



# ISSN 1560-9928 INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 62



Depósitos de Paleotsunamis en la Costa Central y Sur del Perú



Lima, Perú 2016



INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica  $N^\circ$  62

# Depósitos de Paleotsunamis en la Costa Central y Sur del Perú

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

Equipo de Investigación:

Carlos Benavente Escobar Michaela Spiske Fabrizio Delgado Madera Henrich Bahlburg

Lima, Perú 2016 INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 62

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2016-05982 ISSN 1560-9928

Razón Social: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú Primera Edición, INGEMMET 2016 Se terminó de imprimir el 05 de mayo del año 2016 en los talleres de INGEMMET

#### © INGEMMET

Derechos Reservados. Prohibida su reproducción

Presidenta del Consejo Directivo: Susana Vilca Achata

Secretario General: César Rubio Mori

Comité Editor: Lionel Fídel Smoll, Pedro Navarro Colque, Jorge Chira Fernández,

Oscar Pastor Paredes, Agapito Sánchez Fernández

#### Dirección encargada del estudio

Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico: Lionel Fídel Smoll

#### Unidad encargada de edición

Unidad de Relaciones Institucionales: Oscar Pastor Paredes

Revisión técnica: Henrich Bahlburg, Michaela Spiske, Agapito Sánchez Fernández

Corrección gramatical y de estilo: María del Carmen La Torre Cuadros

Diagramación: Zoila Solis Yzaguirre

Portada: Excavación de trincheras en la playa Casma - Costa Central

#### Referencia bibliográfica

Benavente, C.; Spiske, M.; Delgado, F. & Bahlburg, H. (2016). Depósitos de paleotsunamis en la costa central y sur del Perú, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 62, 185 p.

Publicación disponible en libre acceso en la página web (www.ingemmet.gob.pe). La utilización, traducción y creación de obras derivadas de la presente publicación están autorizadas, a condición de que se cite la fuente original ya sea contenida en medio impreso o digital (GEOCATMIN - http://geocatmin.ingemmet.gob.pe).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen son de exclusiva responsabilidad del equipo de investigación.

# Contenido

# RESUMEN

Los tsunamis mayoritariamente son consecuencia de grandes terremotos. Actualmente, los esfuerzos por estudiar la recurrencia espacial y temporal de grandes eventos están limitados por la corta historia de la sismología instrumental, comparada con el largo y variable tiempo de recurrencia de terremotos gigantes. En el estudio de la recurrencia de tsunamis, las observaciones geológicas, tales como la identificación de depósitos de tsunamis y los cambios de nivel de las costas producidos por grandes terremotos, han confirmado que los tsunamis presentan algún grado de ciclicidad, en cuanto a su periodicidad y magnitud, lo que permite identificar zonas en riesgo.

En la actualidad, una de las técnicas más empleadas en el mundo para ampliar el catálogo sísmico y de tsunamis es la identificación de depósitos de tsunamis en registros estratigráficos costeros. Estos depósitos, generalmente de arena, contrastan con los suelos o depósitos de turbas, lodos y arcillas subyacentes en zonas costeras. Los depósitos de tsunamis son un tipo especial de sismitas cuya identificación y datación aportan datos importantes a estudios de la amenaza sísmica en zonas costeras o de subducción.

El presente estudio constituye el primero referido a depósitos de paleo-tsunamis en el Perú. Estos trabajos se realizaron durante tres años, mediante cooperación con la Universidad WestfälischeWilhelms de Münster, Alemania. Los resultados obtenidos parten del análisis de figuras o estructuras sedimentarias, espesor del depósito, tamaño de grano, microfósiles y dataciones mediante el método de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL). El conjunto de estos datos permitieron estimar velocidades del flujo durante el tsunami y el *run-up*. Este último es importante para la delimitación del área de inundación.

Teniendo en cuenta que la fosa Perú-Chile es una de las zonas sísmicas más activas del mundo, fue sorprendente encontrar rastros de tsunamis históricos en solo tres sitios. El potencial de conservación en tierra de los sedimentos de grano fino de tsunami depositados a lo largo de las playas, en los campos agrícolas o en las proximidades de los ríos está determinado por cuatro factores principales (1) el régimen tectónico de la costa, (2) las condiciones climáticas, (3) la modificación antropogénica de la costa, y (4) el tamaño de grano de los depósitos. Por ejemplo, para los depósitos de Chimbote se observó que ninguno de los sedimentos depositados por el tsunami de 1996 quedó después de once años del evento y solo la mitad de los depósitos del tsunami de Camaná (2001) quedó seis años después del evento

El depósito de Puerto Casma constituye la primera evidencia de un tsunami local causado por el terremoto de 1619 en Chimbote. No se informó un tsunami para este evento, pero se plantea como precursor al evento tsunamigénico de Chimbote de 1996. En el sur de Perú, una capa con abundantes restos de caparazones pudo estar relacionado con el terremoto y el tsunami de 1868 dC en Arica, que fue uno de los eventos más destructivos que afectaron al Perú. Las dos capas holocenas de tsunami que se encuentran en el sur del Perú, datadas en  $2.26 \pm 0.37$  y  $1.98 \pm 0.23$  años parecen ser formadas por un terremoto y tsunami similares a los principales eventos de 1604 y 1868 dC. Curiosamente, el lapso de tiempo que pasa entre estos dos eventos principales es de 264 años y, por lo tanto, muy cerca de los 272 años que pasaron entre los dos eventos en Boca del Río.

Un buen estudio y caracterización del depósito de tsunami, más el uso del Modelamiento Inverso TsuSedMod, nos permitió determinar la altura de la ola, velocidad del flujo y área de inundación. Para el evento identificado en Puerto Casma, los resultados indicaron que el flujo tuvo una velocidad de 7.80 m/s y una altura de 6.2 metros, llegando a inundar hasta 3.6 kilómetros desde la línea de costa. Entre los sectores afectados se encontraron las viviendas ubicadas en Chimbote, en la bahía de Casma, las Tortugas, Chimú, Samanco, los pueblos que se ubican en las orillas de la bahía de Samanco, al igual que en la bahía el Ferrol, que principalmente viene a ser la ciudad de Chimbote. En el caso de los eventos identificados en Boca de Río se calculó que tuvieron velocidades de 7.06 m/s y 7.76 m/s, y alturas de 5.1 y 6.1 metros respectivamente.Las localidades afectadas ante eventos similares serían Playa Llostay, la ciudad de Boca del Río, Punta Colorada, Tomoyo, playa Gaviotas, el poblado de Vila Vila y las viviendas que se encuentran frente a la playa Submarino.

Finalmente, todos nuestros resultados inciden en una correcta planificación del uso del territorio para las localidades ubicadas frente a la costa, en especial para las localidades de las regiones de Ancash, Moquegua y Tacna.

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Los tsunamis mayormente son consecuencia de grandes terremotos. Actualmente, los esfuerzos por estudiar la recurrencia espacial y temporal de grandes eventos están limitados por la corta historia de la sismología instrumental, comparada con el largo y variable tiempo de recurrencia de terremotos gigantes (Swafford, & Stein, 2007). Para suplir la falta de datos, el registro puede ser extendido utilizando fuentes primarias de registros escritos. El objetivo es profundizar en la búsqueda minuciosa de evidencias que permitan conocer si un territorio se encuentra o no en riesgo ante la amenaza de grandes tsunamis. Si bien el registro histórico rara vez incluye intervalos de recurrencia de sucesivos terremotos gigantes (Satake & Atwater, 2007), aporta valiosa información, que combinada con otros antecedentes, permite la reconstrucción de eventos pasados.

