverside is 1-2 meters above mean sea level. Run-up inside the harbor is 3-4 meters. In contrast, run-up along the open coast at both sides of the river mouth is 5-6 meters with spots of 8-10 meters. Tide range here is 3 meters; therefore, tide level may increase or reduce flooding risk.

In case of local generated tsunamis, like the one simulated here, the best mitigation strategy is to create a tsunami-aware community. Three steps to create a tsunami-resistant community are to (Bernard, 1999):

1. Produce tsunami hazard maps to identify areas susceptible to tsunami flooding
2. Implement and maintain an awareness/educational program on tsunami dangers.
3. Develop early local warning systems to alert coastal residents that danger is imminent.

Evacuation routes and emergency shelter locations are indicated in the inundation map to help the population

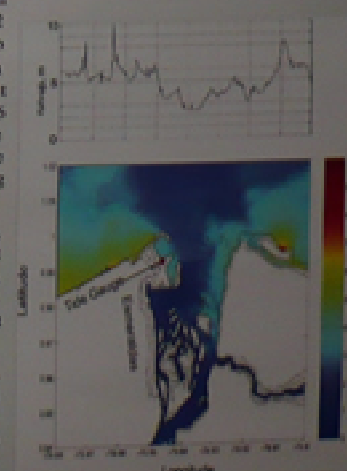
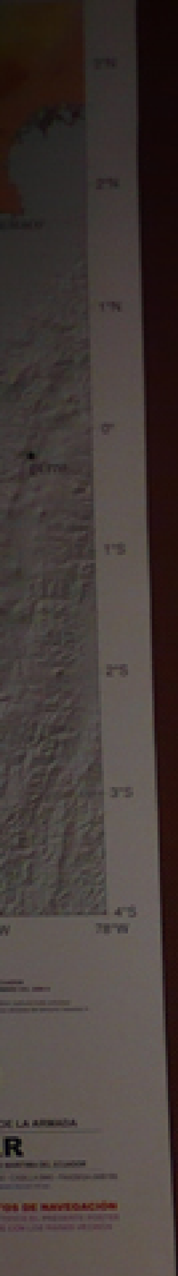
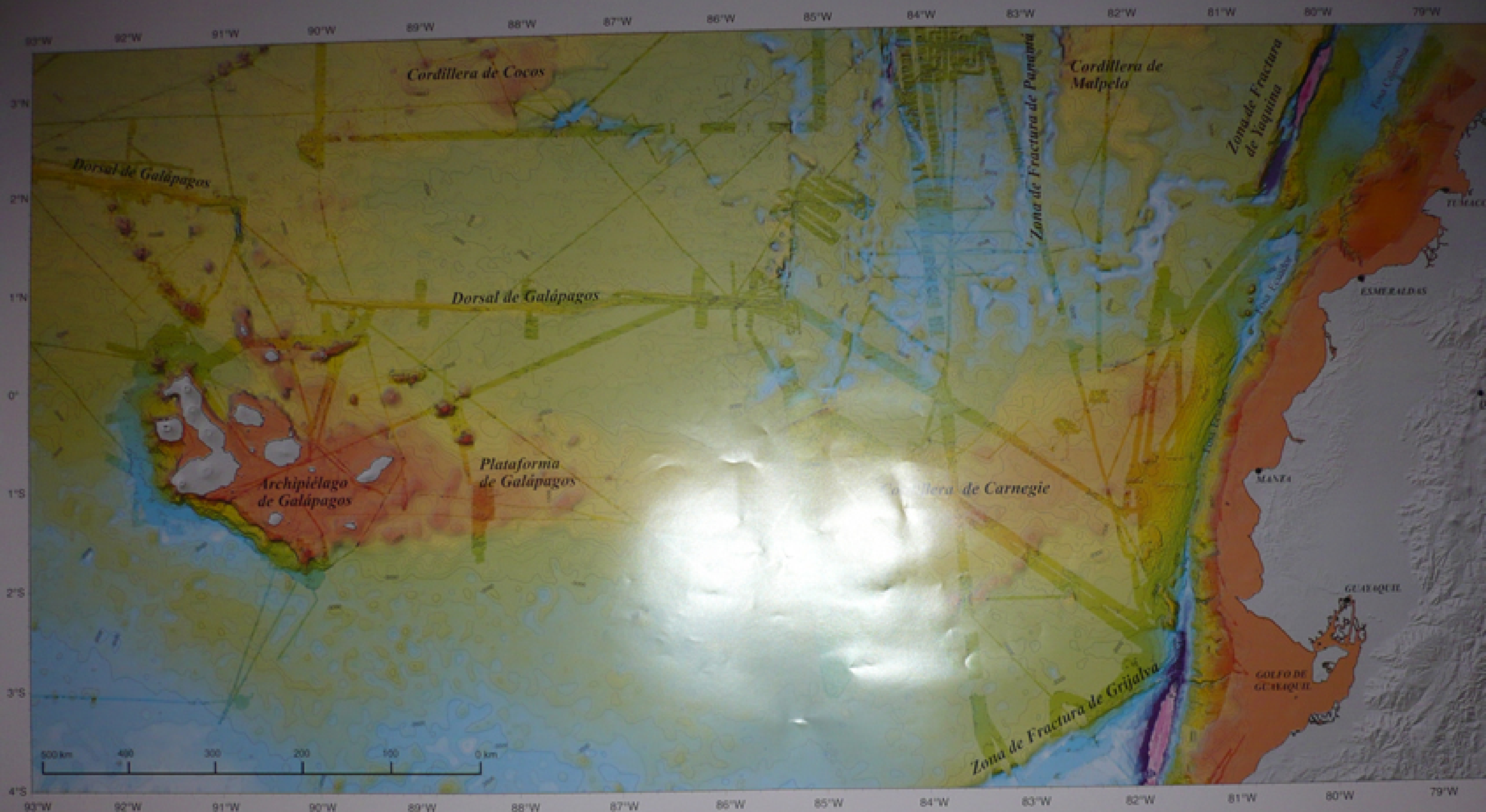
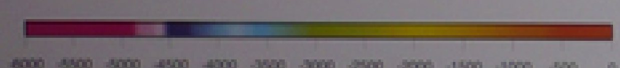


