

## INFORME DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO DE LOS EFECTOS DEL TSUNAMI DE JAPÓN MARZO 2011, EN LAS ISLAS GALÁPAGOS

Willington Rentería<sup>1,2</sup>  
Patrick Lynett<sup>1</sup>  
Robert Weiss<sup>1</sup>  
Giorgio De La Torre<sup>2</sup>

### **RESUMEN**

*Este informe contiene los resultados de dos campañas científicas realizadas para determinar los efectos físicos del impacto del Tsunami de Honshu, Japón, sobre las Islas Galápagos. Esta investigación de campo se llevó a cabo en dos etapas, la primera del 7 al 10 de Abril y la segunda del 3 al 15 de Mayo del 2011, y consistió en el reconocimiento y toma de datos en los puntos más afectados, que fueron determinados de acuerdo al modelamiento numérico, realizado para este efecto.*

### **ABSTRACT**

*This report contains the results of two scientific surveys conducted to determine the physical effects of the impact of the Tsunami of Honshu, Japan, on the Galapagos Islands. This field research was conducted in two stages, the first from 7 to 10 April and the second from 3 to May 15, 2011, and consisted in the recognition and data capture in the most affected areas, whose were determined according to numerical modeling, conducted for this purpose.*

---

1 Texas A&M University

2 Instituto Oceanográfico de la Armada

## INTRODUCCIÓN

El día 11 de marzo del 2011 a las 05:46:23 UTC (10 de marzo 11:46:23 PM Hora Local, Galápagos) se generó un terremoto de magnitud 9.0 Mw., en la región de la costa oriental de Honshu, Japón; su epicentro fue localizado en las coordenadas 38.32 N 142.36 E a una distancia de 129 Km. de Sendai, Honshu (Japón) y a una profundidad de 32 Km., [USGS, 2011]. Este sismo de grandes proporciones generó un tsunami transoceánico que alcanzó las costas de varios países al otro lado del Pacífico, sin embargo la mayor parte de los daños fueron registrados en las ciudades costeras de Japón.

Este sismo ha sido catalogado como el cuarto más fuerte en la historia mundial y el más fuerte registrado en Japón desde que los sismos comenzaron a registrarse en 1900 [NGDC, 2011].

Desde 1990, la comunidad científica dedicada a la investigación de los tsunamis se ha enfocado en la toma de datos de los efectos que los tsunamis producen en las localidades costeras. Esta toma de datos se concentra en la obtención de las medidas de la altura de la ola al momento de su impacto sobre la línea de costa, para esto se considera las líneas de marcas de agua, escombros y sedimentos marinos que se van encontrando en mencionados lugares. Asimismo, con estas observaciones y considerando algunos factores relevantes, se va documentando como se supone habría sido el flujo de agua y el transporte de sedimentos al momento del impacto, esta información es inferida a partir de las características de los depósitos de sedimentos encontrados y el reconocimiento de la morfología costera.

El propósito de este documento es presentar los resultados de la investigación de campo realizada para documentar los efectos del

tsunami producido por el terremoto de Honshu sobre las endémicas costas de las Islas Galápagos. Esta investigación se llevó a cabo por un Equipo Internacional para el Levantamiento de Datos Tsunami, conformado por científicos y técnicos de la Universidad de Texas A&M, EEUU, del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador y del Parque Nacional Galápagos. La terminología utilizada para las distintas definiciones se ha realizado, considerando los términos convencionales emitidos por el Centro Internacional de Información sobre Tsunamis (ITIC por sus siglas en inglés) de la UNESCO.

## ANTECEDENTES

Los datos de corriente de la estación del 02 de marzo de 2011 durante el segundo crucero oceanográfico realizado a bordo ADCP en las coordenadas y, en donde se pudo obtener información de la dirección y velocidad de las corrientes hasta una profundidad de 21 metros con un estado de marea de flujo durante un periodo de 4 horas y 25 minutos, tiempo en el cual se registró una velocidad máxima promedio de 0,15 m/s y una velocidad mínima promedio de 0,11 m/s con un predominio en la dirección de la corriente hacia el Sur.

Luego de sucedido el terremoto, el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (por sus siglas en inglés, PTWC) emitió los distintos comunicados de alerta a los puntos focales de los países integrantes del Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico, entre ellos el Instituto Oceanográfico de la Armada con su Centro Nacional de Alerta de Tsunamis. Inmediatamente fueron recomendadas las acciones a la Secretaría Nacional de Gestión de Riegos, quien por su parte recomendó al Presidente de la República la evacuación de las localidades costeras.

Dada la disposición presidencial, las autoridades en las Islas Galápagos dispusieron las siguientes acciones: Evacuación de la población de las ciudades costeras hacia las zonas altas de las islas, la paralización de las actividades marítimas y la evacuación de todas las embarcaciones mar afuera a profundidades de hasta 200m. Estas acciones se llevaron a cabo en el lapso de diez horas, tiempo que se estima, desde que fue emitida la disposición por parte del Presidente hasta el arribo de las olas del tsunami, de tal manera que al momento del impacto, habían sido reducidos al mínimo los factores de riesgo que hubiese incrementado los daños sobre las costas y su población.

Gracias a estas acciones, las olas del tsunami impactaron sobre desoladas costas que quedaron marcadas por la energía del tsunami, sin causar ninguna víctima en la población. Sin embargo, la interacción de las olas más allá del margen intermareal, provocó efectos aun no estudiados sobre el frágil ecosistema de las islas. Entre estos efectos se pueden citar el daño sobre los nidos de tortugas, localizados sobre dunas de arena a lo largo de las playas afectadas. El incremento del nivel del agua afectó también a la vegetación asentada sobre la línea de costa, por consiguiente a todas las especies dependientes de estas. Asimismo se encontró depósitos de sedimentos marinos en lagunas de agua salada cercanas a la línea de costa, sedimentos que sin duda que modifican su configuración.

En razón de que el objetivo de este documento es documentar solamente los efectos físicos del impacto del tsunami, los detalles mencionados anteriormente buscan llamar la atención de la Comunidad científica a fin de estudiar el rol

que ha tenido el impacto de los tsunamis sobre la evolución de las islas, especialmente en su componente biológica.

## **REGISTRO DEL TSUNAMI EN LAS ISLAS**

El impacto del Tsunami en las Islas Galápagos se registró mediante los mareógrafos existentes en la Isla Baltra y la Isla Santa Cruz. Otro registro consiste el desplazamiento de las Boyas de ayudas a la navegación ubicadas en el Canal de Itabaca, entre la Isla Baltra y la Isla Santa Cruz. Asimismo y de oportunidad la velocidad del flujo de agua pudo registrarse gracias a un perfilador acústico de corrientes colocado en la rada de Puerto Ayora. Todos estos registros constituyen una gran herramienta para el análisis de los efectos del impacto del tsunami sobre las islas. A continuación se realizará una breve discusión de estos hallazgos.

Debido a la escasa disposición de mareógrafos sobre las Islas, se desconoce cuál fue el primer punto de contacto de las Islas con las perturbaciones causadas por el tsunami, sin embargo el primer registro del impacto del tsunami lo realizó el mareógrafo de la Isla Baltra, aproximadamente a las 1730 pm. hora local, de acuerdo al análisis realizado por la sección Mareas del Instituto Oceanográfico de la Armada. Del perfil registrado se destaca que la primera onda que arribó hasta el mareógrafo lo hizo con su cresta positiva, es decir no hubo un retroceso de las aguas como es común en ciertos arribos de tsunamis, y se pudo además apreciar un aumento sostenido del nivel del mar en esta locación.

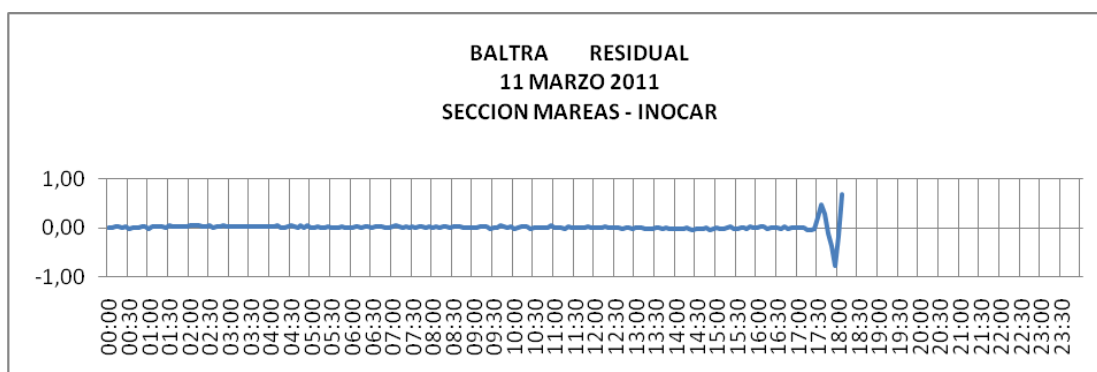


Figura 1 Arribo del Tsunami registrado en el mareógrafo de Baltra

El personal del Centro de Alerta de Tsunamis del INOCAR realizó el seguimiento en tiempo casi real de la evolución del tsunami y su arribo a las Islas Galápagos, usando la información de

la red de Monitoreo del Nivel de Mar del IODE<sup>1</sup> (IOC Oceanographic Data Exchange, por sus siglas en inglés). Sus capturas se pueden observar en la Figura 2.

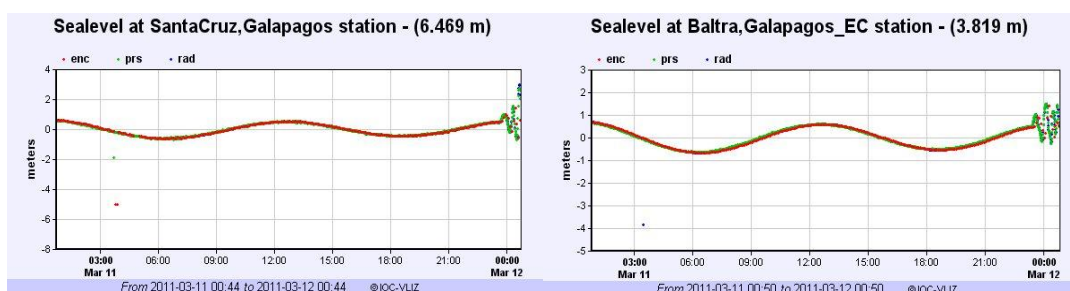


Figura 2 Capturas del monitoreo en casi tiempo real, del arribo de las olas a los mareógrafos, Sta. Cruz(Izc) y Baltra(Der)

El desplazamiento de las boyas de ayudas a la navegación debido al tsunami, es el primer registro de esta naturaleza en aguas ecuatorianas, y su documentación por parte del personal del CIMAG constituye un valiosísimo aporte para el análisis de la energía descargada por el tsunami sobre las islas. Las boyas desplazadas tienen su ubicación en el Canal de Itabaca, debiéndose reposicionar un total de 8 boyas de ayudas a la navegación.

Del informe técnico presentado por el personal del CIMAG, se destaca que la boya # 1 que fue desplazada 560 m., se encontraba sin su peso muerto por lo que la distancia desplazada puede verse influenciada por las corrientes

normales en el área, sin embargo el hecho de la ruptura del eslabón metálico del sistema de anclaje, que une el peso muerto de aproximadamente 1 Ton de peso con la boya, puede ser atribuido a la energía desatada por el tsunami al arribo a mencionado Canal, esta conclusión es inferida considerando el desplazamiento de las otras siete boyas.

| BOYAS | DISTANCIA DESPLAZADA |
|-------|----------------------|
| # 1   | 560 m                |
| # 2   | 435 m                |
| # 3   | 75 m                 |
| # 4   | 15 m                 |
| # 6   | 110 m                |
| # 8   | 810 m                |
| # 9   | 253 m                |
| # 11  | 44 m                 |

Tabla 1 Distancia de desplazamientos de las boyas de ayudas a la navegación.