En el estudio de la recurrencia de tsunamis, las observaciones geológicas, tales como la identificación de depósitos de tsunamis y los cambios de nivel de las costas producidos por grandes terremotos, han confirmado que los tsunamis presentan algún grado de ciclicidad, en cuanto a su periodicidad y magnitud, lo que permite identificar zonas en riesgo (Nanayama et al. 2003; Satake, et al. 2003; Cisternas et al. 2005).

Los depósitos de tsunamis son huellas en forma de depósitos anómalos o fuera de secuencia, generalmente de arenas, que contrastan con los suelos o depósitos de turbas, lodos, arcillas subyacentes en zonas costeras. Son un tipo especial de sismitas, cuya identificación y datación puede aportar datos importantes a estudios de la amenaza sísmica en zonas costeras o de subducción.

La consideración y el interés por los depósitos de tsunami como indicadores se vincula con evidencias de terreno derivadas de grandes terremotos tsunamigénicos (Atwater, 1987). En la actualidad, existe toda una línea de investigación enfocada a su estudio. En general, los trabajos coinciden en concluir que los tsunamis son capaces de generar importantes modificaciones geomorfológicas en la costa mediante procesos de erosión y depositación. Tanto la energía involucrada como la brevedad de los eventos generan depósitos muy distintivos de otros procesos costeros. Horizontalmente, estos depósitos están frecuentemente conformados por capas continuas o discontinuas a lo largo de amplias áreas de la costa, en dependencia directa de un adecuado aporte sedimentario que permita generar el depósito (Lagos & Cistemas, 2004 y 2008).

El presente estudio constituye el primero referido a depósitos de paleotsunamis en el Perú. Estos trabajos se realizaron durante tres años, mediante cooperación con la Universidad Westfälische Wilhelms de Münster, Alemania. Asimismo, debemos indicar que parte del texto de este trabajo es tomado de las publicaciones realizadas en las revistas internacionales Earth Science Reviews (Spiske et al., 2013a) y Quaternary International (Spiske et al., 2013b). La información presentada constituye una herramienta importante para la toma de decisiones en el plan de ordenamiento territorial.

# UBICACIÓN

El Perú se ubica en una zona tectónicamente activa, es decir, en la parte central y occidental de América del Sur. Presenta una superficie continental de 1 285 215.60 km<sup>2</sup>, que se distribuye en tres grandes regiones: costa, sierra y selva. La zona de estudio se desarrolló a lo largo del litoral peruano, que se encuentra en la región costa; este viene a ser la división entre la parte continental y la parte marítima (figura 1.1).

En la costa peruana se emplazaron varias ciudades, básicamente, por la importancia de la pesca y el comercio; sin tomar en cuenta la exposición que tienen frente a la ocurrencia de tsunamis. El puerto del Callao es un caso representativo, cuya población era de 5000 habitantes cuando ocurrió el maremoto del 28 de octubre de 1746, quedando solo 200 sobrevivientes (4 %). De los 23 barcos anclados en el puerto, 19 fueron hundidos y 5 llevados por las olas tierra adentro; uno de ellos fue varado a 1.5 km tierra adentro (GRC, 2013). A la fecha, la región Callao cuenta con más de 876 877 habitantes (Fuente: INEI).

Los ambientes costeros del Perú muestran diversas morfologías con diferentes posibilidades de conservación de los depósitos de tsunami (Spiske et al. 2013a), como: acantilados costeros y escarpados, playas arenosas, amplias llanuras de ríos y pantanos.



En este sentido, los trabajos se realizaron a lo largo del litoral costero con la finalidad de identificar huellas de paleotsunamis, ya que la costa peruana, por su ubicación, es una zona de gran importancia para realizar este tipo de estudios empleando diferentes métodos de dataciones y así obtener un registro histórico de eventos que afectaron la costa peruana en varios sectores, ya sea en relación a terremotos producto de la subducción o por terremotos en otras partes del mundo que generaron olas de tsunamis (ejemplo: terremoto de 1960 en Chile), para luego comprender, analizar el origen y comportamiento de estos, y generar escenarios del impacto de este proceso geológico en el desarrollo de la sociedad.

#### OBJETIVOS

Debido a las características geológicas de la zona de subducción en la que se asienta todo el litoral peruano, los eventos de tsunamis presentan la ciclicidad más alta del planeta. Por esta razón, es importante estudiar eventos de tsunamis antiguos y los efectos producidos por tsunamis contemporáneos, su estudio generará información útil para planos reguladores del uso del territorio y medidas de mitigación para la comunidad y los sistemas productivos.

#### Los objetivos del estudio fueron:

- a) Identificar depósitos de paleotsunamis en la costa peruana utilizando técnicas estratigráficas y sedimentológicas.
- b) Establecer la edad de estos depósitos utilizando la técnica de Luminiscencia Estimulada Ópticamente y determinar una relación con el registro histórico.
- c) Ampliar el registro histórico e instrumental de los tsunamis en territorio peruano.
- d) Establecer escenarios de inundaciones por tsunamis, a partir de los depósitos de paleotsunamis identificados, utilizando programas de modelamiento inverso.

### **ANTECEDENTES**

Existen pocos trabajos acerca de tsunamis y sus depósitos en el Perú, es así que:

Bourgeois et al. (1999), en su trabajo acerca del sismo tsunamigénico del 21 de febrero de 1996, presentan cálculos del *run-up* máximo entre 7.7°S a 11°S, así como también la distancia de máxima inundación, la que superó los 500 metros (figura 1.2). Se realizaron trincheras para la identificación de depósitos de tsunami, estos no se encontraron a lo largo de toda la costa afectada, ya que fueron erosionados o la misma vegetación no dejó reconocerlos.

Okal & Newman (2001), en su trabajo analizan una base de datos de 84 sismos en la margen pacífica, con la finalidad de investigar los parámetros de la fuente en la búsqueda de una posible señal regional en tres zonas de subducción (Nicaragua, 1992; Java, 1994 y Perú, 1996), estos datos fueron complementados por sismogramas, entre ellos, los principales sismos tsunamigénicos de los últimos 65 años. No detectaron una tendencia regional de los parámetros, lo que sugiere que este puede estar controlado en una escala más local por estructuras morfológicas, tampoco encontraron correlación entre la lentitud y la profundidad o el mecanismo focal y el momento sísmico (figura 1.3). No obstante, los resultados más interesantes que muestran son en Perú, donde los sismos tsunamigénicos de 1960 y 1996 ocurren en la intersección de la fractura de Mendaña y la fosa de subducción Perú-Chile.

