

ELABORACION DE MAPAS DIGITALES DE INUNDACION POR TSUNAMIS PARA MACHALA Y SALINAS BASADOS EN EL TSUNAMI HISTORICO DE 1953

GENERATION OF FLOODING DIGITAL MAPS FOR MACHALA AND SALINAS BASED ON THE 1953 HISTORICAL TSUNAMI

Por: Willington Rentería ⁽¹⁾

Resumen

Para la generación de mapas digitales de inundación es necesario tener presente los conceptos de cartografía y modelación numérica de tsunamis, usando como nexo a los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La utilización SIG no es nuevo en el modelamiento de tsunamis, sin embargo el uso general de esta técnica en países como el Ecuador es reciente. Por esta razón, como contribución a la determinación del riesgo por tsunamis, se presenta esta metodología para elaborar cartas digitales de inundación basada en la unión de las técnicas SIG y el Proyecto TIME (Intercambio de mapas de inundación por Tsunamis).

Los aspectos cartográficos considerados en la preparación de estos mapas son: la línea de costa de alta resolución y el uso de un mismo sistema de coordenadas geográficas y sistema de referencia vertical, tanto en la batimetría como en la topografía. La información cartográfica representada como capas en el SIG fue asociada con la inundación del tsunami sintético basado en el Tsunami histórico de 1953.

De manera general, esta metodología es más eficiente en cuanto permite predecir los efectos de la inundación por tsunamis.

Abstract

For generation of flooding digital maps is necessary consider the geographic concepts and Tsunami numerical modeling concepts, using how link the Geographical Information Systems (GIS).

The use of GIS is not new for tsunami modeling; however in countries like Ecuador the global use of this technique is recent. For this reason, a new methodology based on the joint use of GIS and TIME (Tsunami Inundation Maps Exchange) Project for the preparation of tsunami flooding digital maps is presented as a contribution for tsunami risk assessment.

The cartographic aspects considered for the preparation of these maps are: a high resolution coastline, and the use of bathymetry and topography data with the same vertical reference level and geographical coordinates system. This information, represented as a layer in GIS, was integrated to other relevant scientific information from tsunami modelling associated to the 1953.

In a general way, this new methodology proved to be more effective in predicting tsunami related flooding effects.

⁽¹⁾ Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR, Av. 25 de Julio Base Naval Sur, P.O. Box 5940 Guayaquil-Ecuador

Anatomía de un Tsunami producido por un sismo

Inicialmente cuando se produce un sismo tsunamigénico en el subsuelo marino, la base del fondo del mar sufre una deformación que empuja la columna de agua que se encuentra justo sobre ella, produciendo una perturbación en la superficie del mar que se propaga horizontalmente en forma casi radial y verticalmente en forma de onda, produciendo al llegar a la costa el fenómeno que conocemos como tsunami.

Debido a la reducción de la profundidad cuando el tsunami llega a la costa, la amplitud de esta onda se incrementa y se reduce su longitud. Las aguas del tsunami penetrarán la costa dependiendo de la morfología costera y de la energía con la que haya sido generada, a la máxima altura alcanzada por las aguas medidas desde un nivel de referencia (normalmente el nivel medio del mar) se le conoce como run-up, ver Figura 1.

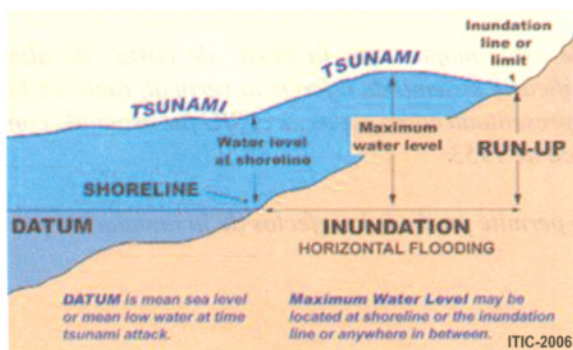


Figura 1. Diagrama del run-up, máxima altitud alcanzada por el agua

En el estudio de Tsunamis, el run-up permite determinar cual fue la intensidad y fuerza del Tsunami al arribar a la costa, dado que el agua puede alcanzar cientos de metros tierra adentro dependiendo de las pendientes de la topografía del área.

Proceso de Integración

La utilización de sistemas integrados que permitan el mayor aprovechamiento de ciertas capacidades, no es nuevo, un claro ejemplo es el proceso computacional que involucra el modelo numérico de tsunamis presentado por el Proyecto TIME y modificado por el Prof. Modesto Ortiz del Centro de Investigación Científica y de Educación superior de Ensenada (CICESE). En este modelo se aprovecha la facilidad de manejo del lenguaje programación del MATLAB, para definir rutinas repetitivas y realizar cálculos sencillos que manualmente serían tediosos, como es el cálculo de los límites de las grillas

anidadas o simplemente la unión de datos de batimetría gruesa y fina para finalmente realizar la graficación de contornos y mapas derivados de operaciones matriciales; y se aprovecha la funcionalidad eficiente que tiene el programa FORTRAN para realizar cálculos numéricos más complejos, tales como el del modelo de dislocación sísmica en el plano de la falla y la obtención de las series de tiempo simulando la propagación de las ondas del tsunami hacia la costa. Además se utiliza el programa SURFER, para realizar las interpolaciones de cada una de las grillas y las transformaciones al formato "grid" en ASCII, que es un formato más sencillo de manejar y que presenta una mayor facilidad para ser procesado en FORTRAN.