<sup>1</sup> Esta herramienta operacional ha sido desarrollada Flanders Marine Institute(VLIZ) y ODINAFRICA, en el marco del Proyecto IODE, mayor información: <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org>

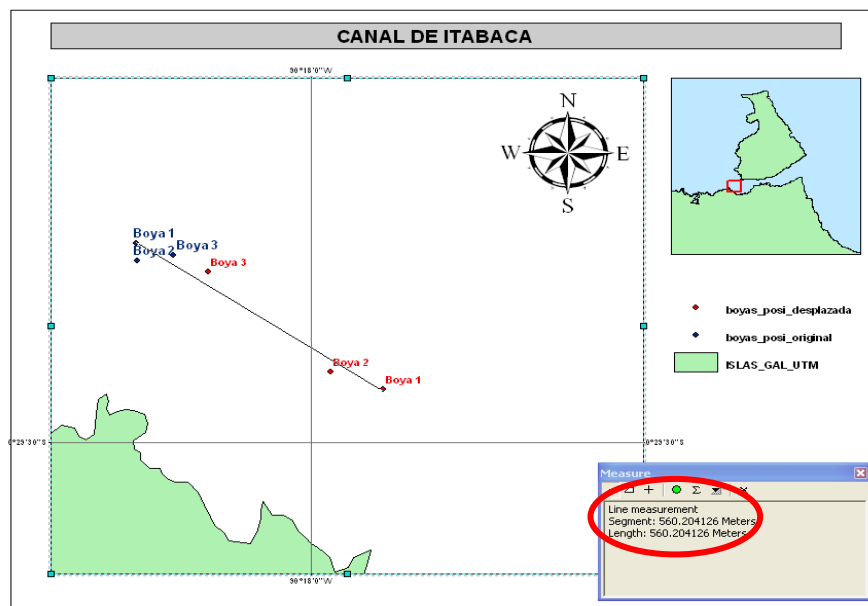


Figura 3 A la izquierda se puede apreciar la maniobra de reposicionamiento y a la derecha un mapa que muestra el Desplazamiento de las Boyas desde su posición original.

Es importante destacar que una boya de ayuda a la navegación, consiste en una estructura metálica de aproximadamente 1.5 Ton de peso y que su sistema de anclaje compuesto por una cadena metálica y una estructura de hormigón, conocida como peso muerto, pueden llegar a pesar hasta 4 Ton.

Otro hito importante es el registro del arribo del tsunami mediante el perfilador acústico de

corriente, que es un dispositivo que mide la velocidad del flujo del agua. Los datos de este equipo, conocido normalmente como ADCP, instalado en la rada de Bahía Academia en Puerto Ayora Galápagos, corresponden a la recolección permanente del flujo medidos desde del fondo a la superficie en una profundidad de 7 metros en bajamar y 7,50 a 8 metros en pleamar. Las coordenadas de ubicación son  $0^{\circ}44'57''S$  ;  $90^{\circ}18'24,6''W$ .

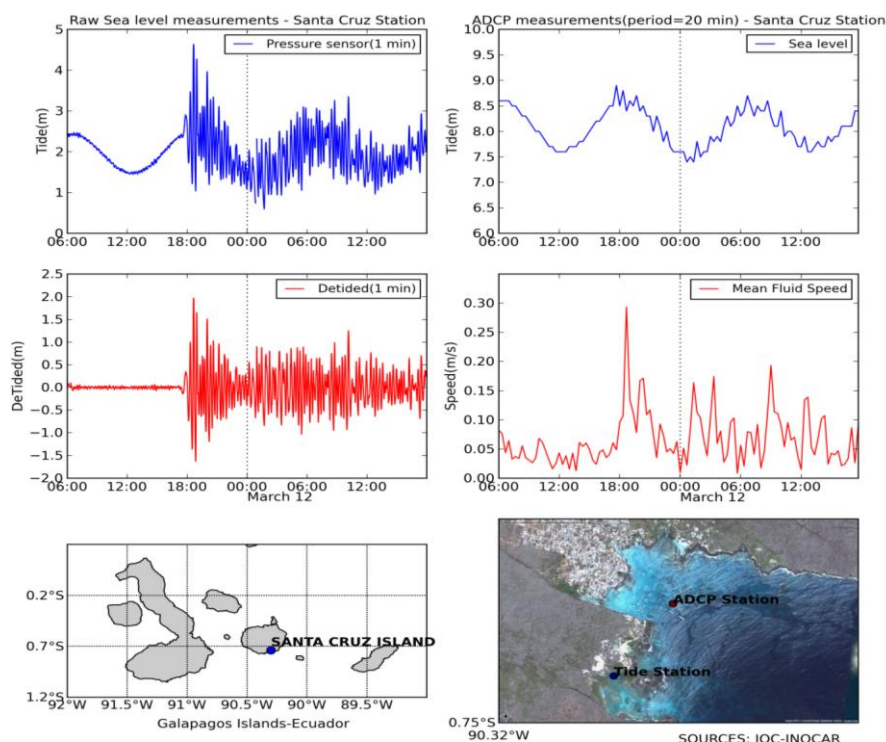


Figura 4  
Perturbaciones del nivel del mar y  
velocidad del fluido captados en la  
Puerto Ayora (Isla Santa Cruz)

Aun cuando el equipo ADCP está configurado para tomar datos cada 20 minutos, su información refleja claramente la actividad hidrodinámica luego del arribo del tsunami. En la Figura 4, se observa las señales captadas tanto por el ADCP como por el mareógrafo de Santa Cruz, que luego de aislar las señales de alta frecuencia, permiten visualizar la señal de la actividad tsunamigénica, dándonos un aumento del nivel del mar de 2 metros al nivel de la marea al momento del impacto, y un incremento en la velocidad del fluido de 0.3 m/s ( $\sim 2$  Nudos).

## METODOLOGÍA

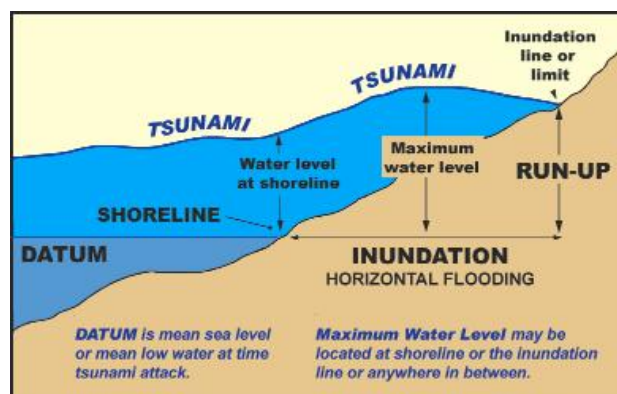
### BASE CONCEPTUAL

Inicialmente cuando se produce un sismo en el subsuelo marino, la base del fondo del mar empuja la columna de agua que se encuentra justo sobre ella, la energía se transfiere a la columna de agua que produce también una elevación en la superficie del mar, toda esta energía potencial adquirida se transforma en energía cinética al propagarse horizontalmente produciendo la onda del tsunami.

Esta onda se propaga de dos diferentes maneras, la primera que se aleja al océano y la segunda que se acerca a la costa. Aquella que se aleja al océano es capaz- dependiendo de la magnitud - de viajar miles de kilómetros y cruzar mares enteros y arribar a costas distantes, de allí que se le conoce como Tsunami lejano, su velocidad está en función de la profundidad del océano y la gravedad, siendo que no importa la magnitud del tsunami, su velocidad de propagación será la misma. La onda del tsunami que se acerca a la costa, recibe el nombre de Tsunami local.

Cuando la onda del tsunami llega a la costa la amplitud se incrementa y se reduce su longitud de onda debido a la reducción de la profundidad. Las aguas del tsunami penetraran la costa dependiendo de la morfología costera y de la energía con la que este haya sido generado; a la 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 5.

Figura 5 Esquema de las características de un tsunami, al momento de impacto sobre las costas, ITIC2009



El run-up se convierte en un dato muy importante para el estudio y análisis de tsunamis, este permite determinar cuál fue la intensidad y fuerza del tsunami al momento de arribar a las costas. Otro dato lo constituye la inundación horizontal, este efecto puede alcanzar cientos de metros tierra adentro, pues muchas veces el ingreso del agua es ayudada por las pendientes planas de la topografía del área y la configuración costera, ésta se mide a partir de la línea de costa, aunque de manera convencional, también se lo refiere al nivel medio del mar, para hacerlo coincidir con la medición del run-up.

### INSTRUMENTOS

El equipo utilizado para medir la distancia tanto horizontal como vertical es un telémetro láser, la precisión de este instrumento depende

de varios factores, entre los cuales se puede citar calidad de los blancos que serán medidos, y que depende de la distancia a la que estos se encuentran; asimismo se debe mencionar que la utilización o no de un trípode para fijar las mediciones afectará la precisión alcanzada. De

manera general, tanto para mediciones verticales como horizontales, debe considerarse un margen de error de  $\pm 30\text{cm.}$ , en cada una de las mediciones (Manual del Usuario-TRUPULSE).

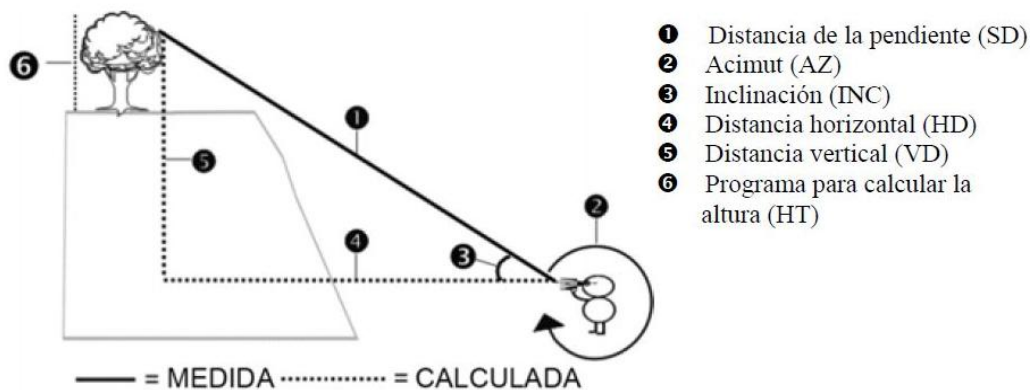


Figura 6: Esquema de medición del Telémetro láser. Fuente: TRUPULSE Manual de usuario

Además se utilizó una regla, para medir la altura de las marcas de agua sobre el nivel del mar, así como para medir la altura de objetos que hayan quedado suspendidos debido al flujo del tsunami. También se utilizó un GPS convencional y una cámara fotográfica con GPS incorporado para una correcta georeferenciación de las imágenes captadas de cada lugar visitado.