Kulikov et al. (2005), en su trabajo presentan cálculos que determinan los *run-up*<sup>(1)</sup> a partir de sismos de magnitudes mayores a 8, para intervalos de tiempo de 50, 100 y 200 años, esto basado en tres relaciones diferentes, magnitud del sismo-tsunami y la altura máxima de la ola para varios períodos de retorno (figura 1.4). En conclusión, calculan para un período de retorno de 50 años un *run-up*<sup>(1)</sup> de 11.2 metros, 13.7 metros (100 años) y 17.3 metros (200 años). De acuerdo a la laguna sísmica, en el sur del Perú y norte de Chile, concluyen que podemos esperar que el próximo tsunami se produzca entre 19°S y 28°S.

Okal et al. (2006), en su trabajo, evalúan el riesgo de los tsunamis en la ciudad portuaria de Pisco, donde están previstas las instalaciones del gas natural licuado, para esto utilizaron información instrumental y sismicidad histórica. La conclusión de su trabajo fue que Pisco puede esperar cada 53 años un maremoto con *run-up*<sup>(1)</sup> de hasta 10 metros.

Run-up<sup>(1)</sup> (Tsunami)

A. Diferencia entre la elevación de penetración máxima de un tsunami (línea de inundación) y el nivel del mar en el momento del tsunami. En términos prácticos, el run-up es solo la medida donde hay evidencia del límite de la inundación sobre la costa. B. Elevación alcanzada por el mar medido en relación con algunos niveles fijos tales como el nivel medio del mar, bajamar media, nivel del mar en el momento del tsunami, entre otros, y a la vez idealmente medido, en un punto correspondiente al máximo local de la inundación horizontal. En los lugares donde la elevación no esta medida en relación a la máxima inundación horizontal, ésta es denominada frecuentemente como la altura de la inundación. UNESCO-IOC. *Tsunami Glossary.* IOC Information document No. 1221. Paris, UNESCO, 2006.



Figura 1.2 La figura muestra el *run-up* de tsunami y distancias de inundaciones a lo largo de la zona de ruptura del sismo de febrero de 1996. Los valores son desde el nivel del mar en el momento de la llegada del tsunami. Las barras verticales representan valores medidos; la línea continua y el símbolo representado por un círculo «G» representan la simulación numérica, valores de una malla de resolución fina. El modelo del desplazamiento en alta mar es de 1.8 metros y 0.7 metros. (Modificado de Bourgeois et al., 1999).



Figura 1.3 Mecanismos focales procesados en Harvard CMT, la atenuación de las letras que indican la fecha de cada mecanismo focal se debe a que los colores tenues muestran los acontecimientos históricos. Los acontecimientos más importantes se identifican por sus fechas más aparentes. Además esta figura muestra la fractura de Mendaña y la zona de subducción. Modificado de Okal & Newman (2001). El tamaño de los mecanismos indican magnitudes elevadas.



Figura 1.4 Distribución de los *run-up* de los tsunamis a lo largo de las costas del Perú y el norte de Chile. Modificado de Kulikov et al. (2005).

## METODOLOGÍA

La metodología empleada fue la siguiente:

#### ETAPA I.- Trabajo en gabinete

Esta etapa consistió en la compilación de información bibliográfica y generación de una base de datos georeferenciada de sismos que produjeron tsunamis en el Perú, Se obtuvieron 128 datos de sismos que generaron tsunamis desde el año 1513.

La información obtenida para cada uno de estos sismos son: año, mes y día del sismo, coordenadas, profundidad del hipocentro, magnitud del sismo. Para algunos de estos sismos, se pudo encontrar el cálculo del momento sísmico, intensidad del sismo e intensidad del tsunami, *run-up* de la ola del tsunami, y, por último, cuáles fueron las localidades afectadas. Estos datos fueron compilados principalmente de Okal et al. (2006); Kulikov et al. (2005); Carpio et al. (2002); Okal& Newman (2001); Lockridge (1985); Silgado (1978 a, b) y la base de datos de la Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú (figura 1.5).

Posteriormente a esta revisión bibliográfica, se analizaron imágenes ASTER e imágenes del Google Earth del área de estudio para determinar las mejores zonas para hacer excavaciones o trincheras con la finalidad de identificar depósitos de tsunamis y las condiciones esenciales para determinar la edad de los depósitos.

#### ETAPA II.- Trabajo en campo

Se realizaron dos campañas de campo con la finalidad de identificar y muestrear los depósitos de tsunamis, para esto se hicieron trincheras con el propósito de analizar el registro estratigráfico e identificar niveles anómalos relacionados con tsunamis (fotografía 1.1). Las trincheras se realizaron utilizando retroexcavadoras y, en ocasiones, un equipo de perforación que permitiese analizar sedimentológicamente el registro estratigráfico y tomar muestras ubicadas hasta 3 metros de profundidad con respecto a la superficie.

Se pudo extraer 44 muestras a lo largo de toda el área de estudio, en estas se realizaron análisis micropaleontológicos, granulométricos, y se determinó la edad de depositación.

Las muestras se tomaron para datación por *Luminiscencia Estimulada Ópticamente* (OSL). Estas se sacaron cubriendo la zanja o trinchera de la luz con plásticos negros, de tal forma que la muestra extraída no adquiriese rayos cósmicos extras frente a una exposición anómala.

#### ETAPA III.- Trabajo en gabinete

Esta etapa consistió en la interpretación estratigráfica y sedimentológica del registro puesto en evidencia por las excavaciones o perforaciones. Posteriormente, se enviaron las muestras al laboratorio de paleontológica del INGEMMET con la finalidad de determinar especies de plataforma profunda que podrían ser transportados por las olas del tsunami.

Finalmente, las muestras fueron enviadas a la Universidad de Münster-Alemania, donde se realizaron análisis granulométricos detallados y procedimientos para obtener la edad del depósito. Asimismo, se cuantificó la humedad de las muestras para estabilizar la edad y, por consiguiente, que el error sea mínimo.

Las edades obtenidas se contrastaron con los registros históricos, lo que sirvió para la interpretación sobre la conservación de los depósitos de tsunamis en zonas áridas. Finalmente, se elaboraron cuadros y figuras, se seleccionaron fotografías ilustrativas y se redactó el informe final.

#### CLIMA

La costa peruana tiene un clima templado árido (NCDC, 2009). La precipitación ocurre solo al norte de Piura, de diciembre a abril. El clima árido es fuertemente dependiente de la corriente fría de Humboldt, que corre hacia el norte a lo largo de la costa, y del bloqueo de posibles masas de aire húmedo procedentes del mar. Sin embargo, durante los eventos de El Niño, cuando el agua caliente se acerca a la costa, pueden producirse fuertes lluvias e inundaciones asociadas (por ejemplo, Keefer & Moseley, 2004; Mettier et al, 2009). La dirección del viento prevalece en tierra de sur a suroeste (NCDC, 2009).

#### AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al profesor Heinrich Bahlburg por la revisión del texto y a la Dra. Spiske por sus comentarios del trabajo. AAlexander Kunz por el tratamiento de las muestras y obtención de edades, a Dr. Jaffe por permitir el uso de la última versión del modelo de inversión TsuSedMod; todos estos resultados son también presentados en dos publicaciones el año 2013. Finalmente, nuestros agradecimientos a la Ing. Maria Morales por los estudios micropaleontológicos y a Julio Lara por su valiosa colaboración en la preparación y digitalización de las figuras.



Figura 1.5 Mapa de ubicación de epicentros que generaron tsunamis (puntos rojos) y tsunamis históricos (puntos amarillos).



