

ANÁLISIS DE RIESGO DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL

POR:

PATRICIA ARREAGA(1)

MODESTO ORTIZ(2)

ABSTRACT

A tsunamigenic earthquake scenery is numerically simulated in front of the coasts of Guayaquil Gulf to evaluate flood risk by tsunamis in internal low coastal zones of the Gulf. Tsunami propagation into the Gulf was simulated using TIME Project methodology (Tsunami Inundation for Modeling Exchange) of the Tohoku University. The results of the Simulation (flood heights) were incorporated in cities urban maps to develop the risk flood maps (the urban maps are not presented in this article).

RESUMEN

Se simula numéricamente un escenario sísmico-tsunamigénico frente a las costas del Golfo de Guayaquil para evaluar el riesgo de inundación por tsunamis en las zonas costeras bajas al interior del Golfo. La propagación del tsunami al interior del Golfo se simuló empleando la metodología del Proyecto TIME (Tsunami Inundation Modeling for Exchange) de la Universidad de Tohoku. Los resultados de la simulación (alturas de inundación) fueron incorporados en los mapas urbanos de las ciudades para desarrollar los mapas de riesgo de inundación (los mapas urbanos no se presentan en este artículo).

INTRODUCCION

El área de estudio está localizada a lo largo de la costa sur del Ecuador. Tiene parte tanto continental como insular. El área de la parte insular es de 12000 Km², y está cubierta en su mayor parte por manglares. Recibe gran carga sedimentaria (870 millones m³) de numerosos ríos (Guayas, Jubones y otros) que junto con la fuerte corriente oceánica y una fluctuación de la marea de cerca de 3.5 m, hace que existan frecuentes cambios en la morfología de la costa.

Una considerable porción de la población está asentada a lo largo de estas costas, principalmente en el Archipiélago de Jambelí. Gran parte de la gente vive a lo largo de la costa sin ninguna planificación urbana y sanitaria, lo que agrava el problema. La mayor parte de las construcciones son de madera.

ANTECEDENTES

Durante el siglo pasado el Ecuador se vio afectado por varios tsunamis los cuales han producido mayor o menor destrucción dependiendo de las condiciones iniciales en las que se generaron los tsunamis.

De aproximadamente 2000 tsunamis (observados y/o medidos) en la historia de la humanidad, documentados por el Centro Mundial de Datos Geofísicos, 83% se originaron en el Océano Pacífico, generándose casi todos por sismos en el perímetro costero conformado por las zonas subducción de placas tectónicas (Figura 1). En Ecuador, la zona de generación de tsunamis locales de origen tectónico es la zona de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.

Los 5 tsunamis (Figura 2) regionales que han causado daños en las costas ecuatorianas han sido :

PROVINCIA DE ESMERALDAS

1) TSUNAMI ENERO 31 DE 1906: Ocurrió un terremoto cuya profundidad fue 25 km. con magnitud $M_s = 8.6$ según Catálogo CERECIS (1985).

El área estremecida tuvo una dirección N-S en una extensión de 1200 km limitada entre Guayaquil y Medellín hacia el interior del continente; el ancho mayor del área fue 350 km en la latitud de Bogotá. La superficie total del área estremecida fue estimada en unos 300.000 Km² aproximadamente.

Aún cuando la marea se encontraba en su nivel más bajo al momento del terremoto, las olas del tsunami fueron muy destructivas en las costas bajas y planas existentes desde Río Verde hacia el norte (Provincia de Esmeraldas), donde todas las viviendas asentadas cerca de la playa o en la zona estuarina formada por los Ríos Santiago y Mataje fueron destruidas; alrededor de unas 1.000 a 1.500 personas murieron.

2) TSUNAMI ENERO 19 DE 1958: El sismo ocurrió en la región fronteriza de Ecuador - Colombia con magnitud $M_s = 7.8$ (Catálogo CERECIS 1.985).

En Esmeraldas se reportaron 4 muertos por efectos del maremoto; una embarcación estuvo a punto de hundirse frente a Esmeraldas; La altura con que llegaron las olas a las costas fueron de 2.0 a 5.9 m., (Lockridge 1984). Las olas originadas también ocasionaron daños en Tumaco y la costa norte de la Provincia de Esmeraldas.