## MÉTODOS DE CAMPO

Para la planificación de los lugares que serían visitados en el campo se utilizó las predicciones obtenidas del Modelo COMCOT. Este modelo resuelve las ecuaciones de aguas someras mediante el esquema de solución numérica conocida como “salto de rana”, y tiene la característica de consolidar hasta 4 dominios numéricos refinados mediante grillas hacia un área geográfica específica. Para el presente caso, solamente se utilizaron dos grillas, la mayor que cubre gran parte del Océano Pacífico con una resolución de 2 minutos y la de mayor resolución de 30 arco-

segundos sobre las Islas Galápagos. Las condiciones iniciales fueron tomadas de la solución de la falla finita provista por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés). La Figura 7 muestra las máximas elevaciones del nivel normadas a una referencia de un metro, predichas para las Islas Galápagos, por el Modelo COMCOT. Debido a la gruesa resolución sobre las islas, no se puede apreciar la magnitud del run-up sobre la línea de costa. Para una predicción de run-up se requiere una batimetría y topografía de alta resolución que permita una modelación detallada de los perfiles de playa y morfología costera; así las predicciones numéricas cerca de la línea de costa serían mejores para interpretar las máximas amplitudes alcanzadas por el tsunami. Aunque la Figura 7 no permite determinar el run-up por lo anteriormente expuesto, esta permite sin embargo detallar que zonas podrían experimentar una mayor altura de ola, los puntos de visita fueron planificados sobre estas áreas.

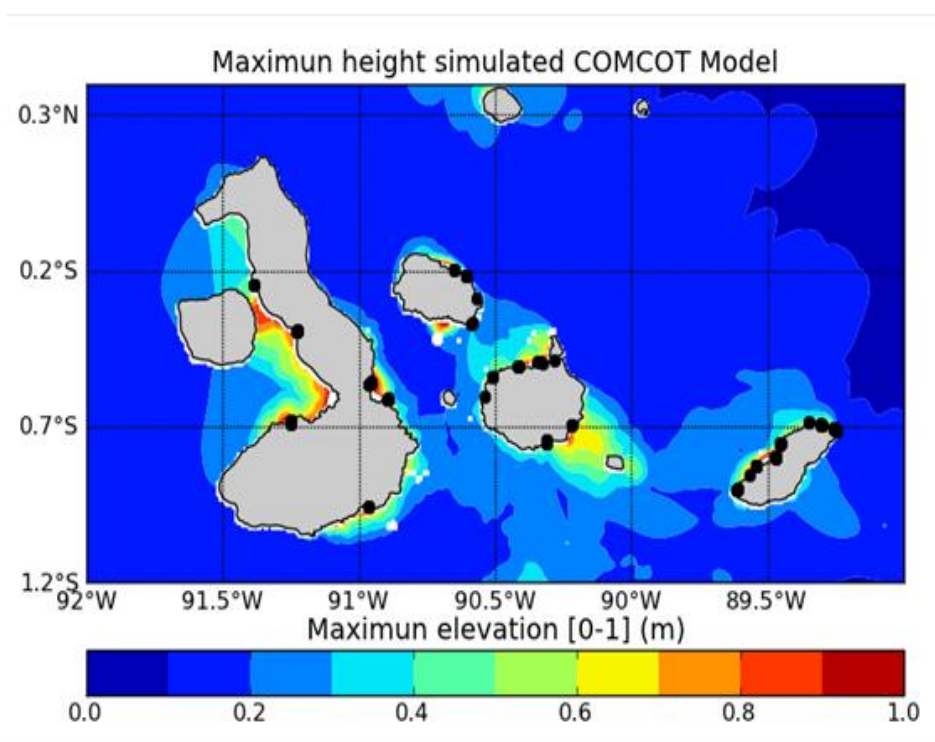


Figure 7 Resultado del modelo numérico COMCOT, los puntos negros representa los lugares de visita

Una vez que han sido determinados los posibles lugares que experimentaron una gran altura de ola, el siguiente procedimiento consiste en la visita de campo. Para la determinación de los efectos del tsunami se requiere cierto grado de experiencia, especialmente cuando ha pasado mucho tiempo luego del impacto. El personal que conformaba el equipo contaba con experiencia de levantamientos en otros lugares, como aquellos que fueron devastados por el evento de Sumatra del 2004.

Existen varias maneras para determinar si un lugar fue o no afectado por el tsunami, la determinación al final dependerá de la validez de las evidencias que permitan llegar a tal conclusión, de ahí que el propósito del equipo es encontrar alguna evidencia que permita sostener científicamente que el lugar fue o no afectado por el Tsunami. Dentro de las evidencias que se pueden constatar en el campo, se pueden citar las marcas de línea de agua, tanto en la playa como en estructuras costeras tales como las paredes de alguna

vivienda, muelles u otra estructura. También se realiza la observación de existencia de escombros, plásticos, y ramas secas colgadas sobre árboles, las mismas que constituyen evidencia física del flujo de un tsunami, el que se supone provocó esta reubicación de estos objetos a esas alturas. Finalmente, el depósito de sedimentos marinos así como de escombros y basura de mar, encontrados más allá de la línea de costa permiten inferir que su fuerza movilizadora fue efectivamente la de un tsunami.

De la misma manera como en cartografía se utiliza la marca de agua dejada por la más alta marea para definir la línea de costa, en el levantamiento de datos tsunami, se utiliza esta marca para definir tanto el run-up como la distancia horizontal de inundación. La Figura 8, muestra una clara diferenciación de estas líneas en una de las playas visitadas, en este caso estas se refieren a tres posibles eventos, que podrían ser la más alta marea, la marca dejada por los últimos aguajes y los niveles alcanzados por el tsunami.

Las notas de campo recogen todas las observaciones sobre el lugar, así como cualquier otra información que permita un mejor análisis de los datos recogidos. En especial de incluye la información respecto al terreno donde se realizaron las mediciones, para poder realizar una diferenciación de cada uno de ellos, por ejemplo es necesario diferenciar entre una medición sobre una duna, que aquella que se realizase sobre marcas de fluido que sobrepasaron el lado no expuesto al mar de la duna. Esta información es muy importante para un análisis más profundo y específico del lugar.



Figura 8 Diferenciación de las líneas de marcas de agua de marea, aguaje y tsunami.

Otro tipo de marca consiste en las líneas de agua sobre las paredes de viviendas que se encuentran en las ciudades costeras. En la Figura 9 se puede apreciar esta marca sobre la pared de una vivienda en Puerto Ayora.



Figura 9 Línea de marca de agua sobre la pared de una vivienda en Puerto Ayora.

La existencia de pequeños troncos, ramas secas y objetos flotantes, colgados sobre árboles, dan indicio de la existencia de un flujo de agua que permitió que estos elementos queden en posición permanente en estos lugares. Esta evidencia va acompañada de otras muestras de flujo como la decoloración de la vegetación y la evidencia de daños sobre las estructuras costeras. No siempre es sencillo poder determinar este tipo de evidencia, sin embargo al pericia de los observadores permite asociar diferentes rasgos y concluir si estos se deben o no al flujo de aguas producido por el tsunami.



Figura 10 Medición de la altura de ola a partir de ramas secas colgadas sobre los árboles.

El depósito de sedimentos marino, troncos y basura de mar, más allá de la línea de costa es una evidencia del impacto de un tsunami. La fotografía de la Figura 11 muestra una gran cantidad de rocas esparcidas sobre la costa, así como también una gran cantidad de troncos secos, todos ellos lejos de la línea de costa.



Figura 11 Depósito de rocas producido por el Tsunami, el tamaño de los escombros permite inferir la energía del impacto

## RESULTADOS DE LEVANTAMIENTO DE DATOS

Los resultados de este levantamiento recogen los datos obtenidos durante las dos visitas de campo que el equipo realizó a las Islas Galápagos, la primera del 07 al 09 de Abril del 2011 y la segunda del 04 al 15 de Mayo del

2011. Tal como se puede observar en la Figura 12 y de acuerdo a los datos levantados, durante el tiempo entre la primera y segunda visita de campo, ocurrieron dos aguajes, que pudieron contaminar las evidencias de los efectos del tsunami sobre las islas, este hecho ha sido una consideración no menor al momento de evaluar las evidencias encontradas.

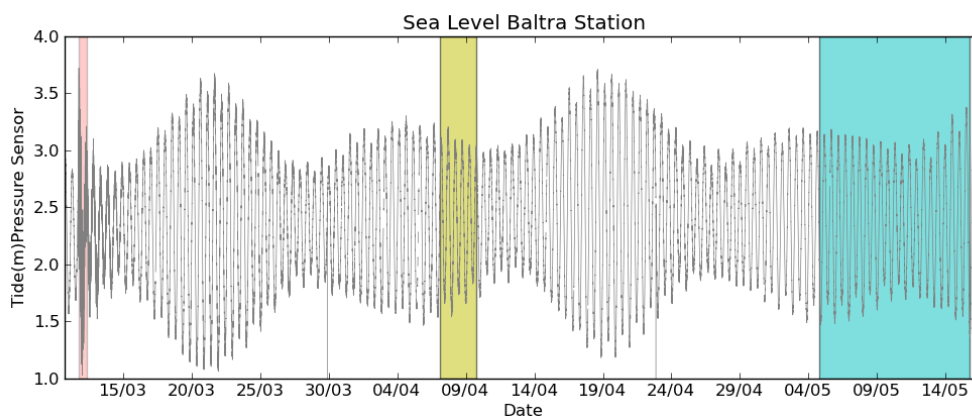


Figura 12 Sinopsis del Nivel de Marea en Baltra, la franja rosa representa la fecha de ocurrencia del tsunami, la amarilla y celeste las fechas de las dos visitas de campo realizadas a las islas. Nótese, los dos aguajes que sucedieron al tsunami.

Asimismo, es importante recalcar que los datos de las alturas del tsunami fueron corregidos al nivel de la marea al momento del impacto. En algunos de los lugares visitados fue muy difícil establecer una diferencia entre las marcas de los efectos de tsunami de aquellas dejadas por estos aguajes. Sin embargo, en algunas locaciones, donde las marcas de agua dejadas por el tsunami fueron ampliamente superiores de las de los aguajes, fue posible inferir cual fue la máxima elevación del nivel del mar producida por estos, en efecto en unas cuantas playas fue posible identificar que de ambos aguajes, el primero fue el que mayor inundación del mar causó sobre la costa. A lo largo de las playas parcialmente protegidas, los niveles alcanzados por los aguajes fueron de aproximadamente de 1.0 m. sobre el nivel de la máxima marea; y en lugares no protegidos estos valores alcanzaron hasta 2.0 m. Estos valores pueden ser usados para inferir la magnitud relativa del tsunami comparado con el máximo nivel de marea y las elevaciones de

las marcas de agua encontrada en el levantamiento.

Todas las mediciones presentadas en este documento son corregidas al estado de la marea al momento del impacto del tsunami. De los registros mareográficos de las estaciones de las islas Baltra y Santa Cruz, se obtuvo que la máxima ola, fuera la segunda y la tercera respectivamente para cada isla, su arribo se registró a las 18:00:00 en Baltra y las 17:38:00 en Puerto Ayora, para ambos casos hora local. Tanto los armónicos de marea predichos como los niveles de marea observados en ambas estaciones, son equivalentes en 1 cm. debido a esto y a que ambas estaciones no están ampliamente separadas en el espacio, las alturas registradas se interpretan como sobre el remanente de agua existente al momento del arribo de las grandes olas, así como más allá del nivel de la máxima marea para el momento del impacto del tsunami.