En el Proyecto TIME el objetivo esencial de la modelación es obtener un mapa de inundación de una ciudad o un área geográficamente determinada, el producto que obtenemos con la simulación es una representación gráfica de la inundación, pero no es un mapa y corre el riesgo de degradar la calidad de la interpretación numérica por ejemplo, al asumir datos que no son geográficamente correctos; un ejemplo claro de esto es la utilización de la función plot para graficar en MATLAB la línea de costa, la cual necesita un que ingresemos un valor para plotear y se utiliza normalmente [0,0].

Analizando en detalle esta operación, podemos ver que el programa realiza una unión de todos los centroides de los píxeles (unidad básica de una imagen) que tengan un Nivel digital (ND) de valor cero [0 0] y corresponde al valor de altitud en el terreno de 0 metros, para el caso de la grilla de la Figura 2 el ancho de la grilla en escala con el terreno, equivale a 27 segundos de arco es decir "810 metros" en extensión horizontal.



Figura 2. Imagen obtenida del MATLAB, de la grilla "a" extraída de una imagen del ETOPO, en la que se ha plotado la curva de nivel de valor cero [0,0]

Un error inconsciente suele pasar al confundir esta línea con la Línea de Costa y a menudo se la ha utilizado para georeferenciar las representaciones

gráficas que surgen del modelo, al sobreponer los perfiles de inundación sobre un mapa o una carta, este error geográfico se transfiere en una equivocada posición del veril de inundación que obtuvimos en el modelo, mas aún cuando consideramos que el tamaño del píxel en el caso de la grilla mas fina es de 1 segundo de arco equivalente a 30m.

De igual manera, a pesar de la versatilidad para el manejo de datos geográficos que tiene el programa Surfer, este se ve enormemente limitado cuando se trata de realizar una edición o corrección a los datos espaciales, por ejemplo la edición de batimetría cuando se tiene estos datos en distintos sistemas de coordenadas geográficas o en diferentes sistemas de proyección. Esto hace necesario la inclusión de una herramienta que pueda suplir las deficiencias del proceso, y así garantizar una mayor prestación de la información que se obtiene, para poder ser utilizada con información cartografica.

Integrando un software como el Arcgis, que facilite el manejo de Sistema de Información Geográfica, con el proceso ya estructurado, se puede minimizar los errores antes mencionados, y además se incorporan al resultado del proceso, bondades que en el proceso anterior, simplemente no se podían realizar.

La integración de la información, entre diferentes programas es un concepto de interoperabilidad que manejan muy bien los Sistemas de Información Geográfica, de esta manera ellos mismos presentan varias prestaciones para facilitar el intercambio, la importación, y exportación de datos en cualquier formato. De aquí que el trabajo consiste en encontrar la ruta adecuada para esa interoperabilidad.

Fases del Proceso de integración

Un objetivo de este trabajo es presentar los mapas de inundación por tsunamis utilizando el método del proyecto TIME con las modificaciones del Prof. Ortiz, pero con un criterio orientado a los Sistemas de Información Geográfica. A continuación se presenta un flujo de proceso concebido para facilitar la integración de los datos que se utilizan en la elaboración de los mapas de inundación.

1.- Control de Calidad en el ingreso de datos

Uno de los aspectos mas importantes a mencionar del flujo propuesto, es el control de calidad de los datos, tal como se puede apreciar en la Figura 3, antes de que los datos ingresen al proceso Numérico (proyecto TIME), tenemos una conexión bidireccional con el SIG (Sistema de Información Geográfica) de tal

manera que los datos puedan ser editados o confirmados con bases de datos históricas, o simplemente con bases de datos espaciales, donde podamos corroborar entre otras cosas la integridad, el origen de los datos y su ubicación correcta en el espacio.

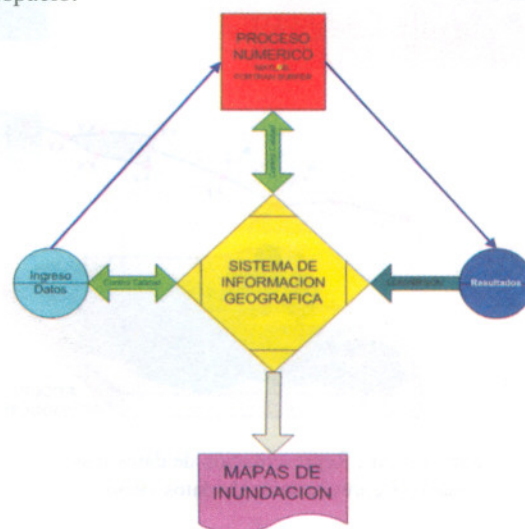


Figura 3. Esquema del Flujo de proceso para la elaboración de Mapas de Inundación

Un ejemplo claro de la necesidad de edición es el traslado de la información a un mismo nivel de referencia tanto horizontal como vertical. Como se sabe, en cuanto al nivel de referencia horizontal, existen una serie de Sistemas de Coordenadas Geográficas y Sistemas de Proyección en los que los datos podrían estar referenciados, de ahí que es muy importante escoger el más adecuado y actualizado (las variables de espacio varían en el tiempo), de tal manera de evitar ingresar inconscientemente errores por inconsistencia geográfica.

Como se mencionó anteriormente los conceptos de interoperabilidad son manejados muy apropiadamente por los SIG, de esta manera es muy probable que cuando tengamos la necesidad de obtener datos para ingresar en el modelo numérico, podamos extraer estos de cualquier otro formato e incluso de otro tipo de dato. Ampliando este concepto, de manera muy sucinta podemos citar que existen dos tipos de datos espaciales, el dato raster y el dato vector, y dentro de este ultimo los datos se clasifican como polígonos, líneas y puntos. Para ingresar los datos en el modelo numérico necesitamos que estos se encuentren como puntos y en formato con extensión ".dat".