Figure 4. Computed inundation map for Esmeraldas. (Top) Maximum tsunami run-up height along the coastline produced by the potential earthquake indicated in Figure 3. **(Bottom)** Maximum computed water level (color scale in meters) at every grid point in the numerical model. The City of Esmeraldas is







REPÚBLICA DEL ECUADOR

Batimetría y Relieve Continental e Insular

Escala 1: 1500000 en latitud 0°; Tamaño de la grilla = 200 m; Proyección Mercator, Datum WGS84; Curvas de nivel cada 125 m.

IRD
Institut de recherche pour le développement

Origen de los datos

Batimetría multihaz (franjas y segmentos con mayor resolución) recolectada utilizando el sistema Simrad EM12D del B. I. L'Atalante (IFREMER) durante las campañas: PUGU (1997), AMADEUS (2005), ESMERALDAS (2005); el sistema Atlas Hydrosweep del B. I. Sonne durante la campaña SO-144 PAGANINI (1999) y del B. I. Maurice Ewing durante la campaña EW00-04 (2000); el sistema Simrad EM120 del B. I. Sonne durante las campañas SO-158 MEGAPRINT (2001), SO-159 SALIERI (2001), SO-162 INGAS (2002); el sistema Simrad EM120 del B. I. [illegible] durante la campaña GALA (1996); y el sistema Seabeam 2100 del B. I. Atlantis durante la campaña [illegible] (2002) y del B. I. Roger Revelle durante las campañas GENESIS (1996) y DRIFT Leg 4 (2001).