3) TSUNAMI DICIEMBRE 12 DE 1979: El terremoto de magnitud 7.9 se localizó en la zona fronteriza de Ecuador - Colombia con una profundidad de 33 km. Este sismo produjo un tsunami que ocasionó daños graves en el territorio colombiano. De acuerdo a información de principales diarios de esa época, se conoce que en Ecuador los daños materiales fueron leves y no se produjeron víctimas.

Revisando los registros de mareas de la ciudad de Esmeraldas, se observa que se presentaron de 3 a 4 olas, minutos después del sismo cuando la marea se encontraba en

su nivel mas bajo.

PROVINCIA DEL GUAYAS

4) TSUNAMI OCTUBRE 2 DE 1933: El sismo fue localizado frente a La Libertad en la Península de Santa Elena, con magnitud 6.9 en la escala de Richter. En la Libertad se produjeron fuertes oscilaciones del nivel del mar inmediatamente después del terremoto, un cable submarino se rompió a 25 Km al sur de Salinas, el mar se retiró inmediatamente después del sismo y luego se elevó alcanzando el nivel de la alta marea una hora después de ocurrido el sismo. Se deduce de lo expuesto anteriormente que el tsunami fue de origen cercano y que en 3.5 horas el mar realizó oscilaciones que normalmente efectúa en 10 horas, la amplitud debe haber sido entre 2 a 2.5 m y que de haber penetrado el tsunami lo hizo en forma de inundación y no de oleaje turbulento.

PROVINCIA DE EL ORO

5) TSUNAMI DICIEMBRE 12 DE 1953: El sismo fue localizado en la frontera Ecuador - Perú con magnitud 7.3. Se conoce que en la costa norte de la Península de Santa Elena se produjeron oscilaciones de 20 cm aproximadamente en el nivel del mar; lo que indica que las ondas fueron no destructivas y que el tsunami fue de origen cercano para La Libertad.

Existe escasa información de estos dos últimos eventos tsunamigénicos ocurridos frente a La Libertad y en la frontera Ecuador - Perú.

ANÁLISIS DE RIESGO POR TSUNAMIS EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL

Con la finalidad de identificar las zonas con riesgo de inundación en el Golfo de Guayaquil se ha simulado numéricamente la generación y propagación de un tsunami potencial en la zona de subducción frente al Golfo. El área de generación se indica en la Figura 2 y está delimitada por La Puntilla de Santa Elena (hacia el norte; 2° S) y Boca de Capones (hacia el sur 4° S), entre los 82° W y 79.5° W. En la parte oceánica las profundidades varían

entre 50 y 100 metros y en la parte estuarina, al interior del Golfo, las profundidades son menores de 10 metros. La batimetría del área de generación y propagación del tsunami se indica en la Figura 3.

METODOLOGIA

Para simular la generación del tsunami se asume una deformación inicial de la superficie del océano frente al Golfo de Guayaquil, entre la zona de subducción y el Golfo de Guayaquil. El tsunami se propaga numéricamente desde la zona de generación hasta el interior del Golfo en un conjunto de mallas anidadas de menor a mayor resolución espacial hacia el interior del Golfo.

Las características o severidad que adquiere el tsunami al llegar a un sector de la costa depende, además de la condición inicial, de la topografía costera y de las condiciones del nivel del mar presentes al momento en que se produce el tsunami.

Entre los factores necesarios para realizar el presente trabajo se citarán: el momento (M_0) del sismo que generó el tsunami; la profundidad del sismo; la extensión del área dislocada del fondo del mar; rumbo de la dislocación; la distancia entre el epicentro y la costa afectada; la topografía de fondo y la configuración de la línea de costa. Estos parámetros del sismo, necesarios para generar la condición inicial del tsunami (Figura 3) se describen a continuación:

Origen del Plano de Falla: 25,20
En coordenadas I,J de la Malla exterior (A)

Longitud del Plano de Falla: 80Km

Ancho del Plano de Falla: 60Km

Dislocación: 4,8m
Dislocación medida sobre el plano de falla.

Rumbo de la falla: 5°
Dirección de la falla, respecto al norte, en el sentido de las manecillas

del reloj.

Echado de la Falla: 16°

Inclinación de la falla, Respecto de la horizontal, en el sentido de las manecillas del reloj.

Angulo de Desplazamiento: 90°

Dirección del desplazamiento del bloque superior respecto del bloque inferior, medido sobre el plano de la falla a partir de la línea de rumbo, en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

Profundidad de Falla: 10 Km
medida respecto del fondo marino.