Fotografía 1.1 Utilización de retroexcavadora para la excavación de trincheras.

# **CAPÍTULO II** CONCEPTOS GENERALES

### TSUNAMI

El término tsunami es japonés (*tsu*: puerto o bahía, *nami*: ola); internacionalmente se usa para designar el fenómeno denominado maremoto. Se trata de una serie de olas que se producen al ser empujadas con violencia por una fuerza con desplazamiento vertical, estas generalmente son producidas por un sismo o una violenta alteración en la superficie oceánica, lo que provoca el movimiento de una gran masa de agua que se propaga en todas las direcciones; esta masa de agua puede llegar a la costa con gran altura y provocar efectos destructivos como pérdida de vidas y daños materiales.

Los tsunamis que presentan una energía inicial extraordinaria pueden atravesar enormes distancias del océano Pacífico y llegar a costas muy lejanas, por ejemplo, los originados en las aguas de Chile en mayo de 1960 y Alaska en marzo de 1964, llegaron al litoral mexicano y ocasionaron daños menores.

Desde un punto de vista físico, el tsunami al acercarse a la costa en forma de ondas, parte de la energía cinética que posee durante la propagación y se transforma en energía potencial, que da origen a grandes olas cuando llegan a la costa.

Las principales causas de generación de tsunamis son:

- Sismo con epicentro en el mar: Los terremotos son la principal causa de los tsunamis; para que un terremoto origine un tsunami el fondo marino debe ser movido abruptamente en sentido vertical. No todos los terremotos generan tsunamis, sino solo aquellos de magnitud considerable, que ocurren bajo el lecho marino y que son capaces de deformarlo (figura 2.1). El tectonismo ocasiona el 96 % de los tsunamis observados.
- Explosión volcánica en continente o submarina, o también conocidas como erupciones volcánicas (figura 2.2), son responsables del 3 % de la ocurrencia de tsunamis.

- Deslizamiento submarino, en su mayoría de veces solo se dan en el talud continental (figura 2.3), es responsable del 0.8 % de la ocurrencia de los tsunamis.
- Caída de un asteroide al océano.

# CONDICIONES PARA QUE PUEDA GENERARSE UN TSUNAMI

Las condiciones principales para que se den este tipo de fenómenos son:

- 1. Terremoto de gran magnitud (mayor a 7.0 Mw como valor referencial).
- 2. Epicentro del sismo en el mar o cerca a la línea de costa.
- 3. Profundidad menor a 60 kilómetros (como valor referencial).

## **CLASIFICACIÓN DE LOS TSUNAMIS**

Los tsunamis se clasifican, de acuerdo a la distancia epicentral, en:

Tsunami de origen cercano.- Presenta las siguientes características:

- Se generan en las proximidades de las costas.
- Ocasionan destrucción al llegar a las costas.
- Son los más peligrosos debido a que la primera ola puede llegar a la costa entre 10 a 30 minutos de producido el sismo, dependiendo de la ubicación del epicentro.

*Tsunami de origen lejano o transoceánico.-* Presenta las siguientes características:

- Se generan a distancias mayores de 1000 kilómetros.
- Pueden generar destrucción al llegar a las costas.
- La primera ola del tsunami tarda en llegar a nuestras costas entre 5 a 24 horas de producido el sismo.



Figura 2.1 Proceso de generación de un tsunami en zonas de subducción (Fuente: USGS).





Figura 2.2 Explosión volcánica; en a) el colapso violento de una parte del edificio volcánico que al ingresar al mar genera la ola de tsunami. En b) una explosión volcánica submarina provoca una descompensación en el mar y se generan las olas de tsunami.



Figura 2.3 Generación de olas de tsunami a partir de un deslizamiento submarino (DGPCE, 2011).

#### FASES DE UN TSUNAMI

La dinámica de un tsunami o maremoto generado por causas tectónicas, presenta tres etapas: fase de generación, fase de propagación y fase de inundación (figura 2.4) como se desarrolla a continuación:

#### a) Fase de Generación

La etapa de generación de un maremoto se inicia con la deformación del fondo oceánico, en el cual la componente vertical es mucho mayor que la componente horizontal. Si se considera al océano como un fluido incompresible, se producirá un empuje hacia arriba (efecto pistón), que deformará grandes volúmenes de fluido sobre la superficie. Esta es la condición inicial de la siguiente fase.

#### b) Fase de Propagación

De inmediato la fuerza recuperadora de la gravedad contribuye a la formación de ondas gravitacionales que se propagan en todas las direcciones. La velocidad de estas ondas es proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad del océano (batimetría) por la que se propaga. Por ejemplo, en aguas del océano profundo, las ondas pueden viajar a velocidades comprendidas entre los 500 a 1000 km/h. En otras palabras, esta onda puede desplazarse a la velocidad de un avión jet. En cambio, cuando las ondas llegan a las costas, la profundidad disminuye y su velocidad se reduce a unas decenas de km/h, entonces la altura de la onda aumenta, pudiendo llegar con una fuerza destructiva y violenta.

#### c) Fase de Inundación

Cuando la onda llega a la costa, su velocidad se reduce, pero su altura se incrementa. La altura alcanzada por el tsunami al arribar a la costa se debe a la interacción de varios factores físicos y morfológicos tales como: características de las ondas en mar abierto, batimetría, pendiente del fondo marino, configuración del contorno de la costa, difracción, refracción, reflexión, dispersión, entre otros.

Estos factores determinan que el arribo del tsunami a la costa sea un proceso complejo, lo cual genera diferencias notables de altura <u>máxima de linundación</u> (*run-up*), aún a cortas distancias a lo largo de ella. La estimación del área inundada en zonas costeras, producidas por ondas de tsunami, es de vital importancia para la mitigación de peligro ante un tsunami.



Figura 2.4 Etapas de un tsunami generado por causas tectónicas (Modificado de INOCAR).

# **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UN TSUNAMI**

#### a) Velocidad

Debido a la gran longitud de onda, estas olas están ligadas con el fondo marino (son refractadas), ya que la profundidad siempre es inferior a la mitad de la longitud de onda (valor crítico que separa las olas de agua profunda de las olas de aguas someras). En consecuencia, en todo punto del océano, la velocidad de propagación del tsunami depende de la profundidad oceánica y puede ser calculado en función de ella, mediante la siguiente fórmula:

#### V=g/d

Dónde:

- V: Velocidad de propagación (m/s).
- g: Aceleración de gravedad (9.81 m/s $^2$ ).
- d: Profundidad del fondo marino (m).

En el cuadro 2.1 se hace el cálculo de la velocidad de propagación de tsunamis en función de la profundidad media; un ejemplo de este cálculo se da para el océano Pacífico donde la profundidad media es de 4.000 metros, lo que da una velocidad de propagación promedio de 198 m/s o 713 km/h. De este modo según el cuadro 2.1 se tiene que, si la profundidad de las aguas disminuye, la velocidad del tsunami decrece (figura 2.5).