Datos adicionales de batimetría multihaz fueron obtenidos del banco de datos del NGDC (NOAA) y SISMER (IFREMER).

Batimetría monohaz de alta densidad recolectada por el B. I. Anteo (IRD) durante la campaña SUBLIME (1997).

Levantamientos hidrográficos recolectados sobre la plataforma continental e insular por el B. A. E. Orion y la L. A. E. Rigel del INOCAR.

Datos adicionales de batimetría satelital de Smith y Sandwell (1997).

Topografía en tierra cortesía de la NASA (Shuttle Radar Topography Mission).

Procesamiento, compilación y edición de los datos batimétricos :

Utilizando el software Caraibes (IFREMER) y GMT (Wessel, P. y Smith, W. H. F., 1998) por [illegible], F. Michaud, J.-Y. Collot y [illegible].

Referencias utilizadas :

Smith, W. H. F., and D. T. Sandwell, Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, Science, 277, 1957-1962, 1997.

Wessel, P., and W. D. Smith, New, improved version of Generic Mapping Tools Released, EOS Transactions, American Geophysical Union, 79 (47), 579, 1998.

Para referencia bibliográfica :

P. Michaud, J.-Y. Collot, A. Alvarado, E. López y el personal científico y técnico del INOCAR, República del Ecuador. Batimetría y Relieve Continental e Insular, publicación IOA - CVM - 01 - POST, 2006.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARM

INOCAR

AL SERVICIO DE LA INVESTIGACIÓN Y SEGURIDAD MARÍTIMA DEL

NOTA: NO USAR PARA PROPÓSITOS DE NA

REPÚBLICA DEL ECUADOR

Batimetría y Relieve Continental

Escala 1: 1000000 en latitud 0°; Tamaño de la grilla = 150 m; Proyección Mercator, Datum WGS84; Curvas de nivel cada 100 m.

Origen de los datos

Referencias utilizadas

Procesamiento, compilación y edición de los datos batimétricos

Para referencia bibliográfica

IRD

Institut de recherche pour le développement

IG

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA

INOCAR

NOTA: NO USAR PARA PROPÓSITOS DE NAVEGACIÓN

MAPAS DEL MARGEN CONTINENTAL NORTE DE ECUADOR Y SUROESTE DE COLOMBIA
Batimetría, Relieve, Reflectividad Acústica e Interpretación Geológica
Imagen de reflectividad acústica del fondo marino
Cuenca antearco
Cañón de Esmeraldas
Abánico submarino
Fosa de subducción
Canal
PLACA DE NAZCA
ZONA DE FRACTURA DE YAQUINA
54 mm/año
DORSAL DE MALPELO
CORDILLERA DE CARNEGIE
PLACA SUDAMERICANA
Tumaco
Esmeraldas
Imagen de reflectividad
Batimetría y relieve 3D
Zona de Fractura de Yaquina
Dorsal de Malpelo
Fosa Colombia
Fosa Ecuador
TUMACO
Cañón de Esmeraldas
ESMERALDAS
Cordillera de Carnegie
Batimetría y Relieve Continental
Escala 1:800000 en latitud 0°; Tamaño de la grilla = 150 m; Proyección Mercator, Datum WGS84; Curvas de nivel cada 50 m
Origen de los datos
Procesamiento y compilación de los datos batimétricos :
Procesamiento y compilación de los datos de reflectividad acústica :
Interpretación geológica
Tipos de datos batimétricos
Referencias utilizadas
Para referencia bibliográfica :
Ubicación de los mapas
Norte del Ecuador y Suroeste de Colombia
Centro y Sur del Ecuador
IRD
REPUBLICA DEL ECUADOR
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA
INOCAR
NOTA: NO USAR PARA PROPÓSITOS DE NAVEGACIÓN