Es importante destacar, que para el levantamiento de datos en los lugares lejanos, se consideró la información mareográfica de estas estaciones (Baltra y Santa Cruz) que existe en el programa XTide, a fin de obtener las predicciones armónicas y con esta realizar la corrección a la marea al momento del impacto; este procedimiento fue ampliamente utilizado en el levantamiento de datos de la Isla San Cristóbal, así como también en la Isla Isabela y Santiago. Por tal motivo esto debe considerarse como un error introducido en la corrección por marea, dada la distribución espacial entre las islas. Del cómputo realizado para establecer la diferencia entre el rango de marea en Isla Baltra y San Cristóbal, se observó que la máxima diferencia entre el dato observado en Baltra y predicho en San Cristóbal es de aproximadamente 7 cm, un valor similar fue encontrado a través de todas las islas, y este valor fue utilizado para la corrección final de los datos levantados en cada punto.

La Figura 13 muestra una representación de los datos de run-up y elevación de flujo encontrados durante el levantamiento de datos. El valor más alto de altura de ola, fue encontrado al oeste de la Isla Isabela, con un valor de 6.12 de elevación de flujo, tomado a 15 metros de la línea de costa, a una distancia aproximada de 7 Km del punto conocido como Punta Moreno; para efectos de diferenciar este lugar del resto de puntos visitados, este sitio fue denominado “Playa Tsunami”.

Es importante destacar la diferencia entre el termino runup y elevación flujo, el primero establece un punto claramente definido en el que se puede apreciar además de la altura que alcanzó el agua de mar, la distancia horizontal de inundación; mientras que cuando se emplea el término flujo de elevación, se establece que las evidencias muestran marcas de aguas o rasgos de flujo a través de la línea de costa, sin

poder establecer claramente hasta donde avanzó el flujo de agua. Esta información se debe considerar para la lectura de las tablas del Anexo A, en donde se encuentra de manera detallada la información relacionada con cada sitio visitado. En este anexo también se puede encontrar el tipo de medición que se realizó, estas observaciones son de vital importancia para poder diferenciar entre cada uno de los datos, ya que recogen las apreciaciones de cada evidencia y que permiten inferir cual fue el comportamiento del flujo al momento del impacto.

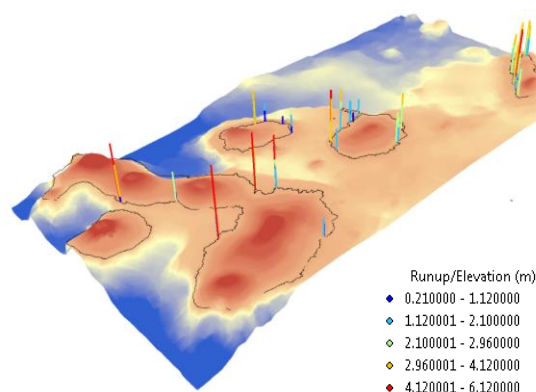


Figura 13 Datos de runup obtenidos durante el levantamiento de datos

## ISLA SAN CRISTÓBAL

La isla San Cristóbal se extiende en dirección NE y tiene una superficie aproximada de 558.09 km<sup>2</sup>, posee varias elevaciones, entre las que se destacan San Joaquín con 904 m. y Cerro Mundo con 304 m.,[INOCAR,2005]. Aquí en el extremo SO de la isla, se encuentra la capital de la Provincia de Galápagos, Puerto Baquerizo Moreno, en donde encuentra concentrada casi en su totalidad la población humana de la isla. Característica especial de esta isla es la gran cantidad de vegetación en la parte alta, y la existencia de una laguna de agua dulce localizada a 600 metros de altura aproximadamente.

Dada la ubicación de la isla, podría esperarse no significantes efectos debido a que se

encuentra parcialmente protegida por las demás ubicadas relativamente en dirección de la amenaza, sin embargo este no fue el caso, en esta isla se registraron los mayores efectos en términos de afectación al ecosistema, así como la mayor distancia de inundación horizontal. De igual manera podría esperarse, que los lugares más impactados se encuentren ubicados la parte sur de la isla, por ser la mayormente expuesta. Estos particulares efectos se deben básicamente a la gran influencia de las características batimétricas que rodean la isla, las mismas que influyeron especialmente en la parte norte de la isla, donde el borde costero está rodeado por kilómetros de aguas poco profundas, y cuya configuración produce que la refracción direcciona hacia la playa toda la energía que se transmite a través del norte y oeste de la isla. Mientras que la parte sur se caracteriza por algunas playas que inmediatamente se conectan con las aguas profundas y que poseen un gran ángulo de aproximación de las olas, estas dos características combinadas permiten que la refracción sea insuficiente para causar daño en el borde costero. Estas expectativas dadas por la peculiar configuración costera de la isla, son consistentes con los resultados del modelamiento numérico, así como los testimonios de la población que presenciaron los efectos del tsunami.

La Figura 14 muestra la distribución de los puntos visitados en esta isla, así como también los valores obtenidos como runup e inundación horizontal, en cada uno de ellos. Como se puede apreciar, estos están distribuidos a lo largo del flanco NE de la isla, ubicación que obedece a los resultados del modelo numérico. En la parte norte existe una gran densidad de puntos, y es debido a la accesibilidad que tienen estas playas, en donde se aprovechó para levantar la mayor cantidad de información; siguiendo hacia el sur por el este, los desembarcos se realizaron principalmente sobre los lugares en los que era posible hacerlo y donde se esperaba encontrar gran cantidad de datos, evitando caletas de manglares y acantilados rocosos.

Los datos que se representan en el mapa da abajo, son las mediciones de runup y elevación de flujo en el lado derecho, y en la parte izquierda la barra de colores indica la distancia horizontal medida desde la línea de costa, la que en caso de ser medida sobre un runup, establece la máxima inundación horizontal, como es el caso de esta Figura 14. Asimismo se encuentran ploteados los diferentes puntos con tamaños y colores proporcionales a la distancia horizontal registrada en cada punto.

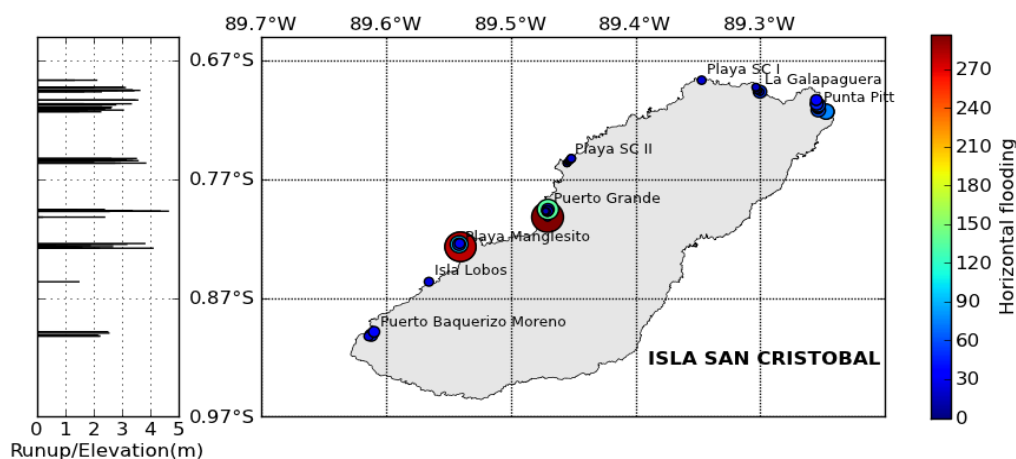


Figura 14 Representación de la elevación de flujo (izq.) y distancia horizontal de inundación dada por la coloración de cada punto (derecha) en la isla San Cristóbal.

A continuación se realizará una descripción sobre los hallazgos en cada punto, tratando de resaltar las observaciones que se consideren más importantes.

### **Puerto Grande**

Está conformada por una caleta semi-cerrada, abrigada al norte por una extensión, la separa del mar. Ubicada en la costa centro-oeste de la isla, aquí se registró la mayor inundación horizontal de todas las islas, con un valor aproximado de 296.2 m. la altura en la que se tomó esta marcación fue de unos 2.8 m., este dato corresponde a un runup que fue medido tierra adentro en una proyección de la bisectriz de la caleta; es además el lugar que refleja el mayor impacto del tsunami sobre las islas. Las fotografías tomadas, tanto los días en los que se realizó el levantamiento, como aquellas que fueron tomadas por el personal del Parque Nacional Galápagos, reflejan la violencia con la que las olas ingresaron tierra adentro, causando todo tipo de daños a su paso. La Figura 15 muestra un canal formado por el ingreso de las aguas, esta fotografía fue tomada un día después del impacto del tsunami.



Figura 15. Entrada de Puerto Grande, Fuente: Parque Nacional Galápagos.

Dentro de las observaciones realizadas en este punto, se destaca la gran cantidad de energía liberada por el impacto del tsunami, que se

evidencia sobre el daño de la vegetación producida por el flujo de las aguas. La máxima elevación producida por el tsunami en esta área fue de 4.7 m., medidos sobre una playa rocosa en la punta que abriga a la caleta, esta medición se realizó a unos 13 m de la línea de costa. Los canales formados, por el ingreso de aguas conectaron la parte norte con la caleta, y se caracterizan por el depósito de rocas, arena y sedimentos marinos, distribuidos por una muy irregular topografía, evidencian una gran actividad hidrodinámica, tal como se puede apreciar en la fotografía de la Figura 16, la misma que fue captada el día posterior al impacto del tsunami. Es importante destacar que para el día en el que se realizó el levantamiento de datos, la cantidad de arena visible fue muy inferior a la que se aprecia en las fotografías, esto posiblemente por la influencia de lluvias y viento, que ocurrieron los días posteriores al tsunami.



Figura 16 Fotografía tomada al interior de Pto Grande, nótese la gran cantidad de arena depositada sobre rocas, y que ciertamente fue arrastrada por el tsunami. Fuente: Parque Nacional Galápagos.

### **Manglecito (Punta Bassa)**

Compuesta por dos grandes playas, de topografía plana y seguida por una extensa vegetación, en su interior se puede apreciar una alguna da agua salada. El fondo marino de la rada es una mezcla entre rocas y arena, en la parte más cercana a la línea de costa. Aquí la distancia de inundación horizontal máxima fue

de 281.7 m., medidos desde la línea de costa a la parte trasera de una duna de arena, a una altura de 1.4m. esta medición constituye un runup. Mientras que la mayor altura de flujo fue de 4.1 m., medidos a una distancia de 25 metros de la línea de costa. La fotografía de la Figura 17(tomada el día posterior al tsunami), muestra la parte sur de Manglecito, aquí se puede apreciar el escarpe formada por el ingreso de las aguas tierra adentro.



**Figura 17** Fotografía de la playa sur en Manglecito, nótese el escarpe formado por el ingreso de las aguas. Parque Nacional Galápagos

La mayoría de las mediciones aquí se realizaron sobre las crestas de las dunas de arena, considerando las evidencias de flujo de agua sobre la playa y sobre la vegetación. Es importante considerar que el personal del Parque Nacional Galápagos y otras instituciones, procedieron a realizar una limpieza de esta área, inmediatamente los días posteriores al tsunami, especialmente por tratarse de un lugar turístico, por tal motivo no se pudo apreciar por ejemplo el tamaño de los las rocas arrastradas, ni evidencia de trocos u objetos esparcidos por la playa. Sin embargo, dada la cantidad de energía con al que el tsunami arribó a este lugar, aun prevalecían los daños a la vegetación, así como el depósito de arena al interior de la laguna. La fotografía de la Figura 18 muestra estas evidencias captadas los días del levantamiento.



**Figura 18** Fotografía de la playa sur en Manglecito, nótese la vegetación inclinada en la dirección del flujo.

Otros lugares visitados tales como Isla Lobos, Punta Pitt y la Galapaguera, registraron valores menores a los encontrados en Puerto Grande y Playa Manglecito, estos valores se pueden encontrar en el Anexo A de este documento, donde se encuentran las coordenadas geográficas de cada punto, con los correspondientes valores encontrados, para todas las islas.