Los SIG permiten la conversión y facilitan la obtención de los datos que se requieren para la modelación numérica, llevándolos de un formato a otro de acuerdo a la necesidad.

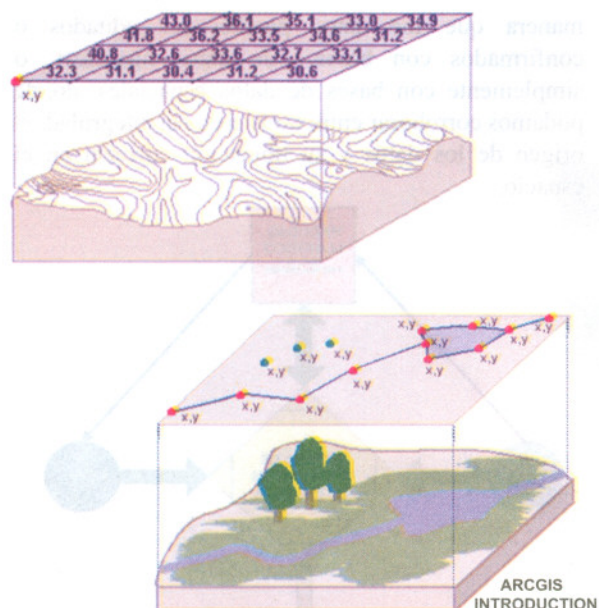


Figura 4. (Izq.) Representación de datos raster, (Der.) Representación de datos vector.

2.-Control de Calidad en el procesamiento de datos

Asimismo cuando la información está siendo procesada por el modelo numérico, existe una comunicación bidireccional con el SIG, para un control de los datos que se van generando paso a paso, por ejemplo al conjugar los datos de batimetría fina y gruesa, el SIG facilita la manipulación de los datos, y permite verificar como los datos se van acoplando; otro caso es la correlación de las grillas anidadas que se van generando, el control que permite el SIG es que la grilla de más fina resolución pueda ser comparada por otro tipo de datos, especialmente imágenes satelitales para identificar las geoformas en el área en la que se piensa realizar la inundación.

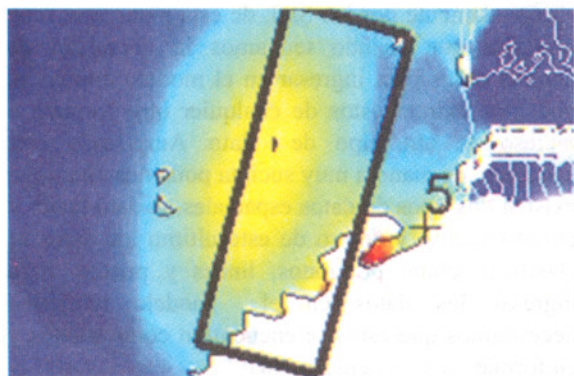


Figura 5. Error en la presentación de los datos, nótese la bahía en el interior del círculo, geográficamente eso no existe

Una vez que se obtienen la representación gráfica de la inundación, producto de las series de tiempo generadas en TIME esta debe ser comparada con información geográfica mas detallada, un ejemplo de esto es que a menudo en la simulación del tsunami regional, cuando se considera la grilla de menor resolución (~810 mts.), el modelo numérico no discrimina esta resolución e integra directamente el desplazamiento de la onda, provocando resonancias de la onda en lugares que considera bahías muy cerradas, estas deben ser comparadas con información geográfica mas detallada a fin de evaluar el dato obtenido.

3.-Conversión y presentación de los datos

Finalmente, los datos obtenidos por el modelo numérico son convertidos a un formato raster, y ya como una capa georeferenciada, puede sobreponerse a un sinnúmero de información. Esto aparte de producir un mapa de inundación cartográficamente correcto, facilitara además la realización de planes de mitigación, rutas de evacuación, planes de contingencia, mapas de riesgo y vulnerabilidad, estudios paleotsunamigénicos, estudios de erosión costera, medición de volúmenes, licuefacción, en fin una gama estudios y productos, con la confianza de que la información es consistente tanto teórica, histórica y geográficamente.

El SIG es una herramienta que cada día va evolucionando, si esta información científica obtenida de diferentes estudios es sumada aquella de nuestro entorno cotidiano, podemos obtener resultados excepcionales, por ejemplo si luego de un geoprosesamiento se concluye que la mayor inundación se presenta en una área donde se planea construir algún complejo habitacional, se puede recomendar que no se construya en esa área, y así evitar una mala inversión, en fin cada caso va a depender de la acuciosidad con la que se maneje la información y las necesidades que se tenga.

Sobre el Nivel de Referencia Vertical

El modelo numérico asume como valor de referencia el contorno de valor 0 (cero) del modelo del terreno, en el que coinciden el nivel medio del mar y la superficie del mar en reposo justo antes de la condición inicial (perturbación debida al sismo), y lo toma como referencia para definir los incrementos verticales de la columna de agua a lo largo de la propagación del tsunami. Esa misma superficie de referencia se mantiene incluso al llegar a la costa y definir el Run-up, por lo cual es explicito que el modelo está asumiendo la cota 0 como línea de costa,

ahora bien esta aparente imperfección del modelo puede ser corregida llevando los datos a un mismo nivel de referencia, que sea coincidente con la línea de costa.

Para el caso del Ecuador, esa superficie de referencia sería el promedio de las pleamares (MHW-Mean High Water), que es el rasgo geográfico utilizado para definir la línea de costa en la cartografía nacional, de esta manera se debe llevar los datos de batimetría del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) del promedio de las bajamares de Sicigia (MLLWS -Mean Low Low Water Spring) al MHW, y los datos de altitud del Instituto Geográfico Militar que están referidos al Nivel Medio del mar (MSL-Mean Sea Level) al MHW, e introducir un artificio geográfico al transformar la línea de costa en puntos XYZ e ingresar estos, a los datos que van al modelo. Con esto conseguimos que los incrementos de la columna de agua, pasando la línea de costa representen los veriles de inundación considerando la cartografía oficial.