Parámetros que corresponden a un momento sísmico $M_0 = \mu \times d \times L_0 \times W_0$, $M_0 = 7.6 \times 10^{27}$ dinas-cm, donde el módulo de rigidez $\mu = 4 \times 10^{11}$ dinas/cm²; L_0 = Longitud de la Falla; W_0 = Ancho de Falla; d = Magnitud de la Dislocación (entre 4 y 8 metros).

La condición inicial muestra la deformación de la superficie del océano que se asume igual a la del lecho marino al momento del sismo calculada con el modelo de dislocación de Mansinha y Smylie, 1971. Figura 4. Cuando esta condición inicial queda localizada en la parte continental se puede asumir como una deformación en la superficie de la tierra.

La propagación del tsunami al interior del Golfo se simula con el modelo de Goto y Ogawa (1982) que integra las ecuaciones de aguas someras (Pedlosky, 1979) en diferencias finitas. Figura 5.

RESPUESTA DEL GOLFO DE GUAYAQUIL

Reflexión, refracción y difracción del tsunami por la batimetría local y por el contorno costero son los procesos físicos predominantes en la interacción de las ondas con el Golfo.

Las Figuras 6 y 7, muestran como una vez

que el tsunami ingresa en el interior del Golfo, la Isla Puná permite la difracción de las ondas de tsunami, lo que tiene como consecuencia cambios en la direccionalidad del tsunami en el interior del Golfo.

De la misma forma, la amplitud de las ondas en ambos canales en los que se divide el golfo interior a causa de la Isla Puná es diferente debido a la diferente batimetría que los canales presentan. Las máximas alturas son encontradas en el canal del sur.

Una vez en el interior del Golfo las amplitudes se incrementan como consecuencia de la disminución en la profundidad. Como se puede ver en las Figuras 8 a) y b), la amplitud en las costas de la Isla Jambelí, situada en el interior del Golfo es aproximadamente mayor a 1.5 m.

Sumadas a las costas de la Isla Jambelí, la propagación del tsunami afecta a otras localidades como son La Libertad, Salinas, Chanduy, Posorja, como lo muestran las Figuras 6-8.

CONCLUSIONES

Las poblaciones costeras ecuatorianas están constantemente expuestas a los riesgos de inundación por tsunamis, especialmente si un tsunami coincide con la marea alta. Condiciones que hacen de las áreas de estudio más vulnerables son: la alta densidad de asentamientos humanos en la región, expuestas a la acción de las olas constantemente, terrenos bajos que carecen de rutas de evacuación y construcción de viviendas no resistentes a movimientos telúricos asentados en suelos no apropiados. Además las comunidades costeras desconocen de los efectos de los tsunamis.

El tiempo de arribo del tsunami (20 – 50 minutos) obliga a ver la necesidad de establecer un efectivo y eficiente sistema regional de alerta.

Estamos convencidos que la educación es muy importante para evitar posibles desastres que acarrea la generación de un tsunami.

Otro problema en la región es la falta de planificación para la prevención.

Las poblaciones están asentadas en construcciones sobre cauces antiguos de ríos o muy cerca de la costa y en las mismas islas, por lo que es necesario promover nuevas políticas en estas áreas, como lo muestran las fotos.

AGRADECIMIENTO

Los autores dejan constancia de su agradecimiento a los directivos del Instituto Oceanográfico por permitir y apoyar al desarrollo de este documento.

BIBLIOGRAFÍA

CERECIS, 1985. *Catálogo de Terremotos para América del sur. Datos de Hipocentros e intensidades. Ecuador, vol.6.*

CERECIS, 1985. *Mapa Neotectónico Preliminar de América del Sur.*

De Miró M.; Ayon H. y Benites B. 1976. *Morfología y estructura del Margen Continental del Ecuador. Instituto Oceanográfico de la Armada. INOCAR.*

Duarte A., 1991. *Determinación de la vulnerabilidad del área urbana de Tumaco a la inundación por Tsunami.*

Espinoza J., *Efectos Potenciales de un Tsunami en la Costa Norte de la Provincia de Esmeraldas - Ecuador.*

Espinoza J., *Evaluación del riesgo de Tsunamis de las poblaciones de la Costa Central del Ecuador.*

Farreras S., 1995. *Tsunamis en México.*

Goto and shuto, 1981. *Numerical Simulation of Tsunami Propagations and run - up.*

Goto and Ogawa, 1982. *Numerical Method of Tsunami simulation with the leap - frog scheme.*

Iida K., 1984. *Catalog of Tsunamis in Japan and it's Neighboring Countries*. Aichi Institute of Technology.

Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR. *Cartas Náuticas*.

Kuroiwa J., 1983. *Efectos sobre las costas de Lima Metropolitana*.

Mansinha and Smylie, 1971. *The displacement fields of inclined faults*.

Pedlosky, 1979. *Chapte*

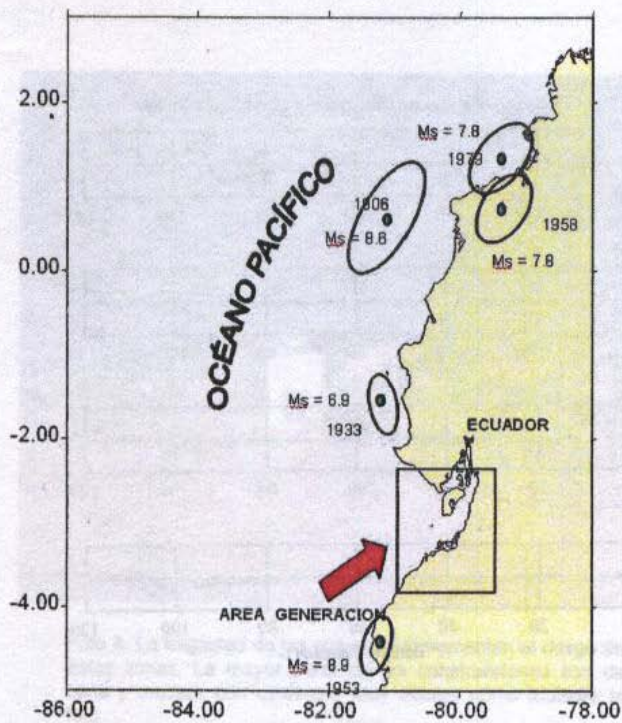


Figura 2. Sismos tsunamigénicos ocurridos durante el siglo pasado.



Figura 1. La costa de Ecuador (flecha roja) se localiza en la zona de subducción de la Placa de Nazca.