### **Isla Lobos**

Es una pequeñísima isla ubicada al SO, separada por un estrecho canal de la isla San Cristóbal, aquí se pudo apreciar que el agua sobrepasó la pequeña isla, dejando como evidencia las muestras de flujo sobre la vegetación, con esto se pudo determinar que la elevación de flujo fue alrededor de 1.5 m.

### **Playa SCI (San Cristóbal I)**

Tanto esta playa como las otras que se van a revisar, tienen esta abreviación tomada del nombre de la isla, en su denominación, debido a que no se posee un registro toponímico que permita determinar cómo debe ser llamado. Este sitio está ubicado en el extremo norte de la isla hacia el oeste, es una playa pequeña de arena, con escasa vegetación. Aquí se pudo determinar un máximo runup de 1.3 metros con una distancia horizontal de inundación de 22.3

m., medidos detrás de la cresta de la duna de la playa.

### Playa SC II (San Cristóbal II)

Ubicada en la parte norte del Cerro el Brujo, es una extensa playa arenosa de casi 1 km de longitud, caracterizada por una duna alta de arena. En este sitio se midió un máximo de elevación flujo de 3.9 m. a una distancia de 15.3 m. de la línea de costa. Mientras que la máxima inundación horizontal fue de 20.1 m. medidos sobre las evidencias de flujo a unos 2.6 m., tal como se puede apreciar en la fotografía de la Figura 19.



**Figura 19**  
Medición de la distancia de inundación sobre la playa SC II

### La Galapaguera

Este sitio se encuentra en la costa centro norte de la isla. La franja de playa es relativamente angosta, pero con una duna bastante alta como para separar el ambiente de playa de la vegetación. Los depósitos de arena gruesa y algunas rocas pequeñas, permitieron determinar el alcance y altura de las olas. La máxima inundación horizontal en este sitio fue de 52.3 m. medidos justamente en la parte trasera de la duna, la altura del punto donde se realizó la medición fue de 1.7 m. La máxima altura registrada fue de 3.7 m., que se midieron a unos 16.1 m. de la línea de costa en una marca de flujo.



**Figura 20** Depósito de sedimentos marinos en una medición de runup en la Galapaguera

### Punta Pitt

Ubicada en el extremo NE de la isla, es una extensión de casi media milla hacia el mar y se caracteriza por la existencia de un cerro de aproximadamente 278 m. de altura. Durante el recorrido se pudo observar gran cantidad de troncos secos y depósitos marinos, arrojados más allá de la línea de pleamar, así como rasgos de vegetación afectada por el incremento del nivel mar.

### Puerto Baquerizo Moreno

Esta ciudad puerto asentada en la Bahía Naufragio, capital de la Provincia de Galápagos, es un fondeadero natural con una gran cantidad de embarcaciones menores y algunas de tamaño mediano, especialmente de características logísticas. Los efectos del impacto del tsunami sobre la población y la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, no fueron mayores, excepto por la inundación provocada por el arribo de las olas, la misma que no causó un mayor daño. Los testimonios recogidos sobre la población testifican que el arribo de los olas dejó marcas de agua similares a las de un aguaje normal. Las mediciones realizadas en Puerto Baquerizo Moreno muestran una máxima inundación horizontal a una distancia de 46.9 m. y una máxima elevación de flujo de 2.6 m., ambos en diferentes puntos. La Figura

21 muestra una de estas mediciones realizadas considerando el testimonio de la población respecto de cuál fue el nivel del agua alcanzado tras el impacto del tsunami.



Figura 21 Medición de la inundación horizontal, tomada de acuerdo a testimonios de la población sobre las marcas de agua encontradas luego del impacto del tsunami.

## ISLA SANTA CRUZ

La isla Santa Cruz está ubicada prácticamente en el centro del Archipiélago. Posee una gran cantidad de recursos turísticos, siendo esta la principal actividad en la isla. Tiene una superficie de 985.6 km<sup>2</sup> y su altura máxima es 860 m. [DEM, 2011], su aspecto geométrico es predominantemente circular. La parte alta de la isla se caracteriza por abundante vegetación, que la hace diferente de la parte baja más cercana al mar. En la parte sur de la isla se encuentra Puerto Ayora que es la ciudad que concentra la mayor parte de la población, y a su

vez es la ciudad que presenta mayor actividad humana en toda la provincia de Galápagos.

Al norte de la isla se encuentra isla Baltra, la que se encuentra separada solamente por un estrecho canal llamado Itabaca. Los efectos del tsunami fueron ampliamente notorios en esta isla, no solo por las evidencias físicas resultados del impacto de las olas, sino debido a que a diferencia de las otras islas, aquí se pudo registrar instrumentalmente el arribo de las olas tanto al sur como al norte de la isla. El mareógrafo de Baltra, que se encuentra al norte y el mareógrafo de Santa Cruz al sur, registraron con diferentes sensores, el arribo de las olas con un periodo de 1 minuto, logrando captar todas las perturbaciones y su permanencia en el tiempo. Asimismo, aunque con un periodo mayor, el ADCP de Santa Cruz permitió captar cada 20 minutos la velocidad (magnitud y dirección) y temperatura del agua de los momentos del impacto del tsunami. También se puede mencionar, la deriva de las boyas de ayuda a la navegación que existen en el Canal de Itabaca, las que de acuerdo al reporte del INOCAR tuvieron que ser reubicadas en sus posiciones originales luego del tsunami. Todos estos registros permitirán un análisis detallado del comportamiento de las olas al impacto con las islas.

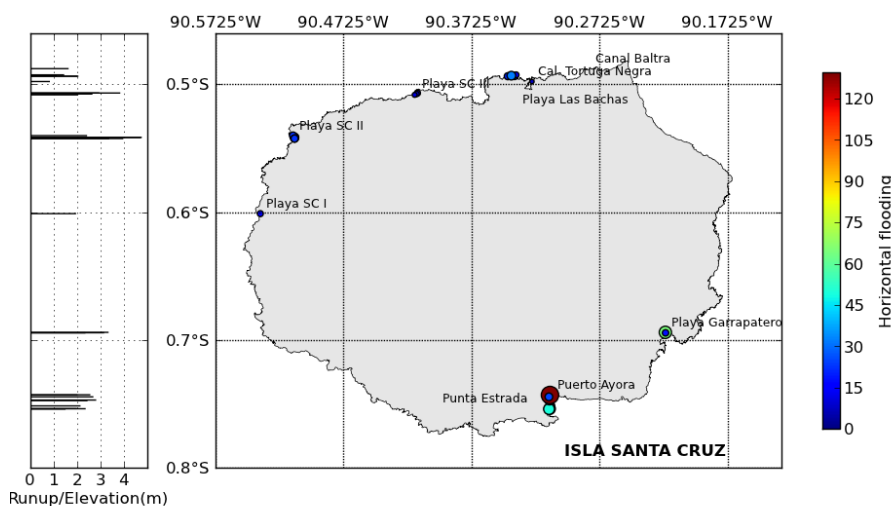


Figura 22 Representación de la elevación de flujo (izquierda) y distancia horizontal de inundación dada por la coloración de cada punto (der.) en la isla Santa Cruz

La Figura 22 muestra un mapa con la representación de los datos levantados en la isla. El valor más alto de elevación se encontró en el denominado sitio SC II (Santa Cruz II), con un valor aproximado de 4.8 m. Mientras que el valor máximo de inundación se registró en la ciudad de Puerto Ayora con un valor de 129.5 m.

A continuación se realizará una descripción sobre los hallazgos en cada sitio, tratando de resaltar las observaciones que se consideren más importantes.

### **Playa SAC I (Santa Cruz I)**

Es una playa en forma de arco, ubicada en la costa oeste de la isla. Dada la terminación del bajo de playa en una pared vertical erosionada y cubierta de vegetación, fue muy difícil establecer una diferencia entre las evidencias de tsunami y de los agujeros, por lo que se concluyó que las marcas encontradas pertenecen a las dejadas por los agujeros. Las marcas encontradas fueron de 2 m. de altitud y la máxima distancia medida desde la línea de costa fue 15.3 m.

### **Playa SAC II (Santa Cruz II)**

Ubicada en la costa noroeste de la isla, se caracteriza por la mezcla de fondo rocoso y arenoso en la anteplaya y por la existencia de dos lagunas en el cordón litoral, ubicadas tras las dunas de arenas que también la caracterizan. El valor más alto de runup observado fue de 4.8 m. medidos sobre la cresta de una duna con una distancia horizontal de inundación de 29.5 m. Los hallazgos permitieron observar que el fluido pudo sobrepasar la duna, pero en una muy pequeña cantidad, sobre esta localidad. No se encontró una evidencia fuerte, que permita concluir que el tsunami pudo depositar

sedimentos marinos sobre las lagunas, además que, como se pudo observar la magnitud del viento es bastante fuerte y suficiente como para arrastrar pequeños sedimentos y esparcirlos por todo el sitio.

### **Playa SACIII (Santa Cruz III)**

Esta playa ubicada también al noroeste de la isla, se caracteriza por tener una forma de arco y la existencia de una laguna en cordón litoral. Los hallazgos encontrados fueron gran cantidad de rocas pequeñas, esparcidas más allá de la línea de la pleamar y con tamaño y peso suficiente como para ser movilizadas por el tsunami. Se pudo apreciar que las dunas de baja altura fueron fácilmente sobrepasadas por el tsunami. La medición de flujo de elevación más alta fue de 3.8 m. a una distancia de 14.4 m. de la línea de costa. El resto de puntos levantados, fueron ubicados sobre la cresta de dunas a lo largo de la playa con flujo que no pudo sobrepasar la duna y que su altura osciló entre 2 y 3.8 metros.

### **Playa Las Bachas**

En la playa Las Bachas, se observó un run-up de 1.1 con una distancia horizontal de inundación de 32 m., sin embargo, también se pudo apreciar que en algunos lugares el agua probablemente sobre sobrepasó las dunas existentes, teniendo estas una altura aproximada de 2 m. La altura máxima de estas mediciones fue de 2.1 m medidos sobre la cresta de una duna a una distancia de horizontal de 21m.

### **Caleta Tortuga Negra**

Sobre el lugar conocido como Tortuga Negra, no se pudo apreciar claramente un valor elevado de runup, en vista que esta pequeña

bahía es ocupada ampliamente por manglares. Sin embargo, escasas señales de estacas y vegetación seca, permitieron inferir una elevación de flujo hasta unos 0.8 m.

### Canal de Itabaca (Baltra)

Las mediciones realizadas sobre las marcas de agua que se encontraban en las estructuras que existen en el Canal de Itabaca, permitieron establecer un máximo de flujo de elevación de 1.6 m.

### Playa El Garrapatero

En este sitio, la medición realizada en la caseta del Parque Nacional Galápagos, muestra un flujo de 0.90 m de altura. Aquí se pudo apreciar que la playa fue fuertemente erosionada por el impacto del tsunami, dejando como resultado la formación de canal de aproximadamente 29 metros de ancho con una la altura media de 1.3 m., que fue medida sede el suelo base en el escarpe, como se puede apreciar en la fotografía de la Figura 23. Asimismo se pudo observar que la laguna existente en el cordón litoral se vio conectada con el mar, esta afirmación se concluye luego de observar sedimentos marinos a lo largo del canal y depositados en la laguna. La distancia desde la línea de costa hasta la laguna es de 115.3 m



Figura 23 Playa El Garrapatero, escarpe que da paso al canal formado por la erosión causada por el impacto del tsunami

Sobre la parte de la playa que no fue afectada por la formación de este canal, las máximas mediciones de flujo de elevación fueron de 3.3 m. con una inundación horizontal de 64.7m. las mediciones del flujo de elevación se realizaron considerando las marcas de agua en la caseta del PNG.