Cuadro 2.1

Velocidad de propagación de tsunamis en función de la profundidad

Profundidad	Velocidad	
(m)	(km/h)	
7000	943	
4000	713	
2000	504	
200	159	
50	79	
10	36	

Al aproximarse a la linea de costa (aguas bajas), las olas sufren fenómenos de refracción y disminuyen su velocidad y longitud de onda, aumentando su altura. En mares profundos estas ondas pueden pasar inadvertidas ya que solo tienen amplitudes que bordean el metro; sin embargo, al llegar a la costa pueden excepcionalmente alcanzar hasta 20 metros de altura.

Es posible trazar cartas de propagación de tsunamis (figura 2.6), como se hace con las cartas de olas; la diferencia es que los tsunamis son refractados en todas direcciones por las variaciones de profundidad; mientras que, con las olas ocurren solo cerca de la costa.



Figura 2.5 Propagación de un tsunami en altamar y cerca de la costa. Se observa que a mayor profundidad mayor es la velocidad de la ola; al acercarse a la costa la velocidad desciende pero las olas aumentan ya que la profundidad disminuye (Fuente: DHN, 2011).



# Tiempo de viaje del Tsunami

Figura 2.6 Velocidad de propagación de las ondas del tsunami con intervalos cada 30 minutos (Fuente NOAA, 11/03/2011. http://www.youtube.com/user/NOAAPMEL?feature=mhum#p/c/4/Lo5uH1UJF4A).

La energía de la onda del tsunami depende tanto de la velocidad de propagación como de la amplitud de la onda. Con los cambios de ambos parámetros, según la profundidad del suelo marino, el flujo de energía se mantiene aproximadamente constante.

Otro factor importante es la tasa en la que se pierde la energía. La onda pierde energía de manera inversamente proporcional a su longitud de onda, entonces los tsunamis pueden viajar a grandes velocidades por largos períodos de tiempo y perder muy poca energía en el proceso.

Cuanta mayor profundidad, más baja será la ola y viajará más de prisa. Conforme el tsunami entra en la zona costera, genera un

fenómeno llamado asomeramiento que básicamente lleva una reducción de la aceleración de propagación, su velocidad decrece y su altura se incrementa.

#### c) Longitud de onda

Sus características difieren notablemente de las olas generadas por el viento. Toda onda tiene un efecto orbital que alcanza una profundidad igual a la mitad de su **longitud de onda** (figura 2.7); así una ola generada por el viento, solo en grandes tormentas, puede alcanzar unos 300 metros de longitud de onda, lo cual indica que ejercerá efecto hasta 150 metros de profundidad.



Figura 2.7 Parámetros físicos y geométricos de la onda de tsunami (Fuente: Ramírez, 1986).

Los tsunamis tienen normalmente longitudes de onda que superan los 50 kilómetros y pueden alcanzar hasta 1000 kilómetros, en tal caso el efecto orbital es constante y vigoroso en cualquier parte del fondo marino, ya que no existen profundidades semejantes en los océanos.

La longitud de onda (L) de un tsunami corresponde al producto entre la velocidad de propagación (V) y el período (T), relación dada por:



#### $L = V \times T$

De este modo, para una velocidad de propagación V = 713 km/h, y un período T = 15 minutos, la longitud de onda es L = 178 km.

Debido a su gran longitud de onda, el desplazamiento de un tsunami a grandes profundidades se manifiesta en la superficie oceánica con amplitudes tan solo de unos pocos centímetros (figura 2.8).



Figura 2.8 En la figura a) nos muestra el tsunami en mar adentro con una velocidad de propagación alta y en b) se observa que el tsunami al llegar a la costa disminuye su velocidad de propagación, pero se incrementa la altura de la ola.

#### d) Amplitud

La altura de las olas al llegar a la costa es variable. Al aproximarse a aguas someras, las olas sufren fenómenos de refracción y disminuyen su velocidad y longitud de onda, aumentando su altura. Cuando alcanza la costa, pareciera alzarse rápidamente en una ola, o dejarse caer, en una serie de olas cortantes.

En altamar, estas olas pueden pasar inadvertidas, ya que tienen amplitudes que bordean el metro, sin embargo, al llegar a la costa, pueden llegar a medir hasta 20 metros de altura (figura 2.9).

#### e) Comparación con ondas de mar

Las diferencias entre una ola de tsunami y una ola común están bien marcadas, ya sea por el comportamiento mar adentro (figura 2.9), o por el comportamiento frente a las costas (Figura 2.10). Sus diferencias están marcadas entorno a su amplitud, velocidad y altura.



Figura 2.9 Las figuras muestran el comportamiento en mar adentro. En a) la onda generada por el viento presenta una longitud de onda pequeña y una velocidad baja; en cambio en b) el comportamiento del tsunami en mar adentro presenta una amplitud en kilómetros y esta viaja a grandes velocidades.



Figura 2.10 En la figura a) se ve las olas que van y vienen como un flujo en círculos sin inundar áreas altas y en b) el tsunami es un flujo derecho que llega rápidamente a tierra como una muralla de agua.

Las olas generadas por los vientos tienen períodos, por lo general, de menos de 15 segundos, a diferencia de las ondas de tsunami que oscilan entre 20 y 60 minutos. Esta característica permite diferenciarlas claramente en un registro mareográfico y, por lo tanto, advertir la presencia de un tsunami. En el cuadro 2.2, se observan las diferencias entre la ola de tsunami y una ola común.

Caracteristica	Tsunami	Ola comun
l onaitud de onde	De 150 a 100 km	90 m Océano Atlántico
Longitud de onda		300 m Océano Pacifico
Velocidad máxima	900 km/h y mas	< 100 Km/h
Periodo	De 10 a 90 min.	< 15 seg.
Altura o amplitud:		
Ola mar adentro	Pocos centímetros	< 13 m
Ola costa	1-30 m	6 m
Influencia en el fondo	Perturba totalmente el fondo	Ninguna, solo en la playa

Cuadro 2.2 Características de una ola de tsunami y una ola común

[Fuente: Modificado de Ramírez, 1986]

#### f) Impacto de tsunami

La magnitud de los efectos de un tsunami en áreas costeras, va a depender de una serie de factores físicos y de la existencia o no de

emplazamientos humanos. De este modo, a continuación se describen escalas de intensidad de tsunamis, su poder destructor, sus efectos en la costa y daños ocasionados.

#### g) Escalas de intensidad de tsunamis

Para expresar la magnitud de un tsunami diversos autores han creado escalas de grados de intensidad. La intensidad de un tsunami es medida en base a observaciones macroscópicas del efecto causado sobre el ser humano y los objetos de varios tamaños, incluyendo embarcaciones y edificios. Inamura en 1949 propone una escala en función de la altura de la ola y los daños que estas producen en las áreas costeras. De este modo, el grado de un tsunami **m** o magnitud es clasificado de acuerdo a lo estipulado en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3 Escala de Grados de Tsunamis según Inamura, 1949

Grado de	Altura	
Tsunami	de ola	Descripción de los daños
m	H (m)	
0	1 - 2	No produce daños
1	2 - 5	Casas inundadas y botes son arrastrados
2	2 - 10	Hombres, barcos y casas son barridos
3	10 - 20	Daños extendidos a lo largo de 400 km a lo largo de la linea de costa
4	> 30	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera

Por su parte, lida en 1963, propone una escala de grados de tsunami, relacionando la máxima altura de subida que alcanza en tierra la ola (*run-up* = R), medida sobre el nivel medio del mar; y la

energía de los tsunamis correspondiente a diferentes grados de intensidad; relación que se ilustra en el cuadro 2.4 y figura 2.11.