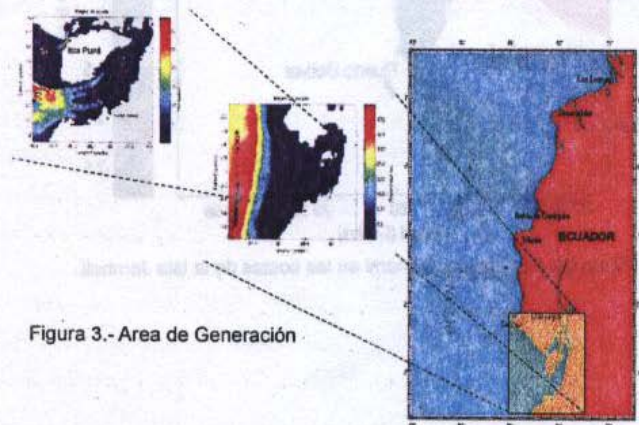


Figura 3.- Area de Generación

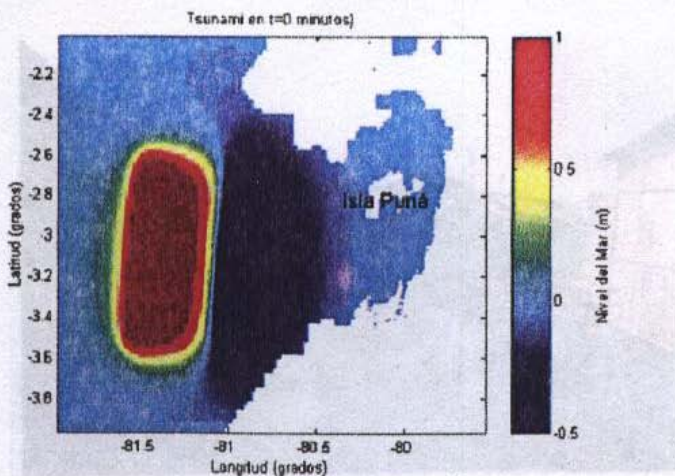


Figura 4. Condición inicial de tsunami

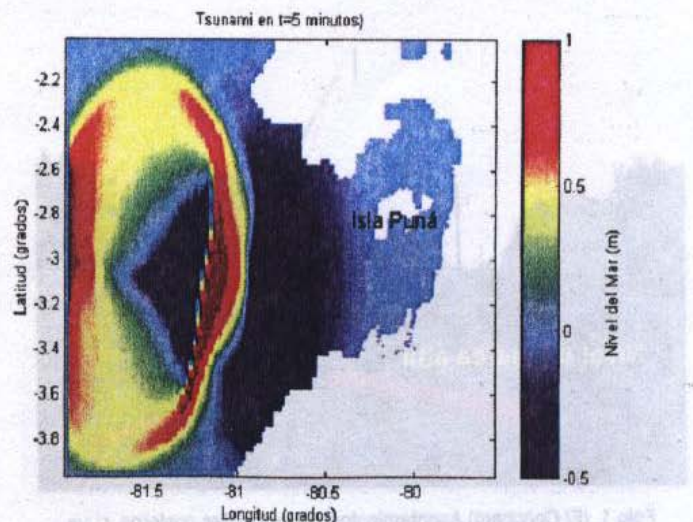


Figura 5. Propagación del tsunami a los 5 minutos de su generación

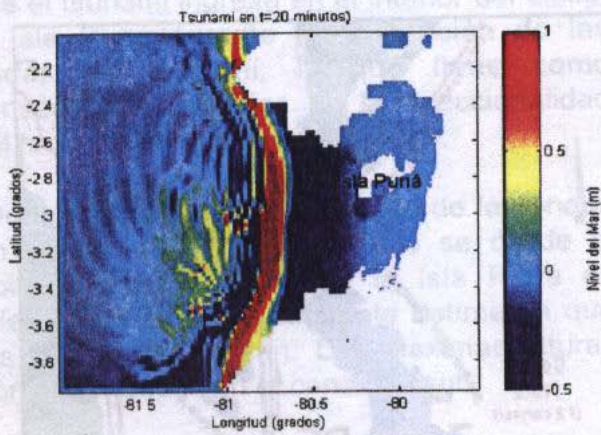


Figura 6. Trayectoria de tsunami a los 20 minutos

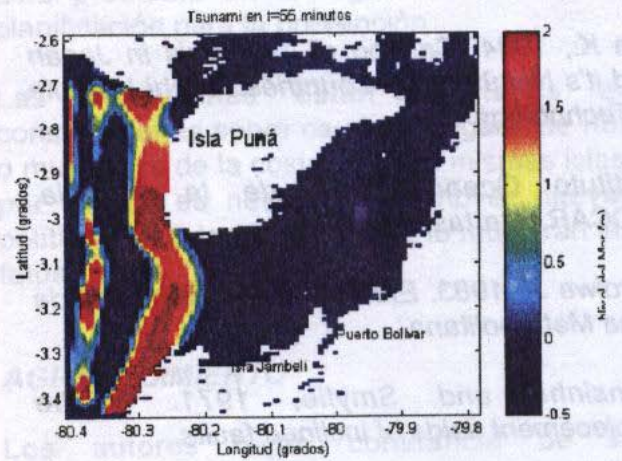


Figura 7. Dirección del tsunami al ingreso al Golfo Interior.