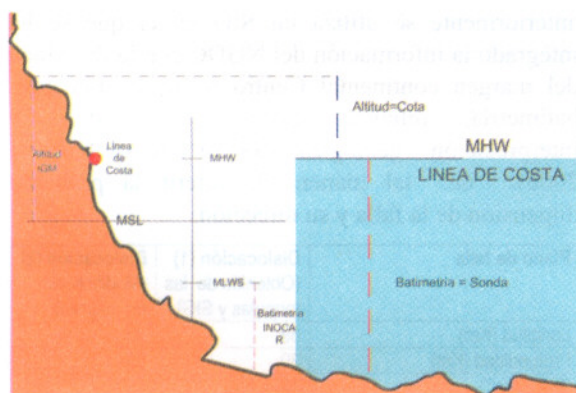


Figura 6. Nivel de Referencia vertical, nótese en el es que sin sombread la inconsistencia entre los dos niveles de referencia con al línea de costa,

Cartas Digitales de Inundación de Machala y Salinas

Metodología

La metodología que vamos a utilizar para la elaboración del mapa de inundación se basa en el modelo de recurrencia que parte de la hipótesis del gap sísmico e indica que los grandes sismos suceden una y otra vez a lo largo del mismo límite de placa, y registran el mismo deslizamiento cosísmico, ¹ de esta manera se plantea la hipótesis de que los sismos en la zona de subducción relacionados a nuestro país sucederán siempre dentro de la misma área, afectando a nuestras costas.

En base a la información histórica y con las formulas teóricas, se determinan los parámetros de la falla, y

así con esta información se genera un tsunami sintético similar al sucedido en los registros históricos, luego se cambia algunos parámetros con el objeto de generar otro tsunami con el peor escenario y de esta manera se elabora el mapa de inundación. A continuación luego, se elabora una tabla con los datos obtenido de la aplicación teórica, a la que se le llamará dislocación 1, y otra con los datos de exageración a la que se llamará dislocación 2.

$$Mw = 2/3 \log_{10} Mo - 10.73$$

$$Mw = \log_{10} A + 4$$

$$Mo = A \mu$$

Mw → Magnitud del sismo

Mo → Momento sísmico

A → Área de la falla

u → Dislocación (slip)

μ → Módulo de rigidez

(se asume 4×10^{11} dyna)

Datos de origen

Cuando se trabaja con información geográfica se debe tener muy en cuenta la metadata (es decir los datos del dato), esta se refiere a toda la información acerca de los datos que se están utilizando y que pueden dar una idea tanto de la validez (refiriéndose al tiempo) como de la calidad de la información (respecto de la fuente) que se va a ingresar en el proceso de elaboración. El mismo concepto se extiende para este proceso en el que los resultados obtenidos tendrán como aval la calidad de la información que le fue ingresada.

A continuación se presenta en la Tabla 1, toda la información geográfica utilizada para el proceso de elaboración de los mapas digitales de inundación, con la correspondiente información metadata, que se considera para el proceso de ingreso y procesamiento de datos, aún cuando en la tabla falta más información relacionada con los datos, para efectos de este procesamiento se considerará solamente estas variables, asumiendo también que todos ellos son coincidentes en el tiempo.

Dato	Tipo	Referencia Vertical	Referencia horizontal	Fuente
Etopo2	Raster	MSL	WGS 84, Equidistante	NOOA
Batimetría Machala	Puntos XYZ	MLLWS	WGS 84, UTM	INOCAR
Batimetría Salinas	Puntos XYZ	MLLWS	WGS 84, UTM	INOCAR
Topografía Machala	Vector	MSL	WGS84, UTM	IGM
Topografía Salinas	Vector	MSL	WGS84, UTM	IGM
DEM Machala	Raster	MHHW	WGS84	Proceso
DEM Salinas	Raster	MHHW	WGS84	Proceso
DEM (Digital Elevation Model)		MSL → Nivel medio mar MLLWS → Marea mas baja sicigia		

Tabla1. Información de los datos utilizados en al simulación

En la Tabla 1 también se consideran los Modelos de Elevación Digital, que se obtienen del procesamiento de los datos batimétricos y de topografía, modelos que

permiten un mejor entendimiento del área en la que se está trabajando.

La graficación de los modelos de Elevación digital se presentan a continuación en las Figuras 7 y 8.

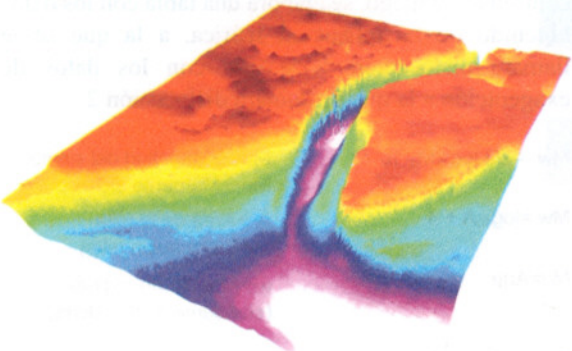


Figura 7. Modelo digital del terreno del canal de ingreso a Puerto Bolívar

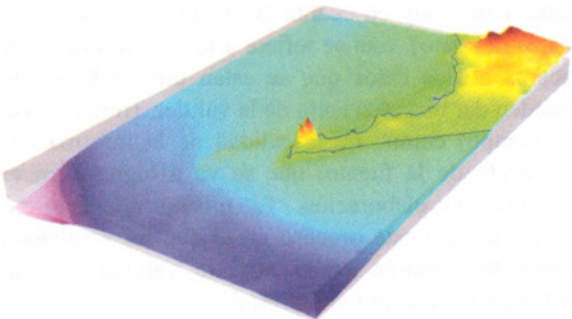


Figura 8. Modelo digital del terreno de la península de Santa Elena, con una exageración vertical de 5x en la altura