Mediciones realizadas sobre el borde costero, alejados de esta modificación a la morfología, permitieron extraer una runup máximo de 2.4 m. y una distancia de 18 m.



Figura 24 Playa El Garrapatero, canal formado por la erosión durante el impacto del tsunami

### Punta Estrada

Las mediciones realizadas para este sitio se realizaron en la ruta de acceso a la estación de marea. Aquí se encontraron sobre algunas puertas, marcas de agua que indicaban la altura que había alcanzado el agua. La determinación clara de los límites de inundación horizontal fue difícil, debido la cantidad de vegetación existente, aunque la existencia de escombros denotaban la cantidad de energía con la que el tsunami impactó el área, esto se puede observar en la fotografía de la Figura 25, donde además se aprecia la destrucción de un puente de madera que era utilizado para transitar por el área.



Figura 25 Daños producidos por el impacto de las olas, en la ruta a Punta Estrada.

La medida de runup más alta sobre esta área fue de 2.4 m. con una inundación horizontal de 55.1 m. Algunas marcas de agua sobre las puertas de las viviendas existentes en el área, permitieron establecer un flujo de agua.



Figura 26 Daños producidos por el impacto de las olas, en la ruta a Punta Estrada.

## Puerto Ayora

Sobre las mediciones en la ciudad, fue muy difícil establecer un runup, ya que las marcas de agua (algunas difícilmente visibles) se perdían sobre las viviendas o simplemente los propietarios las habían borrado. Considerando las marcas de agua existentes, se pudo establecer un máximo de flujo de elevación de 2.8 m., y en otra medición se obtuvo un máximo de inundación horizontal de 129.5 m.

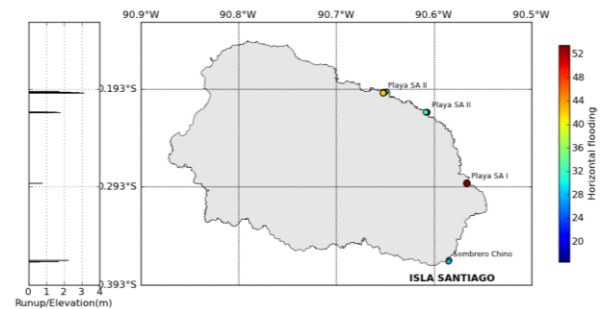
La Figura 27 muestra una de las mediciones realizadas, tomando como referencia una línea

de marca de agua encontrada sobre una de las construcciones existentes en Puerto Ayora.



Figura 27 Medición del run-up realizada sobre una línea de marca de agua en la ciudad de Puerto Ayora-

## ISLA SANTIAGO



Santiago está formada por dos volcanes y cubre un área aproximada de 600 km<sup>2</sup>. La isla tiene un buen número de playas de arena algunas de ellas abiertas al turismo ubicadas tanto al este como al oeste de la isla. La costa norte y sur es en gran parte rocosa, pero hay un grupo de playas de arena con acceso restringido pero seguro para embarcaciones pequeñas.

De acuerdo con las predicciones del modelo COMCOT, las máximas altura de olas deben encontrarse a lo largo de la costa central del norte y en una franja relativamente estrecha de la costa sur central. En estas zonas, las aguas costeras poco profundas se extienden relativamente más hacia mar adentro. Se debe mencionar además, que no fue posible visitar la sección sur de Santiago, por lo que no se pudo evidenciar los efectos físicos y por consiguiente no se pudo establecer si los patrones de altura

modelados son razonables en esta área. A continuación la revisión de cada sitio visitado.

### Sombrero Chino

Esta es una pequeña isla llamada así a causa de un fuerte pico central de forma similar a la forma cónica de estos sombreros (Coolie). Según el modelo, la altura del tsunami esperada en esta área sería relativamente baja. Los puntos visitados en esta área se encuentran dentro de un canal que separa Sombrero Chino de la Isla Santiago, de esta manera se puede presumir que esta fue relativamente protegida del impacto del tsunami. Las playas son muy cortas, con menos de 15 metros horizontales de playa de arena, tras la cual se encuentran estructuras rocosas de flujo de lava en bruto, la vegetación consiste en pastos bajos y arbustos. En este lugar no se encontraron señales claras de la inundación del tsunami, lo cual es concordante con el modelo, que predijo bajas alturas de ola para esta área.

A pesar de que se encontraron tres marcas claras de sedimentos marinos depositados más allá de la pleamar, las tres dieron elevaciones inferiores al umbral de marea de aguaje determinado anterior-mente. Bajo esta apreciación, se puede concluir con seguridad que la elevación máxima del tsunami fue menos de 2.0 m., la más alta de estas marcas fue de 2.3 m. medidos a 28.5 m. de la línea de costa.

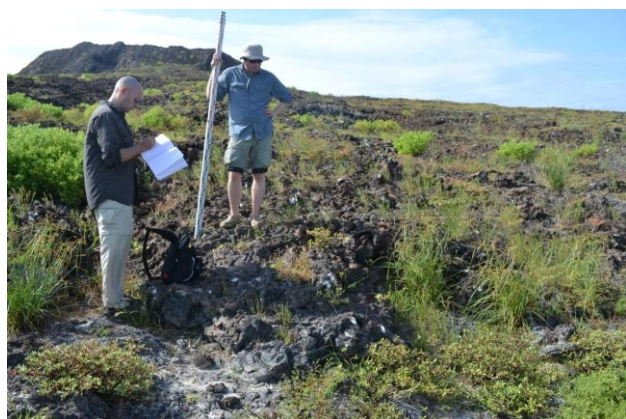


Figura 28 Depósitos de sedimentos marinos encontrados en la playa de Sombrero Chino

### Playa SA I (Santiago I)

En esta playa ubicada en la costa noreste de la isla se encontraron varias marcas de inundación, pero todas estaban por debajo de la cresta de las dunas y por debajo de los nidos de tortugas, esta es una clara señal de que el tsunami no sobrepasó el nivel de la marea. Aunque, también se concluye que en este lugar la elevación máxima del tsunami fue menor de 2.0 m., los hallazgos encontrados son consistentes con las predicciones del modelo.

### Playa SA II (Santiago II)

Este punto de levantamiento fue dividido en dos sitios diferentes, y fueron los dos últimos lugares visitados, ambos ubicados al norte de la isla. El primero, una pequeña playa protegida por una barrera rocosa en forma de caleta, con una pequeña entrada de 25 metros de ancho, y una anchura aproximada de 130 m., la entrada estaba alineada con el centro de la caleta y la playa en forma de arco se distribuye simétricamente sobre esta línea central.

Aquí se encontró una marca de inundación provocada por el aguaje de 1.0 m. de alto. La playa tenía una duna baja con una elevación de 1,4 m en el centro y 1,1 m en las extensiones laterales. Se observa que el tsunami sobrepasó la duna en todas partes a lo largo de esta playa, además también se encontraron depósitos de arena fina extendidos a 20 metros más allá de la cresta de la duna, ver Figura 31.



Figura 29 Playa SA II, Sedimentos marinos, arena fina y escombros sobre el cordón litoral de la playa

En esta área se obtuvo una máximo de elevación flujo de 1.8 m. y una máxima distancia de inundación horizontal de 37.8 m. Los datos fueron tomados considerando las marcas de flujo encontradas en la vegetación ubicada en la parte trasera de la duna, aquí se encontraron profundidades de flujo máximo de 50 cm., medidos sobre el suelo. En este lugar no hubo una evidencia clara de la variación lateral de tsunami, es decir, a pesar de existir dos playas contiguas a la caleta, no se evidenció una interconexión entre las inundaciones, esto, probablemente debido a la reducida escala espacial de la playa en la caleta, en relación con la longitud de onda del tsunami.

El otro lugar 5.5 kilómetros al oeste y un poco más al norte, una playa de arena delimitada por afloramientos rocosos. Esta playa aparentemente es un sitio de anidación muy popular para las tortugas marinas, la cresta de la duna aparece ampliamente modificada por la actividad de anidamiento, pero esta alteración parece reciente. Debido a que este sitio es un lugar de reserva, no se puede concluir que exista una modificación importante sobre la duna, sin embargo las mediciones de flujo de elevación, permiten constatar, que el sistema de dunas fue sobrepasado por el tsunami, en toda su longitud. El valor más alto de runup fue de 3.2 m. medido sobre una distancia de 42.21 m. El valor máximo de inundación horizontal fue de 49.9 m.



Figura 30 Playa SA II, arena y evidencias de flujo en el cordón litoral de la playa

## ISLA ISABELA

Isabela es la más grande de las islas Galápagos, tiene un solo asentamiento poblacional que es la ciudad de Puerto Villamil. Las características costeras de esta isla, son básicamente unas cuantas playas de arena que se extienden entre playas rocosas y densos manglares, en general para toda la costa la anteplaya se caracteriza por afloramientos rocosos. El acceso a la mayor parte de los lugares es bastante restringido, y en la mayoría de los casos únicamente es posible con embarcaciones menores.

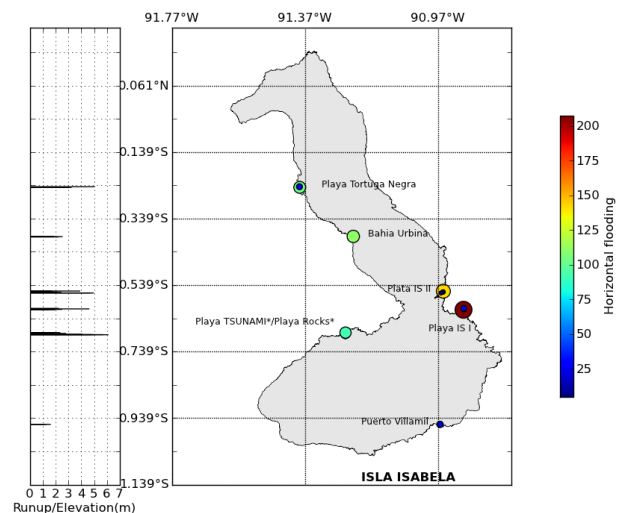


Figura 31 Representación de la elevación de flujo (izquierda) y distancia horizontal de inundación dada por la coloración de cada punto (derecha) en la isla Isabela

Los resultados del modelo numérico predicen una gran altura de ola en la costa central en los lados este y oeste de la isla, en puntos conocidos como Bahía Cartago y Bahía Elizabeth, respectivamente. En esta isla se registró el valor más alto de runup de todo el levantamiento, justamente en la costa oeste, a unos cuantos kilómetros de un sitio conocido como Punta Moreno. Una observación importante, es que debido a que en esta isla existen escasos sitios de visita (turísticos), la mayoría de las evidencias se encontraban intactas, sólo al vaivén de la naturaleza, esto facilitó tremendamente las mediciones. A

continuación se revisarán las notas de campo tomadas por casa sitio visitado.