Grado de tsunami m	Energía (Erg.)	Máxima altura de inundación R (m)
5.0	25.6 x 10 <sup>23</sup>	> 32
4.5	12.8 x 10 <sup>23</sup>	24 – 32
4.0	6.4 x 10 <sup>23</sup>	16 – 24
3.5	3.2 x 10 <sup>23</sup>	12 – 16
3.0	1.6 x 10 <sup>23</sup>	8 – 12
2.5	0.8 x 10 <sup>23</sup>	6 – 8
2.0	0.4 x 10 <sup>23</sup>	4 – 6
1.5	0.2 x 10 <sup>23</sup>	3 – 4
1.0	0.1 x 10 <sup>23</sup>	2 – 3
0.5	0.05 x 10 <sup>23</sup>	1.5 – 2
0.0	0.025 x 10 <sup>23</sup>	1 - 1.5
-0.5	0.0125 x 10 <sup>23</sup>	0.75 – 1
-1.0	0.006 x 10 <sup>23</sup>	0.50 - 0.75
-1.5	0.003 x 10 <sup>23</sup>	0.30 - 0.50
-2	0.0015 x 10 <sup>23</sup>	< 0.30

Cuadro 2.4 Escala de grados de tsunami según lida, 1963



Figura 2.11 La altura de la ola H corresponde a la diferencia de nivel entre cresta y valle. Por otra parte, la cota máxima de inundación R, corresponde al lugar de la costa donde los efectos del tsunami son máximos.

Posteriormente, Wiegel en 1970, combina las escalas propuestas por Inamura y lida. Como se observa en el cuadro 2.5, adiciona a la escala de Inamura (1949) la cota máxima de inundación R, definida por Lida (1963). Como la escala de Lida se extiende

desde m = -2 hasta m = 5 y además contiene medios grados, la adaptación de la variable R a la escala de Inamura se presenta con intervalos discontinuos.

Grado de Tsunami	Altura de ola H	Cota máxima de inundación R	Descripción de los daños
m	(m)	(m)	
0	01-feb	1 - 1.5	No produce daños
1	02-may	02-mar	Casas inundadas y botes son arrastrados
2	02-oct	04-jun	Hombres, barcos y casas son barridos
3	oct-20	08-dic	Daños extendidos a lo largo de 400 km a lo largo de la linea de costa
4	> 30	16 - 24	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera

Cuadro 2.5 Escala de grados de tsunami según Inamura (1949) y lida (1963), transcrita por Wiegel (1970)

[Fuente: Monge, 1993]

Papadopoulus & Inamura (2001) propusieron una nueva escala de 12 niveles de intensidad independiente de la medida de parámetros físicos (como la amplitud de la ola) y sensible a pequeñas diferencias en los efectos producidos por un tsunami, en la cual cada nivel es lo suficientemente detallado como para cubrir la mayor cantidad posible de tipos de daños que la comunidad y el medio ambiente sufren a causa de los tsunamis (cuadro 2.6). La escala está dividida en 12 niveles y es similar

a la escala de intensidad de Mercalli Modificada (MM) que se emplea para evaluar los efectos del sismo a través de los daños causados. La nueva escala se organiza de acuerdo a tres factores:

- Efectos sobre seres humanos
- · Efectos sobre objetos, incluido barcos, y en la naturaleza
- Daños a los edificios

Cuadro 2.6 Escala de intensidad de tsunami según Papadopolus & Inamura (2001)

Intensidad			Descripción de los daños
		a)	No se sintió incluso en las circunstancias más favorables.
I	No sentido	b)	Ningún efecto.
		c)	Ningún daño.
		a)	Sentido por pocas personas a bordo de pequeñas embarcaciones. No se observó en la costa.
П	Apenas sentido	b)	Ningún efecto.
		c)	Ningún daño.
	Débiles	a)	Sentido por la mayoría de las personas a bordo de pequeñas embarcaciones. Observado por pocas
			personas en la costa.
111		b)	Ningún efecto.
		c)	Ningún daño.
		a)	Sentido por todos a bordo de pequeñas embarcaciones y pocas personas a bordo de grandes buques.
IV	Ampliamente	b)	Observado por la mayoría de personas en la costa.
	ODSELV 900	c)	Ningún daño.
		a)	Sentido por todos a bordo de buques grandes y observado por todos en la costa.
.,	Fundas	b)	Trazas de capa de arena son abandonadas en terrenos de condiciones favorables.
v	Fuertes		Límite de la inundación en tierras cultivadas. Límite de la inundación en instalaciones al aire libre (por
		C)	ejemplo: jardines) y estructuras cercanas a la costa.
		a)	Mucha gente se atemoriza y evacuan a tierras más altas.
VI	Ligeramente	b)	Daños e inundaciones en estructuras de madera.
	perjudiciai	c)	El efecto es soportado por la mayoría de los edificios de mampostería.
	Perjudicial	a)	La mayoría de la gente tiene miedo y trata de correr hacia un terreno más alto, muchas embarcaciones pequeñas dañadas.
VII		b)	Objetos de tamaño variable en el mar pierden estabilidad y van a la deriva. Capas de arena y acumulaciones de guijarros quedan rezagados.
		c)	Muchas estructuras de madera están dañadas, demolidas o arrastradas. Se producen daños de grado 1 e inundaciones en algunos edificios de mampostería.
	Muy perjudicial	a)	Todas las personas escapan a tierras más altas, algunos son arrastrados.
			Pocos buques grandes se mueven a tierra o chocan entre sí. Objetos grandes se van a la deriva. Persiste
		b)	la remoción de playas, ensuciándolas plenamente. Se producen extensas inundaciones y leves daños en
VIII			el bosque de control de tsunamis; se detienen derivas.
			Muchas balsas o botes son arrastrados y pocos son parcialmente dañados. Las estructuras de madera se
		()	v en de lejos o demolidas. Se producen daños de grado 2 en edificios de mampostería.
	Destructivo	a)	Muchas personas son arrastradas por la salida del mar en tierra.
			Grandes buques se mueven violentamente hacia tierra. Se produce la remoción extensa de las playas
IX		b)	ensuciándolas. Se hunde el terreno local. Se produce la destrucción parcial en bosques. La mayoría de
			embarcaciones artesanales son arrastradas y muchas parcialmente dañadas.
		c)	Se producen daños de grado 3 en muchas edificaciones de mampostería, edificios y diques artificiales.

x	Muy destructivo	х	Se produce un pánico general. La mayoría de las personas son arrastradas por el mar. Los buques se mueven violentamente hacia tierra, muchos se destruyen y/o colisionan con casas y edificios.
		b)	Se produce arrastre de autos y derrame de combustibles. Se inician incendios y se hunde la tierra.
		c)	Daños de grado 4 en albañilería y muchos edificios dañados. Se producen daños en diques artificiales.
XI		a)	
	Devastador	b)	Las carreteras se interrumpen. Se provocan incendios. El agua arrastra y desplaza automóviles y otros objetos en el mar.
		c)	Se producen daños de grado 5 en muchos edificios de mampostería.
XII		a)	
	Completamente	b)	
	dev astador	c)	Prácticamente todos los edificios de mampostería están demolidos. La gran mayoría de edificios sufre daños de manera considerable.