Tal como se mencionó anteriormente, en la Tabla 2 se presentan las correcciones realizadas a los datos de batimetría y topografía, considerando la coincidencia que debe existir entre la línea de costa, el nivel medio del mar y la referencia vertical.

	h	Zo
La Libertad	1,056	1,315
Data	1,073	1,342
Posorja	1,170	1,437
Cascajal	1,498	1,847
Pto. Bolívar	1,356	1,689
Púna	1,694	2,073

Zo: Distancia vertical desde el Nivel medio del mar, hasta el nivel de reducción de sondas

h: Distancia vertical desde el nivel medio del mar hasta el promedio de la pleamar

Tabla 2. Diferencia promedio de los niveles de referencia verticales (Fuente: INOCAR)

El Tsunami de 1953

El 12 de diciembre de 1953 ocurrió un sismo cercano al límite entre Ecuador y Perú localizado en las

coordenadas 3° 24' 00" S y 80° 36' 00" W de magnitud 7.3, (Geophysical Data Center (NGDC), Askew 1985, Silgado 1978), las evidencias indican que los efectos del sismo se sintieron en mayor cantidad en el Perú en las poblaciones de Tumbes, Corrales, y en Ecuador en Celica, Azoguez, Malacatos², escasamente se tienen datos de un tsunami local que hay golpeado las costas, pero si se conoce que hubo un aumento de amplitud de 20 cm en el nivel del mar en el mareógrafo de la Libertad (Ecuador) y en el de Talara (Perú) lo cual indica su existencia, asimismo se tiene el dato que el sismo provocó un tsunami lejano que arribó al poblado japonés de Tomikazi,³ llegando a registrar un Runup de 1.8 mts sobre el nivel del mar, aunque no se han registrado victimas este dato da una idea de la intensidad del tsunami. A pesar de que los datos investigados no indican a que tipo de magnitud se refiere, vamos asumir que el 7.3 es Mw, que es la magnitud asociada al momento sísmico, y que es para el caso de modelación de tsunamis la que se utiliza. Con este dato y con las formulas mencionadas anteriormente se utiliza un SIG en el que se ha integrado la información del NGDC con la del Mapa del margen continental Centro y sur de Ecuador: batimetría, relieve, reflectividad acústica e interpretación geológica (IRD-INOCAR-IG/EPN 2006), de tal manera de inferir la probable dimensión de la falla y su dirección.

Plano de falla	Dislocación (1) (Obtenido de las formulas y SIG)	Dislocación (2) (Modificación en negrilla)
Longitud (Km)	69	90
Profundidad (Km)	30	10
Strike (azi°)	15°	15°
Dip°	30°	30°
Rake°	90°	90°
Slip (m)	1.4	6
Mo (dyne cm)	1.109x10 ²⁷	6.48x10²⁷
Mw	7.3	7.8
Coordenadas de la esquina SW	3.69° S 80.77° W	3.69° S 80.77° W

Tabla 3. Datos obtenidos a partir del SIG y de las formulas, respecto a los posibles parámetros de la Falla

El dato del strike (dirección) se asume siguiendo la configuración de las interpretaciones de fallas geológicas, así como también de la suposición de un ángulo que permita al frente de onda emprender su desplazamiento hasta el lugar donde se registró el valor mas alto de Runup (Japón). El ángulo dip (de buzamiento) se asume en virtud de no poseer información respecto a refracción sísmica, en el que se pueda visualizar alguna fisura de la corteza terrestre. Además se considera el suceso de una falla tipo inversa, en el que la deformación cosísmica produce la activación de la falla con un ascenso (uplift) de la misma.

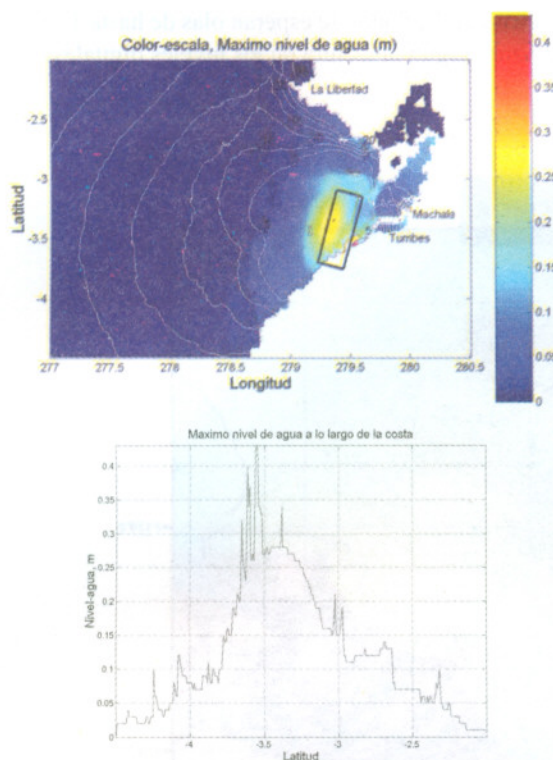


Figura 9. Máximo nivel alcanzado por la ola tsunamigénica, a nivel regional, en 2 horas de simulación

El tsunami sintético generado, con los datos de Dislocación 1, tiene un tiempo de arribo de 5 minutos a las poblaciones peruanas de Zorritos y la Cruz, 10 minutos a Puerto Bolívar, 25 a Salinas-Libertad, la altura máxima de la ola es de 0.4 m sobre el nivel del mar, esto es en las poblaciones peruanas, que se encuentran mas cercanas al sismo.