MAPAS DEL MARGEN CONTINENTAL CENTRO Y SUR DE ECUADOR
Batimetría, Relieve, Reflectividad Acústica e Interpretación Geológica
Imagen de reflectividad acústica del fondo marino
Cañón de Guayaquil
Cañón de Santa Elena
ND
PLACA DE NAZCA
CORDILLERA DE CARNEGIE
PLACA SUDAMERICANA
Manta
Salinas
Guayaquil
54 mm/año
Imagen de reflectividad
82°W
81°W
80°W
79°W
0°
1°S
2°S
3°S
Batimetría y relieve 3D
N
Leyenda Geológica
Cordillera de Carnegie
MANTA
Isla de la Plata
Cañón de Santa Elena
SALINAS
GUAYAQUIL
Golfo de Guayaquil
Cañón de Guayaquil
0
50
100 km
Batimetría y Relieve Continental
Escala 1: 800000 en latitud 0°; Tamaño de la grilla = 150 m; Proyección Mercator, Datum WGS84, Curvas de nivel cada 50 m.
Origen de los datos
Procesamiento y compilación de los datos batimétricos :
Procesamiento y compilación de los datos de reflectividad acústica :
Interpretación geológica :
Tipos de datos batimétricos
Referencias utilizadas :
Para referencia bibliográfica :
IOA - CVM - 03
Norte del Ecuador y Suroeste de Colombia
Centro y Sur del Ecuador
IOA - CVM - 04
Ubicación de los mapas
IRD
REPÚBLICA DEL ECUADOR
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA
INOCAR
NOTA: NO USAR PARA PROPÓSITOS DE NAVEGACIÓN


VI INTERNATIONAL
TSUNAMI MITIGATION WORKSHOP
INSIGHTS IN TSUNAMI RESEARCH,

A nationwide survey about Ecuador`s public perception and preparedness for tsunami emergency response

Theofilos Toulkeridis

Center of Geology, Volcanology and Geodynamics, Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador

theofilost@usfq.edu.ec / theousfq@yahoo.com

Centro de Geología, Volcanología y Geodinámica
Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

A recent nationwide survey in the Ecuadorian academic environment (mainly university students and professors) has been undertaken in order to analyze Ecuador's knowledge and perception related to tsunamic events along its wide coast. A second issue was related to the public preparedness towards this natural disaster and its potential ability to respond.

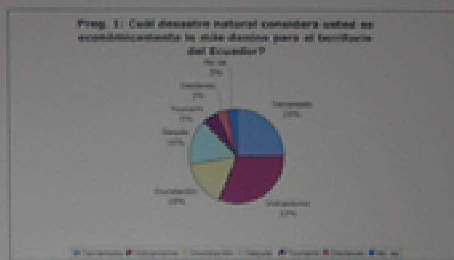
The preliminary results indicate a huge lack in memory of historic occurred events along the Ecuadorian coast as a majority of the interviewed persons (total N = 2791, coast N = 505 of the total) did not know anything about past national tsunamigenic events and therefore they have been and still are unprepared for a future potential catastrophic event. In one of the twenty-two questions catalogue about natural disasters, 64.8% responded that they never have heard anything about tsunamis that stroke the own coast, while in Ecuador half a dozen of tsunamis have led to a loss of life of several hundred persons only in the last century. Another 6.8% manifested that tsunamis impacted Ecuador in the last ten years, probably being still impressed and misinformed about the huge tsunami event in Asia in December 2004.

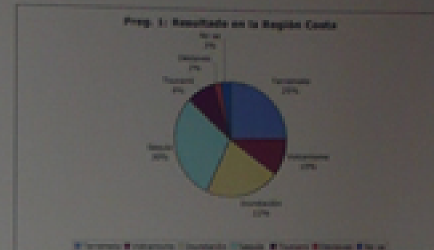
To the question about what is their opinion if a tsunami might impact in the near future (next twenty years) the Ecuadorian coast, only 29.4% were convinced that a tsunami could hit the local coast, while the rest either denied that possibility or declared that such an event is very unlikely.