# Cuadro 2.6 (continuación ...) Escala de intensidad de tsunami según Papadopolus & Inamura (2001)

# **CAPÍTULO III** TSUNAMIS EN EL MUNDO

### **TSUNAMIS EN EL MUNDO**

Los tsunamis son eventos extremadamente energéticos que pueden modificar notoriamente los ambientes costeros. Dependiendo de la magnitud del fenómeno, pueden producir modificaciones ambientales, transitorias o permanentes, que a su vez pueden generar alteraciones sobre los sistemas productivos, en este caso a las costas peruanas.

Dentro de los diferentes ejemplos de tsunamis tenemos: los tsunamis generados a nivel mundial con efectos sobre las costas peruanas y los tsunamis generados en las costas peruanas.

# TSUNAMIS A NIVEL MUNDIAL CON EFECTOS SOBRE LAS COSTAS PERUANAS

Los tsunamis son reportados desde tiempos antiguos, en algunos lugares han sido documentados extensamente, tal es el caso de Japón, que está precisamente ubicado cerca del margen donde se unen cuatro placas tectónicas; estos eventos también son muy frecuentes en las áreas del Mediterráneo, océano Índico y a lo largo de la costa oeste de Sudamérica, especialmente, en Perú y Chile, que son unas de las costas del mundo más propensas a los tsunamis.

Cuatro de cada cinco tsunamis suceden en el Cinturón de Fuego del Pacífico; este se encuentra ubicado en las costas del océano Pacíficoy se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca.

Algunos ejemplos recientes de tsunamis que ocurrieron en el mundo y que afectaron las costas peruanas son: el tsunami en Chile del 27 de febrero de 2010 y el tsunami ocurrido en Japón el 11 de marzo de 2011.

## **TSUNAMI EN CHILE: 27 DE FEBRERO 2010**

Ocurrió el 27 de febrero de 2010, su origen fue posterior a un evento sísmico registrado el mismo día a las 6:34 GMT (01:34 hora Perú). El sismo presentó una magnitud Mw = 8.8, con epicentro en el mar a 104 kilómetros al sur-oeste de Talcahuano, Chile.

Spiske & Bahlburg (2011), presentan datos sedimentológicos de este tsunami en la localidad costera de Bucalemu en el centro de Chile. El tsunami depositó sedimentos de grano fino, así como, cantos y bloques. Los autores deducen parámetros del tsunami como velocidad del flujo y profundidad del flujo local a partir del análisis del transporte de guijarros y estructuras sedimentarias (figura 3.1). En consecuencia, interpretan la distribución de los clastos sobre la base del número de olas individuales a partir de una ubicación determinada de los clastos y guijarros.

Suscitado el evento sísmico, la PTWC (Pacific Tsunami Warning Center) emitió una alerta de tsunami para prácticamente todos los territorios que circundan el Pacífico, incluidos Nueva Zelanda, Australia, Rusia, Indonesia, Japón y Filipinas, también a toda la costa sudamericana (figura 3.2). Luego de que la primera ola inundara las costas cercanas al epicentro, este generó la pérdida y desaparición de muchas personas.

Según la Administración Nacional de Atmósfera y Océanos de Estados Unidos (NOAA), registraron el arribo de las olas en la Polinesia Francesa, donde alcanzaron una altura 108 centímetros por encima de su nivel normal.

En el Perú el SNAT (Sistema Nacional de Alerta de Tsunami), activó la alerta de tsunamis a todo el litoral indicando el tiempo de arribo de la primera ola, tanto en la zona sur, centro y norte:

Hora de arribo: Litoral sur: 04:42 horas. Hora de arribo: Litoral centro: 05:39 horas. Hora de arribo: Litoral norte: 06:53 horas.

Las redes mareográficas instaladas en el litoral peruano determinaron la altura de la ola de aproximadamente 1 metro, las cuales no afectaron consecuentemente las costas peruanas.

#### TSUNAMI EN JAPÓN: 11 DE MARZO 2011

Viene a ser uno de los tsunamis más catastróficos registrados de los últimos años con una altura de ola de hasta 10 metros. Este tsunami se generó luego de registrarse un sismo el 11 de marzo a las 05:46 GMT (00:46 hora - Perú) con una magnitud de 9.0 Mw cerca de la costa este de Honshu en Japón; el epicentro de este sismo se localizó a los 38.322°N, 142.369°E a 130 kilómetros de Sendai y a una profundidad de 24 kilómetros (figura 3.4).



Figura 3.1 Tomada de Spiske & Bahlburg (2011), información general de las evidencias sedimentarias de la inundación del tsunami en Bucalemu. (A) arena que cubre la vegetación, (B) bloques de material limoso pardo depositado en puntos topográficos bajos (hacia tierra), (C) ondulitas actuales alineadas en dirección del run up y marcas de erosión hacia el mar, (D) marcas de erosión hacia el mar; guijarros, cantos rodados y grietas de desecación en la capa de sedimentos, (E) hacia el norte del Grupo II y la zona de transición I, (F) vista hacia tierra de la zona de transición II desde el final del grupo III donde la mayoría cantos rodado están hacia tierra, y (G) vista hacia el sur del grupo III.



Figura 3.2 Epicentro del terremoto de Chile, febrero de 2010 (modificado de USGS 2010).



Figura 3.3 Mapa de alerta de tsunami para el Pacífico a partir del sismo y tsunami en Chile, el 27 de febrero de 2010, donde se muestra el tiempo de viaje proyectado y la altura de la ola de tsunami en centímetros. Fuente NOAA, 2010.

En la figura 3.4, elaborada por el Instituto de Física de la Tierra de París (IPGP), se observa una estrella de color rojo, que representa el lugar donde tuvo epicentro el sismo de magnitud 9 el 11/03/2011. El mecanismo focal (USGS: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/usc0001xgp/neic\_c0001xgp\_cmt.php) muestra que el plano de falla tiene un buzamiento hacia el oeste. Los puntos de color naranja muestran las réplicas durante las 24 horas siguientes después del sismo principal. La sismicidad durante los dos días anteriores al evento principal se indica con puntos de color rojo. El área de color púrpura indica la extensión aproximada de la zona de ruptura; según el USGS, el terremoto tuvo lugar en una falla de tipo compresivo, resultante del efecto interplacas de la zona de subducción de la placa del Pacífico bajo la placa okhotsk.

Este fue el más grande terremoto en 140 años que sufrió Japón, su desencadenante fue un tsunami de altura de ola de 10 metros en

la costa noroeste del país, que dejó centenares de muertos y arrasó todo lo que halló a su paso (figuras 3.5 y 3.6).

Tras el terremoto se generó una alerta de tsunami para la costa pacífica de Japón y países de la cuenca del Pacífico, incluidos Nueva Zelanda, Australia, Rusia, Guam, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea, Nauru, Hawái, Islas Marianas del Norte, Estados Unidos, Taiwán, América Central, México y en Sudamérica: Colombia, Perú, Ecuador y Chile (figura 3.7).