Del análisis SIG con la lectura de los niveles digitales, se obtiene que el máximo nivel alcanzado cerca de la Libertad fue aproximadamente 08 cm y en Talara 15 cm, mientras que el registro histórico indica que fueron 20cm esta diferencia se puede considerar aceptable dado que el valor del ángulo de buzamiento(dip) y desplazamiento(rake) fueron asumidos y estos tienen vital importancia en el direccionamiento del frente de onda, asimismo se tiene la evidencia paleo-tsunamigénica de Villamil Playas en donde se encontraron depósitos sedimentarios de hace 1250 años y cuyos límites probables de inundación son similares a los que obtuvieron en la modelización del tsunamis sintético.⁴

Ampliando los efectos de inundación sobre la ciudad de Machala, en dos horas de simulación se puede observar que no se encuentran mayores inundaciones salvo pequeños incrementos del nivel del mar en la parte de la entrada al Estero Santa Rosa, y al NW del Canal de acceso a Puerto Bolívar con un incremento de 50 cm, esto nos explica porque razón no existe mayor

evidencia histórica respecto a ese tsunami, ya que no se ve mayor afectación sobre las zonas habitadas, sin embargo valida la información obtenida por el modelo numérico. (Ver Figura 10)

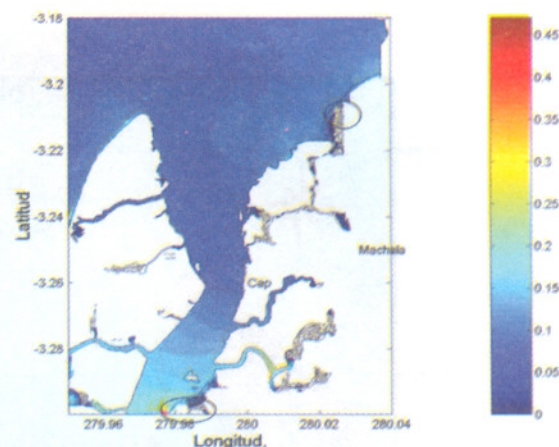


Figura 10. Mapa de inundación de Machala con Dislocación(1), las áreas en círculos son áreas no habitadas

Mientras que los efectos en la ciudad de Salinas parecen imperceptibles de acuerdo a la modelación del tsunami sobre esa área, de igual manera se puede visualizar como las olas van arrojando la Península de Santa Elena, producto del efecto de refracción de las olas. (Ver Figura 11)

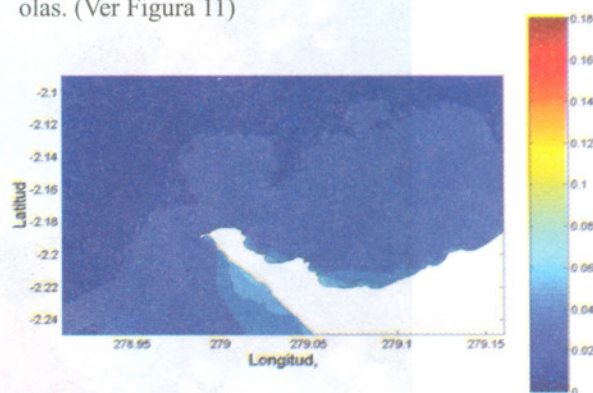


Figura 11. Inundación de Salinas, con dislocación (1)

Siguiendo con el proceso, se modifica los parámetros de la falla de tal manera de extremar las condiciones, hasta un punto razonable, para obtener un mayor efecto del tsunami sobre las áreas de estudio y se realiza nuevamente la simulación. La información obtenida es convertida en formato de dato raster de Arcgis y se utiliza para la Elaboración de la Carta de Inundación que se presenta en las Figuras 12 y 13, una vez superpuesta la información obtenida por el modelo con la información que representan las geoformas, se obtiene una mejor apreciación de la inundación respecto a las entidades geográficas.

En el Mapa Digital de Inundación de la Figura 12 se pudo apreciar como la cresta de la onda se visualiza en

el instante de mayor momento sobre la ciudad de Machala inundando en mayor proporción la zona sur del estero, y como sobrepasa la zona poblada cercana

a la Capitanía, donde se esperan olas de hasta 1 metro de altura según la lectura de los niveles digitales.