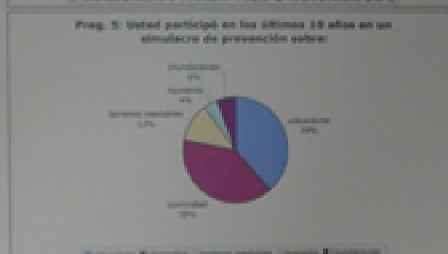
Based on that low appreciation of a future potential tsunami in Ecuador, the preparedness for tsunami emergency response is even worse. Even if a given time (like 24 hours to react) would theoretically exist, the preparedness of the public for this and other natural disasters is of about only 12.3%. A major factor might be the low offer of disaster prevention workshops, simulations and education in this matter. In one further question of the question catalogue, only 1.6% of the surveyed public participated in the last ten years in any educational event about the vulnerability and / or risk reduction of a future tsunamic event.

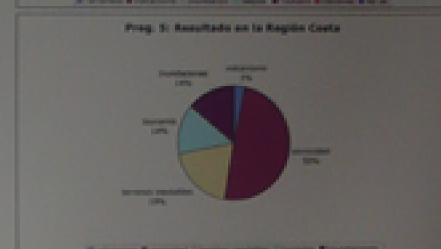
The survey demonstrates the obvious lack of knowledge, the wrong perception and weak preparedness of Ecuador's academic public towards a future potential tsunamic event. As the first guideline for preparedness planning should be based upon accurate knowledge of the threat and of likely human responses, a lot of efforts need to be made to be able to respond adequately to the next tsunami in Ecuador.

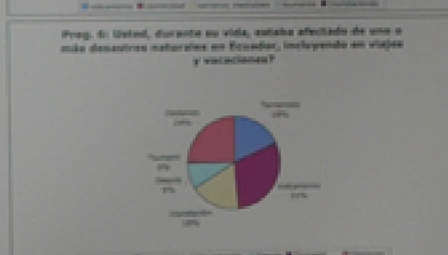
Further evaluated statistics of the 22 questions only re-confirm that above presented results.