### Playa IS I (Isabela I)

El primer lugar visitado en la Isla Isabela corresponde a la Bahía de Cártago. Sobre este lugar, el primer punto de desembarco fue en un sitio antes de entrar a la bahía, específicamente el extremo sur de esta, aquí la altura del flujo fue de 4.6 m. Debido al suelo rocoso la determinación clara de la inundación horizontal, fue un poco difícil, sin embargo se pudo apreciar que el agua logró avanzar a través de canales formados por la formación rocosa, alcanzando por estos canales una distancia horizontal 207.50 m. Las trazas más comunes corresponden a troncos de árboles arrastrados hasta estas distancias por las aguas del tsunami. Las mediciones se realizaron considerando estas evidencias, aunque es probable que el agua haya sobrepasado estos límites.



Figura 32 Playa IS I Cordon Litoral rocoso, las evidencias como troncos secos y sedimento marino, depositado sobre estas rocas

### Playa IS II (Isabela II)

Esta playa corresponde al extremo norte de la bahía de Cártago, en el trayecto era posible observar una fuerte diferenciación en el color de la vegetación sobre la línea de costa. Las marcas de inundación dejadas sobre los arboles (ramas y escombros colgando en la parte alta de los arboles), permitió constatar la altura de

ola alcanzada, esto fue posible gracias a los manglares existentes en el cordón litoral, el valor más alto de elevación de flujo fue de 3.9 m. La inundación horizontal no se pudo apreciar claramente debido a las formaciones rocosas detrás de los manglares, sin embargo la localización de sedimentos marino más allá de la línea de costa permitieron establecer un máximo de inundación horizontal de 148 m.



Figura 33 Playa IS II, Nótase la vegetación seca en la formación de manglares. Aunque no se aprecia bien en la fotografía, detrás de los manglares existe una formación rocosa (ígne) plana

### Playa IS III( Isabela III)

Este sitio es bastante cercano a la playa IS III y está ubicada un poco más al interior de la bahía. Las evidencias más claras del impacto del tsunami se encontraron sobre la vegetación existente en el cordón litoral, caracterizado por la formación de manglares. En este sitio se determinó una máximo de flujo de elevación de 5.0 m., que fueron medidos a una distancia de 11.7 m. desde la línea de costa.



Figura 34 Playa IS III medida del flujo de elevación, sobre evidencias en los altos de los arboles

## Playa Tortuga Negra

La playa Tortuga Negra, está ubicada sobre la costa que forma parte del canal que separa la Isla Isabela de la Isla Fernandina, aquí la altura aproximada del tsunami fue 5 metros, con una distancia de inundación de aproximadamente 103.5 m. El punto medido de 5 metros corresponde a la duna más alta en la playa, aquí se entiende que el agua pudo sobrepasar esta altura, pero resto fuerza para alcanzar la máxima inundación horizontal, la zona en la que se midió la máxima inundación horizontal, estaba protegida por una duna de aproximadamente 3 m. de alto, y sobre esta área se pudo evidenciar que el tsunami alcanzo parte de la vegetación existente.

Sobre la parte superior de la duna, podía observarse depósitos de sedimentos marinos, que evidencia el flujo que alcanzó a sobrepasar la altura de la duna.



Figura 35 Playa Tortuga Negra, la altura de la duna es de aproximadamente 3 m., esta fue sobrepasada por el tsunami

## Bahía Urbina

El siguiente punto fue la Bahía Urbina, aquí las máximas mediciones se obtuvieron en el centro de la bahía, con una altura aproximada de 2.5 m. y una distancia horizontal de inundación de alrededor de 111.4 m. Hacia el sur de la bahía las mediciones no pudieron ser realizadas debido a la inaccesibilidad para caminar sobre

la línea de costa. Hacia al norte de la bahía las mediciones de la bahía fueron menores. Sin embargo en esta zona se pudo apreciar movimiento de sedimentos y de roca esparcidas aleatoriamente, presumiblemente por la fuerza del tsunami.

## Playa Tsunami

Siguiendo hacia el sur, a unas 5 millas al norte de la Punta Moreno, un área determinada por el modelo COMCOT como de grandes alturas de olas, en el que se observó una altura de ola de 6.1 m., en este mismo punto no se pudo apreciar la distancia horizontal, ya que estaba compuesto por una barrera de manglares y tras de esta una barrera formada por escombros de flujo de lava, muy cerca de la línea de costa.



Figura 36 Lugar dónde se obtuvo la máxima altura de ola, a 5 millas al norte de Punta Moreno

De las observaciones se pudieron constatar gran cantidad de troncos secos y sedimento marino sobre las rocas.

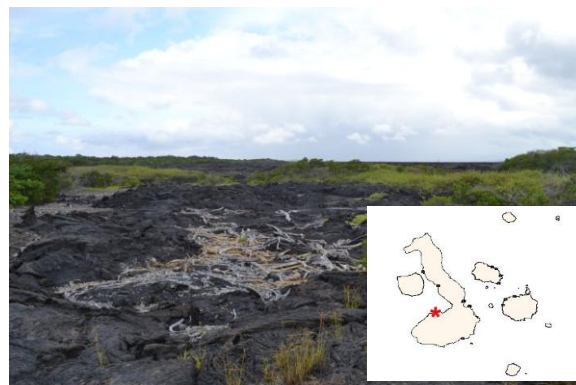


Figura 37 Troncos y objetos flotantes arrastrados más allá de la línea de costa

Sobre la misma línea un poco más al norte, el impacto de tsunami había dejado esparcidos sobre el área de playa, un gran número de rocas pequeñas distribuidas aleatoriamente.

En este sitio se pudo realizar una observación importante, normalmente sobre el impacto de un tsunami, las rocas grandes son primeramente impactadas y desplazadas tierra adentro por la fuerza de las olas, le siguen luego la arena y/o el sedimento más pequeño, estos usualmente son depositados sobre las rocas, demostrando que, sobre la disminución de la energía del impacto, el sedimento pequeño sigue siendo desplazado por olas más pequeñas; en este lugar sin embargo se pudo apreciar, sobre el perfil de la playa, que las rocas habían sido acumuladas sobre un pequeño acantilado que las aglomeró y el sedimento más pequeño se fue acumulando, más atrás de esta aglomeración en dirección hacia la playa.



**Figura 38** Distribución de rocas arrastradas por el tsunami y el refluo de este al golpear con estructuras rocosas.

Esta inusual distribución de los sedimentos, puede ser explicado de la siguiente manera: Una vez que el tsunami impacta, las olas con mayor fuerza depositan las rocas grandes justo donde empieza el acantilado, las olas del tsunami vienen trayendo consigo la mezcla de sedimento marino, que como se mencionó, se deposita sobre las rocas, sin embargo, el flujo de tsunami continua golpeando el acantilado pero ya con poca energía, el flujo no puede

volver a mover dichas rocas, de tal manera que sólo pude desplazar al sedimento pequeño que estaba sobre ellas, y logra desplazarlos uno metros lejos en dirección del refluo, es decir hacia el mar.

Sobre el final de esta área se pudo medir la distancia de inundación horizontal sobre unos 92.5 m. en esta área compuesta de escombros rocosos de flujo de lava, se pudo apreciar las líneas de marca de agua que dejo el nivel de inundación, además que se constató esqueletos de animales muertos, presumiblemente, que quedaron atrapados sobre esta área rocosa. Aquí, el flujo de agua medido tuvo una elevación de 4.1 m., se puede apreciar que el flujo de agua pudo avanzar por las estructuras rocosas, formando ciertos canales y lagunas pequeñas.



**Figura 39** Evidencia del flujo del tsunami sobre marcas de agua y escombros depositados más allá de la línea de pleamar

## Puerto Villamil

En el área de Puerto Villamil no se registraron mayores aumentos del nivel del mar. Sin embargo gracias al testimonio del personal de la Capitanía de Puerto, presente al momento del impacto del tsunami, se pudo realizar la medición de la máxima altura sobre esta área, la misma que una vez corregido al estado de la marea al momento del impacto, dio como resultado un incremento de aproximadamente 30 cm. (Figura 42), que es concordante con los

datos del modelo COMCOT. Testimonios de la población indican que las aguas no inundaron mayormente la playa, y que mayores inundaciones se presentaron una semana después con el aguaje producido en esas fechas.



Figura 40 Mediciones en el Puerto Villamil

## CONCLUSIONES

Los efectos del tsunami a su arribo a las costas de las islas, La oportuna evacuación de la población a lugares altos, así como la evacuación de las embarcaciones y la paralización de las actividades marítimas y turísticas, permitió reducir esto se observa ya que a pesar de que las olas alcanzaron las ciudades puertos, y lograron inundar las zonas urbanas, estas no mostraron grandes daños a pesar de haber alcanzado alturas considerables. Puede concluirse, que uno de los factores atenuantes para esta reducción en los daños de las estructuras costeras, es debido a que al momento del impacto del tsunami no había mayormente embarcaciones fondeados ni atracados en los puertos.

Las máximas medidas tanto de inundación horizontal como de run-up, se observaron en lugares despoblados, por lo que la medición de estas evidencias fue posible con un mínimo de contaminación, de las mismas.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue auspiciada por la National Science Foundation (NSF) de los Estados Unidos, número de proyecto 502451-00001, y el aporte técnico de la Universidad de Texas A&M y el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador. Asimismo se agradece la colaboración del Parque Nacional Galápagos, especialmente del personal de guardaparques que acompañaron al equipo durante las dos visitas de campo.

## REFERENCIAS

- NGDC (2011), MARCH 11, 2011 JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI, [online] Available from: [http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsunami/pdf/2011\\_0311.pdf](http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsunami/pdf/2011_0311.pdf)
- Technology, L. I. (n.d.), Manual de usuario TRIPULSE,
- USGS, N. (2011), USGS Earthquake Hazards Program: Informe Preliminar de Sismo: COSTA ORIENTAL DE HONSHU, JAPON, Informe Preliminar de Sismo. [online] Available from: [http://neic.usgs.gov/neis/eq\\_depot/2011/eq\\_110311\\_c0001xgp/neic\\_c0001xgp\\_esp.html](http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2011/eq_110311_c0001xgp/neic_c0001xgp_esp.html) (Accessed 7 May 2011)