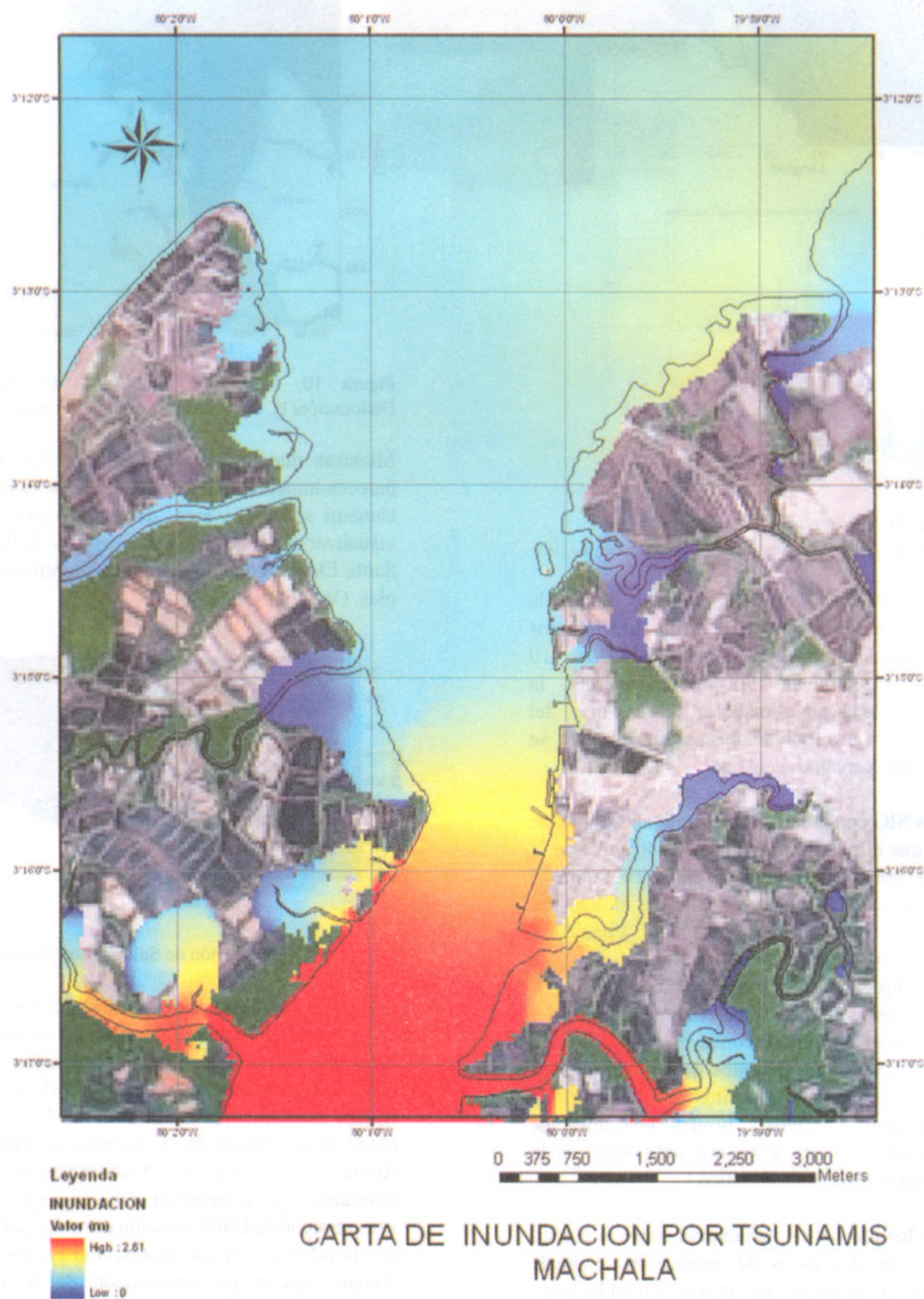


Figura 12. Mapa Digital de Inundación de Machala, con dislocación (2) de la Tabla 3

De la misma manera se realiza la modelación de la inundación sobre el área de Salinas a fin de utilizar estos datos para la elaboración del Mapa Digital de Inundación de la Figura 13. En este caso se tiene la

ventaja de poseer varias fotos aéreas, que sobreponiéndolas sobre la inundación y los datos vector, dan una idea mas clara de cómo se presentaría la inundación.