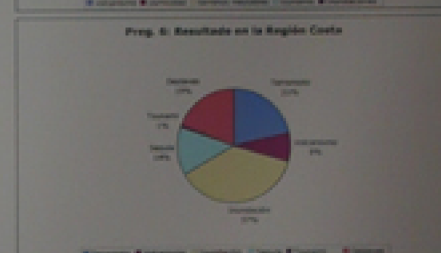


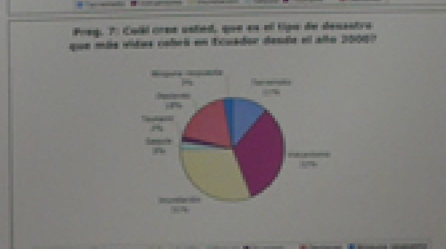


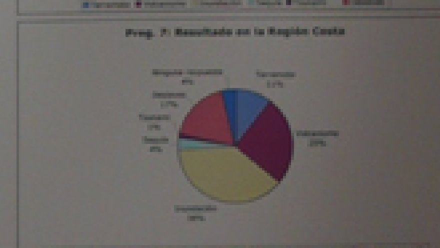


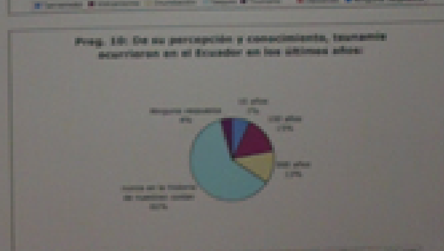


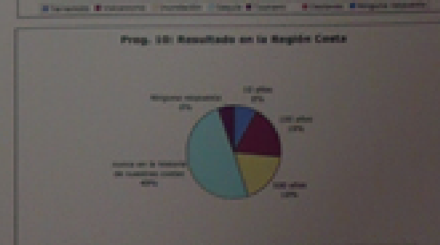


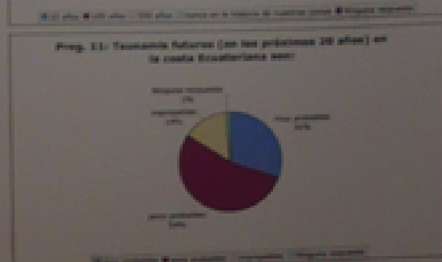


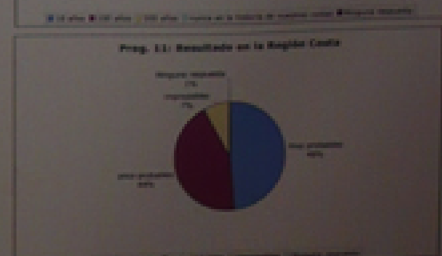


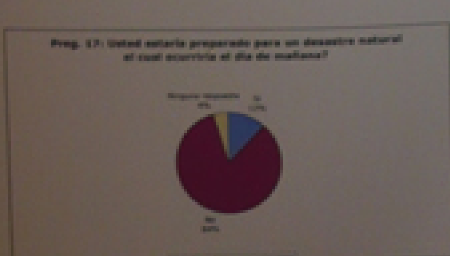


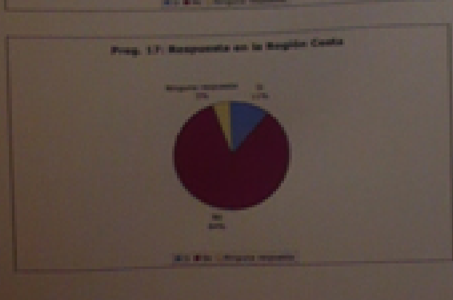










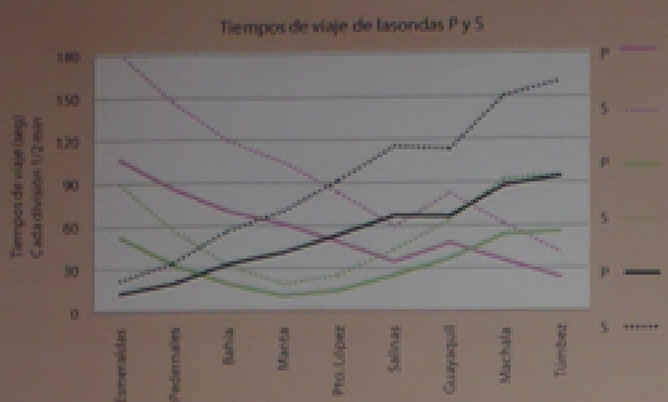


SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA PARA TSUNAMIS (SAT)