## ANEXO A

SCz=Isla Santa Cruz  
 SCb=Isla San Cristóbal  
 Stg= Isla Santiago  
 Isb= Isla Isabela  
 Rv=Runp, Flujo vertical (m)  
 Rh=Inundación horizontal (m)

| Sitio          | Isla | Coordenadas          | Rv   | Rh    |
|----------------|------|----------------------|------|-------|
| El Garrapatero | SCz  | S0 41.632 W90 13.262 | 3.34 | 64.7  |
| El Garrapatero | SCz  | S0 41.656 W90 13.253 | 2.35 | 18    |
| El Garrapatero | SCz  | S0 41.652 W90 13.236 | 3.15 | 0     |
| Punta Estrada  | SCz  | S0 45.081 W90 18.629 | 2.14 | 25.4  |
| Punta Estrada  | SCz  | S0 45.209 W90 18.684 | 1.98 | 0     |
| Punta Estrada  | SCz  | S0 45.215 W90 18.685 | 2.36 | 55.1  |
| Punta Estrada  | SCz  | S0 45.228 W90 18.716 | 1.5  | 50    |
| Cal.Tor. Negra | SCz  | S0 29.869 W90 19.517 | 0.83 | 8     |
| Las Bachas     | SCz  | S0 29.618 W90 20.328 | 2.02 | 20    |
| Las Bachas     | SCz  | S0 29.557 W90 20.263 | 1.44 | 15    |
| Las Bachas     | SCz  | S0 29.621 W90 20.652 | 2.05 | 21    |
| Las Bachas     | SCz  | S0 29.594 W90 20.483 | 1.12 | 32    |
| Baltra Channel | SCz  | S0 29.266 W90 16.824 | 1.63 | 0     |
| Puerto Ayora   | SCz  | S0 44.807 W90 18.696 | 2.81 | 40    |
| Puerto Ayora   | SCz  | S0 44.834 W90 18.756 | 2.44 | 0     |
| Puerto Ayora   | SCz  | S0 44.561 W90 18.589 | 2.56 | 23.4  |
| Puerto Ayora   | SCz  | S0 44.571 W90 18.672 | 2.01 | 129.5 |
| Puerto Ayora   | SCz  | S0 44.657 W90 18.723 | 2.69 | 25    |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 48.121 W89 28.227 | 2.41 | 296.2 |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 48.121 W89 28.227 | 0.21 | 20.9  |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.797 W89 28.219 | 2.98 | 18.4  |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.734 W89 28.211 | 2.4  | 135   |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.734 W89 28.211 | 1.4  | 45    |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.788 W89 28.216 | 3.38 | 18.4  |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.815 W89 28.234 | 4.37 | 35    |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.815 W89 28.234 | 1.67 | 35    |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.837 W89 28.280 | 2.57 | 18    |
| Puerto Grande  | SCb  | S0 47.820 W89 28.315 | 4.66 | 13    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.564 W89 32.462 | 0.66 | 87    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.564 W89 32.462 | 1.9  | 24    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.637 W89 32.482 | 1.5  | 87    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.637 W89 32.482 | 1.6  | 26    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.689 W89 32.484 | 4.12 | 25    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.689 W89 32.484 | 2.22 | 25    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.618 W89 32.416 | 1.39 | 281.7 |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.618 W89 32.416 | 2.69 | 65    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.618 W89 32.416 | 0.79 | 281   |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.493 W89 32.481 | 3.19 | 49    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.493 W89 32.481 | 1.09 | 94    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.493 W89 32.481 | 2.69 | 49    |
| P. Manglesito  | SCb  | S0 49.455 W89 32.456 | 3.83 | 30    |
| Isla Lobos     | SCb  | S0 51.386 W89 33.932 | 1.5  | 25    |
| Pto Moreno     | SCb  | S0 54.084 W89 36.702 | 2.16 | 46.9  |
| Pto Moreno     | SCb  | S0 54.138 W89 36.829 | 2.23 | 25    |
| Pto Moreno     | SCb  | S0 54.116 W89 36.836 | 2.23 | 0     |
| Pto Moreno     | SCb  | S0 53.979 W89 36.558 | 2.56 | 23.5  |
| Pto Moreno     | SCb  | S0 53.911 W89 36.568 | 2.52 | 36    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.802 W89 14.806 | 2.27 | 66.5  |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.791 W89 14.839 | 1.49 | 75.6  |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.715 W89 15.199 | 3.07 | 25    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.710 W89 15.209 | 1.79 | 61    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.666 W89 15.223 | 2.41 | 28    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.628 W89 15.232 | 2.62 | 33    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.566 W89 15.233 | 2.65 | 36.8  |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.462 W89 15.214 | 2.3  | 61    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.451 W89 15.253 | 2.8  | 26    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.398 W89 15.287 | 3.35 | 39    |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.398 W89 15.287 | 1.65 | 48.3  |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.208 W89 15.303 | 3.58 | 34.8  |
| Punta Pitt     | SCb  | S0 42.208 W89 15.303 | 3.48 | 36.8  |

|               |     |                      |      |       |
|---------------|-----|----------------------|------|-------|
| Galapaguera   | SCb | S0 41.787 W89 18.013 | 1.67 | 52.3  |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.793 W89 18.011 | 2.29 | 18.1  |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.741 W89 18.091 | 3.44 | 13.1  |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.720 W89 18.135 | 3.65 | 16.1  |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.720 W89 18.135 | 2.85 | 16.1  |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.692 W89 18.156 | 3.38 | 16    |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.589 W89 18.190 | 2.02 | 15    |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.576 W89 18.195 | 3.14 | 16.3  |
| Galapaguera   | SCb | S0 41.557 W89 18.207 | 3.06 | 18.3  |
| Playa SC I    | SCb | S0 41.205 W89 20.818 | 2.13 | 13.3  |
| Playa SC I    | SCb | S0 41.205 W89 20.818 | 1.33 | 22.3  |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.393 W89 27.294 | 3.86 | 15.3  |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.393 W89 27.294 | 2.76 | 15.3  |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.393 W89 27.294 | 2.96 | 15    |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.317 W89 27.243 | 2.02 | 13    |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.270 W89 27.186 | 3.39 | 16.2  |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.270 W89 27.186 | 3.59 | 16.2  |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.234 W89 27.155 | 3.17 | 15.2  |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.159 W89 27.085 | 3.53 | 20.1  |
| Playa SC II   | SCb | S0 45.159 W89 27.085 | 2.63 | 20.1  |
| Playa SAC I   | SCz | S0 36.065 W90 32.252 | 1.95 | 15.3  |
| Playa SAC II  | SCz | S0 32.499 W90 30.647 | 4.73 | 29.6  |
| Playa SAC II  | SCz | S0 32.486 W90 30.649 | 4.76 | 29.5  |
| Playa SAC II  | SCz | S0 32.406 W90 30.716 | 2.42 | 22.6  |
| Playa SAC II  | SCz | S0 32.544 W90 30.646 | 3.97 | 22.3  |
| Playa SAC II  | SCz | S0 32.544 W90 30.646 | 3.37 | 22.3  |
| Playa SAC III | SCz | S0 30.408 W90 24.887 | 3.84 | 14.4  |
| Playa SAC III | SCz | S0 30.408 W90 24.887 | 2.94 | 14.4  |
| Playa SAC III | SCz | S0 30.454 W90 24.929 | 2.65 | 12.6  |
| Playa SAC III | SCz | S0 30.494 W90 25.015 | 2.04 | 10.4  |
| Somb. Chino   | Stg | S0 22.089 W90 35.048 | 2.27 | 28.5  |
| Somb. Chino   | Stg | S0 22.185 W90 35.118 | 0.51 | 16.5  |
| Somb. Chino   | Stg | S0 22.191 W90 35.126 | 0.64 | 17.4  |
| Somb. Chino   | Stg | S0 22.167 W90 35.095 | 1.72 | 28    |
| Playa SA I    | Stg | S0 17.368 W90 33.977 | 0.8  | 53.5  |
| Playa SA II   | Stg | S0 13.004 W90 36.420 | 1.1  | 27    |
| Playa SA II   | Stg | S0 13.004 W90 36.420 | 1.6  | 37.8  |
| Playa SA II   | Stg | S0 13.031 W90 36.451 | 1.82 | 34.6  |
| Playa SA II   | Stg | S0 13.031 W90 36.451 | 1.42 | 26.3  |
| Playa SA II   | Stg | S0 13.031 W90 36.451 | 1.02 | 22.9  |
| Playa SA II   | Stg | S0 13.011 W90 36.502 | 1.05 | 31.8  |
| Playa SA II   | Stg | S0 11.785 W90 39.024 | 2.39 | 34.2  |
| Playa SA II   | Stg | S0 11.742 W90 38.923 | 1.74 | 30.1  |
| Playa SA II   | Stg | S0 11.809 W90 39.086 | 2.9  | 49.9  |
| Playa SA II   | Stg | S0 11.833 W90 39.115 | 2.85 | 42.1  |
| Playa SA II   | Stg | S0 11.833 W90 39.115 | 3.15 | 42.1  |
| Playa IS I    | Isb | S0 36.728 W90 53.636 | 2.51 | 27.6  |
| Playa IS I    | Isb | S0 36.794 W90 53.696 | 1.45 | 32.8  |
| Playa IS I    | Isb | S0 36.794 W90 53.696 | 1.95 | 207.5 |
| Playa IS I    | Isb | S0 36.681 W90 53.655 | 1.8  | 12.7  |
| Playa IS I    | Isb | S0 36.638 W90 53.642 | 4.63 | 24    |
| Playa IS I    | Isb | S0 36.545 W90 53.653 | 2.26 | 23.9  |
| Playa IS II   | Isb | S0 33.415 W90 57.311 | 3.91 | 17.5  |
| Playa IS II   | Isb | S0 33.439 W90 57.328 | 1.64 | 52.9  |
| Playa IS II   | Isb | S0 33.439 W90 57.328 | 1.74 | 142.1 |
| Playa IS II   | Isb | S0 33.592 W90 57.380 | 2.1  | 14.6  |
| Playa IS II   | Isb | S0 33.661 W90 57.390 | 2.44 | 4.7   |
| Playa IS III  | Isb | S0 33.768 W90 57.755 | 4.99 | 7.9   |
| Playa IS III  | Isb | S0 33.769 W90 57.757 | 4.69 | 11.7  |
| P Tor. Negra  | Isb | S0 14.706 W91 23.198 | 3.25 | 22.8  |
| P Tor. Negra  | Isb | S0 14.706 W91 23.198 | 3.05 | 42.8  |

|               |     |                      |      |       |
|---------------|-----|----------------------|------|-------|
| P Tor. Negra  | Isb | S0 14.706 W91 23.198 | 0.45 | 103.5 |
| P Tor. Negra  | Isb | S0 14.594 W91 23.251 | 5.04 | 25.9  |
| Urbina Bay    | Isb | S0 23.607 W91 13.673 | 2.54 | 8.6   |
| Urbina Bay    | Isb | S0 23.607 W91 13.673 | 0.94 | 8.6   |
| Urbina Bay    | Isb | S0 23.661 W91 13.740 | 2.22 | 18.8  |
| Urbina Bay    | Isb | S0 23.558 W91 13.554 | 1.88 | 13.3  |
| Urbina Bay    | Isb | S0 23.558 W91 13.554 | 0.78 | 111.4 |
| Playa Tsunami | Isb | S0 41.291 W91 15.013 | 4.8  | 23.6  |
| Playa Tsunami | Isb | S0 41.291 W91 15.013 | 5.7  | 23.6  |
| Playa Tsunami | Isb | S0 41.308 W91 15.051 | 6.12 | 15    |
| Playa Tsunami | Isb | S0 41.285 W91 15.014 | 5.03 | 16.5  |
| Playa Rocks   | Isb | S0 41.259 W91 14.990 | 3.16 | 33.2  |
| Playa Rocks   | Isb | S0 41.259 W91 14.990 | 3.06 | 49    |
| Playa Rocks   | Isb | S0 41.211 W91 14.968 | 4.09 | 26    |

|                 |     |                      |      |      |
|-----------------|-----|----------------------|------|------|
| Playa Rocks     | Isb | S0 41.161 W91 14.950 | 1.81 | 37.1 |
| Playa Rocks     | Isb | S0 41.161 W91 14.950 | 1.01 | 61.1 |
| Playa Rocks     | Isb | S0 41.071 W91 14.932 | 2.8  | 21.7 |
| Playa Rocks     | Isb | S0 41.071 W91 14.932 | 1    | 38.6 |
| Playa Rocks     | Isb | S0 40.924 W91 14.950 | 1.95 | 11.8 |
| Playa Rocks     | Isb | S0 40.914 W91 14.951 | 2.36 | 11.8 |
| Playa Rocks     | Isb | S0 40.914 W91 14.951 | 1.46 | 24   |
| Playa Rocks     | Isb | S0 40.914 W91 14.951 | 0.96 | 92.5 |
| Puerto Villamil | Isb | S0 57.479 W90 57.944 | 1.12 | 28.7 |
| Puerto Villamil | Isb | S0 57.468 W90 58.015 | 1.62 | 15.1 |
| Puerto Villamil | Isb | S0 57.478 W90 57.913 | 1.3  | 26.5 |