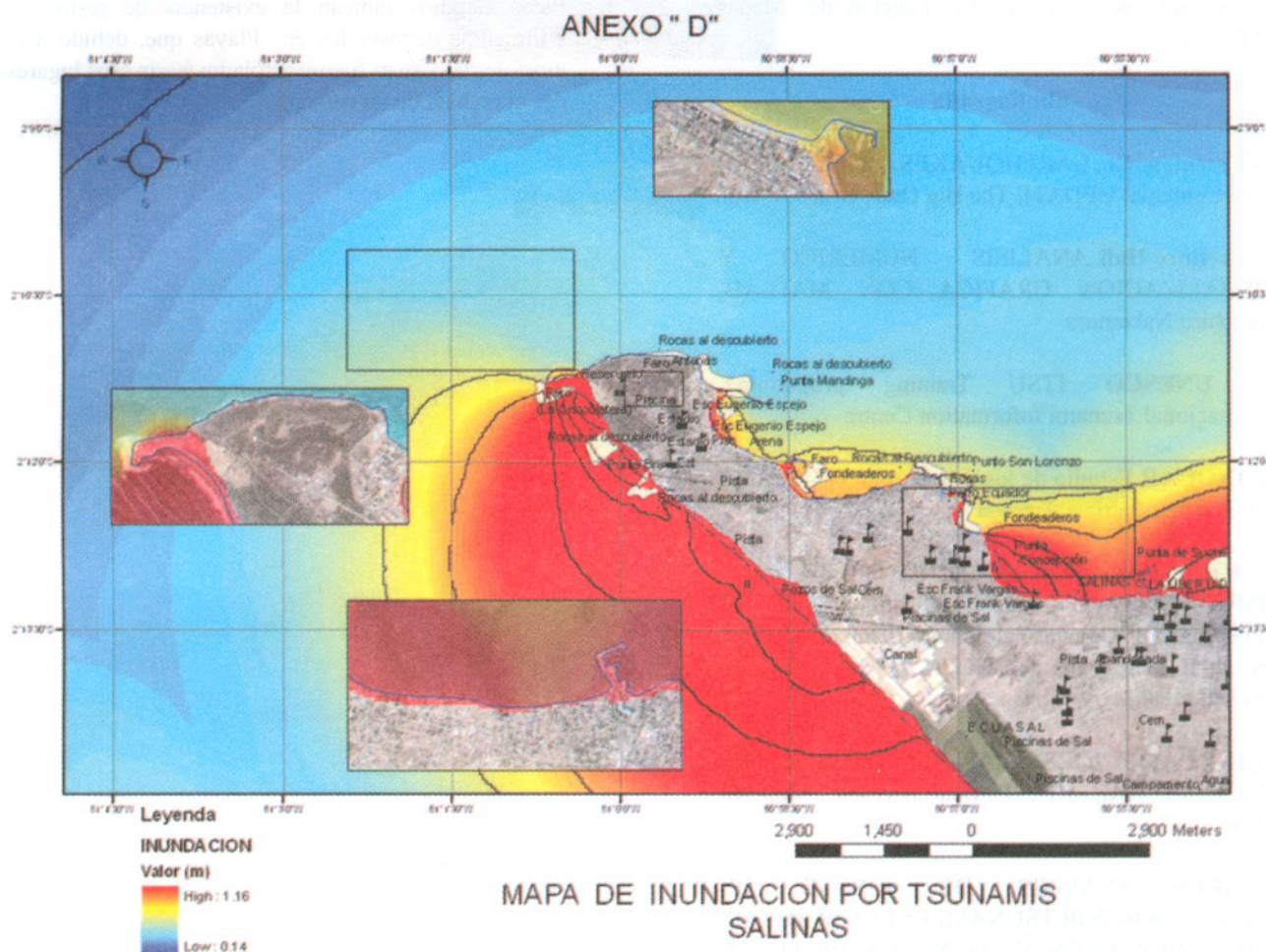


Figura 13. Mapa Digital de Inundación de Salinas con dislocación (2) de la Tabla3

Conclusiones

La modelación numérica de tsunamis por sí sola, no responde a las interrogantes que plantea la problemática tsunamigénica, si entendemos que el objetivo de estudiar este fenómeno parte de la necesidad que tiene la sociedad, en conocer cuales serian las afectaciones que tendría en caso de que un evento de esta naturaleza sucediera, es responsabilidad del investigador proponer soluciones, a fin de que los resultados de la investigación propicie participen de la solución del problema. Partiendo de esta premisa básica, la metodología presentada en este documento participa de una buena parte de la solución del problema, ya que la integración de más cantidad de información relacionada geográficamente facilita el entendimiento de la problemática que se engloba tras

la inundación provocada por un tsunami, de ahí que el conocimiento logrado con el estudio de estos fenómenos y la utilización de herramientas modernas, permitirá la optimización en el uso de los recursos que se poseen, permitiendo además otorgar mejores productos a la sociedad, que en el caso de modelos de inundación por tsunamis pueden ser utilizados para desarrollar proyectos de Gestión de Riesgos en las zonas estudiadas.

Es importante hacer notar que las áreas inundadas en los mapas digitales, representan solo un porcentaje de la determinación de zonas de peligro en estas ciudades, estos mapas digitales deben ser fortalecidos con otro tipo de estudios a fin de establecer zonas de riesgo de tsunamis más categóricas; en los que se incluyan datos de catastro, número de habitantes, análisis de

recurrencia tsunamigénica, puntos de refugio, hospitales, colegios, datos de suelo, etc. Afortunadamente, la representación gráfica de los modelos de inundación en Mapas digitales (SIG), permitirá la integración de estos datos, con toda la información necesaria para la realización de Mapas de Riesgo.

Bibliografía

1.- **Freeman. Co.** EARTHQUAKES, Fifth Edition 2006 Centennial UPDATE The Big One , Bruce A. Bolt

2.- **Pretince Hall** ANALISIS NUMERICO Y VISUALIZACION GRAFICA CON MATLAB, Shoichiro Nakamura

3.- **UNESCO** ITSU Training programme, Internacional Tsunami Information Centre

4.- **INOCAR** Estudio de los tsunamis en la Costa Sur del Ecuador, Patricia Arreaga

5.- **IOC** NUMERICAL METHOD OF TSUNAMI SIMULATION WITH THE LEAP-FROG SCHEME, C. Goto and Y. Ogawa, F. Imamura, IUGG/IOC Time Project IOC Manuals and Guides No. 35 UNESCO 1997 (English)

6.- **INOCAR / CICESE** MAPPING THE POSSIBLE TSUNAMI HAZARD, Patricia Arreaga, Modesto Ortiz

7.- **GEOS** ANALISIS DE RIESGO DE INUNDACION POR TSUNAMI EN PUNTARENAS, COSTA RICA, GEOS, Vol.21, No. 2, p. 108-113, M. Ortiz, M. Fernández-Arce y W. Rojas

8.- **IGEPN** EL SISMO DE BAHIA DEL 4 DE AGOSTO DE 1998: CARACTERIZACION DEL MECANISMO DE RUPTURA Y ANALISIS DE LA SISMICIDAD EN LA ZONA COSTERA, 2001 Mónica Segovia

⁽¹⁾El Sismo de Bahía del 4 de agosto de 1998: Caracterización del mecanismo de ruptura y análisis de la sismicidad en la zona costera, Mónica Segovia.

⁽²⁾The 12 Dic, 1953 Earthquake, Ms 7.3, Ecuador-Peru border region: A Case Study for Applying the New INQUA Intensity Scale, Kervin Chunga.

⁽³⁾Dato obtenido de la Base de Datos "Historical Tsunami Database for the Pacific, Novosibirsk Tsunami Laboratory".

⁽⁴⁾Evidence of a tsunami deposit from about 1250 yr B.P. Gulf of Guayaquil, Ecuador, Kervin Chunga, Jean Dumont, Diego Iturrlade, Martha Ordóñez .

Estos estudios indican la existencia de restos de sedimentos depositados en Playas que, debido a la morfología costera fueron arrojados hasta esos lugares por el embate de un tsunami.