Mónica Segovia, Alexandra Alvarado & Hugo Yepes

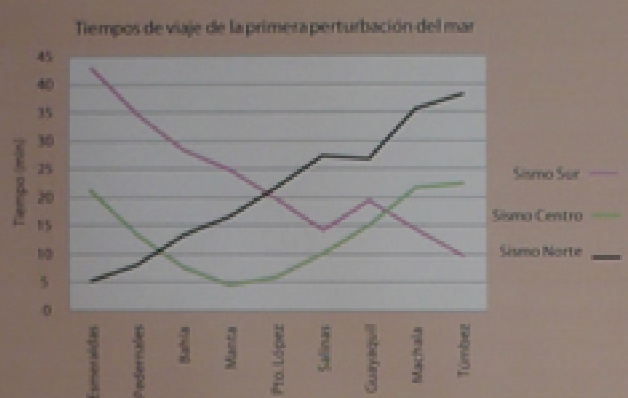
Análisis del problema

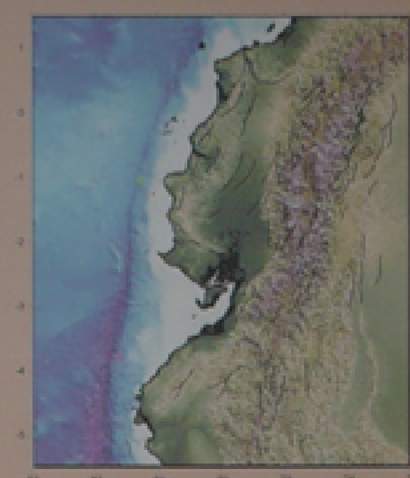
Introducción: Por su contexto geodinámico, el país está expuesto a la ocurrencia de tsunamis generados por grandes terremotos de subuducción locales y en cualquier punto de la cuenca del Pacífico. De un breve análisis de 3 eventos de subducción ocurridos frente a nuestras costas se desprende que los tiempos para una alerta y una reacción por parte de la población son muy cortos. Por tal razón, el SAT a establecerse debe considerar estos tiempos de reacción y ser altamente eficiente, en donde el proceso de educación a la población en riesgo y su participación es de fundamental importancia y ésta debe basarse en un reconocimiento del evento causante del tsunami que para este caso, es el terremoto.



Casos de ejemplo

Se consideran 3 sismos locales de subducción, magnitud ~7.5, ubicados cerca de la fosa (fuentes Esmeraldas, Jama y Túmbez) con ruptura del fondo marino. Se calcularon los tiempos de llegada de las ondas P, S y de la primera perturbación del mar (ola) a 9 ciudades costeras, regularmente distribuidas a lo largo de la costa. No se incluyó en el cálculo la propagación de la fractura, que en realidad acorta los tiempos de espera en cada una de las ciudades. Para el cálculo de propagación de las ondas sísmicas, se consideró un semiespacio y una velocidad promedio derivada del modelo local utilizado.





Sismos de subducción considerados

Conclusiones:

-Ante tiempos de viaje de ondas sísmicas del orden de 1 minuto, luego de ocurrido el terremoto el SAT debe ser muy eficiente.

-Para la población, el terremoto es el que dipara la alerta y deben estar bien señalizadas las rutas de movilización hacia zonas altas.

Elementos principales de la cadena de alerta temprana

0. Conocimiento de la amenaza, con la generación de escenarios.
1. Detección y pronóstico de eventos extremos para formulación de alertas basadas en el conocimiento científico y el monitoreo, considerando además factores que afecten la severidad del desastre.
2. Diseminación de la alerta + información de posibles impactos a la gente y a la infraestructura (evaluación de la vulnerabilidad) hacia las autoridades para mayor información hacia la población afectada, incluyendo recomendaciones apropiadas para acciones urgentes.
3. Respuesta a las alertas por parte de la población y las autoridades, basada en un apropiada comprensión de la información y una subsecuente implementación de medidas de protección.

Identificación del fenómeno: Quién lo hace?

Fuentes:

1. Terremoto de subducción frente a nuestras costas: IG
2. Terremotos de subducción a lo largo de Sudamérica: USGS, PTWC
3. Deslizamientos disparados por terremotos o deslizamientos ocurridos costa afuera, cerca o relativamente cerca: INOCAR
4. Un gran terremoto en el otro lado del Pacifico: USGS, PTWC
5. Un gran deslizamiento o erupción volcánica en las Islas Galápagos: IG-?

Origen de la perturbación de la columna de agua por desplazamiento del fondo marino y avance de la ola hacia la costa.

Estrategias técnicas de acuerdo a la fuente

1. Sistema local: magnitud y localización inmediatas.
2. Sistema tremors + red mareógrafos. Alerta del Pacific Tsunami Warning Center -PTWC.
3. Red mareógrafos + sensores de presión.
4. Alerta del PTWC + mareógrafos.
5. Sistema local: detección de sismicidad y/o erupción + red mareógrafos + sensores de presión.