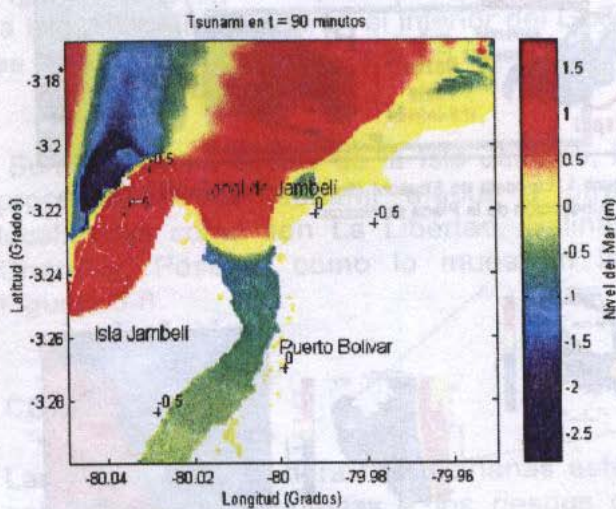


Figura 8a. Impacto del tsunami en las costas de la Isla Jambeli

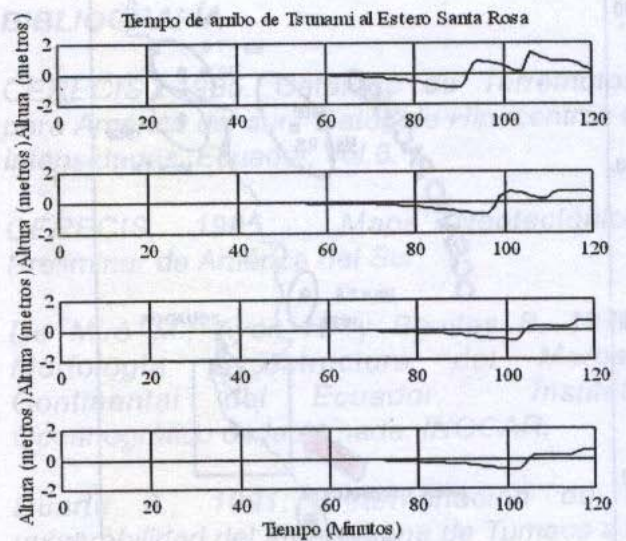


Foto 1. (El Conchero) Asentamientos poblacionales costeros, cuya única ruta de evacuación es un frágil puente o un pequeño sendero que se pierde durante la marea alta



Foto 2. El crecimiento desordenado de las ciudades hacia zonas inundables, hace que asentamientos como los que muestra la foto se conviertan en zonas de riesgo frente a tsunamis.; (Machala)

VARIACIÓN ESTACIONAL DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS ECUATORIALES SUBSUPERFICIALES AL OESTE DE LAS GALÁPAGOS EN EL ÁREA DE OCUPACIÓN DE LA ESTACIÓN 92



Nivel de marea alta

Foto 3. Pongalillo, es una de los tantos asentamientos humanos localizados en el margen costero, las flechas muestran hasta donde avanza el mar en la marea alta.



Foto 4. Bajo Alto es una de las poblaciones que frecuentemente sufren destrucciones por acción del fuerte oleaje; la figura muestra una escuela destruida por acción de las olas en 1997, prácticamente fue enterrada por los sedimentos acarreados. Estos factores sumados a otros hacen de esta población una zona de riesgo frente a un tsunami.

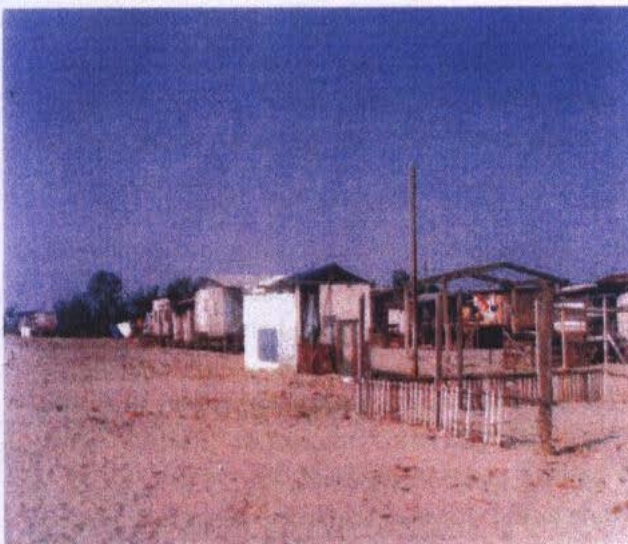


Foto 5. La fragilidad de las viviendas incrementan el riesgo de estas zonas. La mayor parte de las construcciones son de caña y madera con cimientos muy débiles como muestra la foto.

RESUMEN

Se presenta como referencia la información de los cruces realizados por W/OCEA en el 2001 con el objetivo de las Galápagos desde 1953 hasta el 2001 en la estación 92 W entre las latitudes 3°N a 4°S, se llevó a cabo la caracterización hidroquímica mediante la determinación de las concentraciones del oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato de las Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AES). Además, basándose en la combinación termohalina (diagrama T-S), se estudió el comportamiento (ubicación) de la columna de agua hasta los 300m y los valores promedio de tales parámetros durante los periodos como la Niña, cálida como el Niño y en periodos normales.

Los resultados obtenidos indican que las AES se ubican para la época húmeda (marzo - mayo) entre 75 a 250 metros en la Niña (con promedios de 2.45 mg/L de oxígeno disuelto, de 15.9 mg/L/nitrato, de 0.5 mg/L/fosfato y de 17.41 mg/L/silicato), de 100 a 250 metros en el periodo Normal (con promedios de