Los registros mareográficos del litoral peruano evidenciaron y confirmaron el arribo del tsunami, que tuvo una duración de más de 9 horas, estas ondas alcanzaron alturas entre 0.44 y 1.75 metros y un período promedio de 15 minutos. Asimismo, se observó que a pesar de haber terminado este evento se continuaron presentando algunas perturbaciones, debido principalmente a la geomorfología costera y a la presencia de oleajes anómalos que



Figura 3.4 Mapa de ubicación del sismo del 11/03/2011. Fuente IPGP (2011).



Figura 3.5 Las imágenes muestran Torinoumi en la costa oriental de Japón antes del desastre, el 5 de setiembre de 2010 y tras el tsunami el 12 de marzo de 2011. Imágenes adquiridas por la alemana RapidEye óptica y satélites de radar TerraSAR-X. Derechos de autor Rapid Eye AG, DLR, Google Earth. Mapa elaborado por ZKI N°. 04 (DLR, 2011).



Figura 3.6 Las imágenes se centran en la ciudad de Soma y la región circundante, que se vio gravemente afectada por el tsunami. Las imágenes muestran el antes del desastre (5 de septiembre de 2010) y el después del tsunami (12 de marzo de 2011). Imágenes adquiridas por la alemana RapidEye óptica y satélites de radar TerraSAR-X. Derechos de autor RapidEye AG, DLR, Google Earth. Mapa elaborado por ZKI N°. 05 (DLR, 2011).


Figura 3.7 Mapa de alerta de tsunami para el Pacífico a partir del sismo y tsunami en Japón, el 11 de marzo de 2011, donde se muestra el tiempo de viaje proyectado y la altura de la ola de tsunami. Fuente NOAA, 2011.

arribaron a las zonas sur y central del litoral. Hubo muchas embarcaciones, principalmente artesanales, que sufrieron daños como consecuencia del tsunami.

La Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú elaboró mapas identificando las zonas afectadas por la inundación, debido al tsunami en la zona de Lima-Callao (figuras 3.8 y 3.9, cuadros 3.1 y 3.2).

Cuadro 3.1 Medición de campo efectuada cerca al Muelle de Pescadores – Ancón (DHN, 2011)

Sección	Latitud	Longitud	Hora	Fecha	Distancia Inundada (m)
1	-11.77203	-77.1749	10:42	13.03.2011	95

Cuadro 3.2
Mediciones de campo efectuadas en playa Los Delfines (DHN, 2011)

Sección	Latitud	Longitud	Hora	Fecha	Distancia Inundada (m)
1	-12.11668	-77.04983	11:40	12.03.2011	30
2	-12.11726	-77.04921	11:45	12.03.2011	25
3	-12.11805	-77.04745	11:48	12.03.2011	37



Figura 3.8 Zonas afectadas por la inundación cerca al muelle Pescadores-Ancón. Modificado de la Dirección de Hidrografía y Navegación.



Figura 3.9 Zonas afectadas por inundación en la playa Los Delfines. Modificado de la Dirección de Hidrografía y Navegación.

## **TSUNAMIS EN LAS COSTAS PERUANAS**

El Perú presenta una actividad sísmica muy activa, esta se debe al proceso de subducción que se da por el movimiento intraplacas entre la placa Sudamericana y la placa Oceánica, los cuales se producen en su mayoría en la línea costera, lo que genera como efecto secundario olas de tsunamis.

El Perú es afectado constantemente por procesos geológicos, ya sean terremotos frente a las costas peruanas o a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico. Los recientes tsunamis que azotaron

las costas peruanas, producto de sismos con epicentros en el mar peruano, son los tsunamis de Camaná y de Pisco.

## Tsunami en Camaná: 23 de junio de 2001

El 23 de junio de 2001 a las 15:33 hora local, ocurrió un sismo de magnitud 8.2 Mw, con epicentro en 16.15° S, 74.4° W, ubicado a 82 kilómetros al noroeste del distrito de Ocoña, departamento de Arequipa, Perú. (figura 3.10).



Figura 3.10 Ubicación del epicentro del sismo del 23-06-2001, donde se muestran las líneas de intensidad del movimiento sísmico.

El sismo generó un tsunami que afectó el sur del Perú, las localidades afectadas van desde el norte de Chala hasta el sur de Moquegua. La ola de tsunami llegó a medir hasta 6 metros de altura y produjo inundaciones de 1 kilómetro en Camaná (figura 3.11), donde el resultado fue de 60 víctimas fatales, 30 personas desaparecidas, importantes modificaciones morfológicas en la costa y millones de

dólares en pérdidas materiales (cultivos e infraestructura). Asimismo, en otros puntos del mundo, se observaron olas con las siguientes alturas: 2.57 metros en Arica (Chile), 0.7 metros en Hilo (Hawai), 0.24 metros en Sandpoint (Alaska), 0.55 metros en Nueva Zelanda y 0.5 metros en Hanasaki (Japón).





Tanto al norte de Ocoña como al sur de Matarani, la altura del tsunami no sobrepasó el nivel de pleamar. Cabe mencionar que el tsunami impactó la costa en el momento en el que la marea alcanzaba su nivel más bajo. La propagación transoceánica del tsunami se registró en los mareogramas de Hawaii, Japón, Australia, Nueva Zelanda, y Chile, con alturas entre 5 y 20 centímetros. En el mareograma del Callao, el tsunami se registró 90 minutos después del sismo con altura de 40 centímetros.

#### Observaciones post-tsunami

INDECI realizó la evaluación post-tsunami y concluyó que, entre los daños ocasionados por las olas de tsunami más de 2000 edificaciones resultaron dañadas y la mayoría de estas quedaron prácticamente destruidas por la fuerza del agua (fotografía 3.1 y fotografía 3.2). Se han reportado 25 personas fallecidas y 62 desaparecidas. Además, ocasionó daños a 2000 hectáreas de tierras de cultivo existentes en el valle de Camaná.

Los testimonios de pobladores del lugar que vivieron directamente el fenómeno coinciden en indicar que se presentaron después del terremoto tres oleajes que avanzaron en una secuencia de acometidas y retiradas, siendo la tercera la que ocasionó mayores daños.

Así mismo, la llegada de la primera oleada estuvo precedida por un «retroceso» previo del mar, que ocurrió entre 15 a 20 minutos después del terremoto, la altura de la ola como se indicó bordeó los 6 metros. La fuerza de llegada de las olas vino en forma cruzada del sur y norte.



Fotografía 3.1 Vista de vivienda de material noble destruida por el tsunami, al sur de Camaná.



Fotografía 3.2 Zanja en donde se encontró material de construcción (yeso) a 0.40 metros de profundidad con relación a la superficie. El material de construcción fue transportado varios cientos de metros de su origen.

La playa sur que comprende los sectores de El Chorro, Chira, la Punta y Cerrillos, fue el sector más afectado en cuanto a daños materiales y vidas humanas (fotografía 3.3), debido a que el poder destructivo de la ola de tsunami estuvo favorecido por las condiciones topográficas y de fricción del suelo en su avance a tierra, es decir,

son de pendiente suave y no presentan accidentes, lo que facilita la acción de las olas. Aquí la inundación del primer y tercer oleaje alcanzó la misma altura tierra adentro y tuvo como límite la carretera Panamericana. El segundo oleaje avanzó en cotas inferiores a las anteriores.





En la playa central, en el sector la Calderona, el oleaje desarrolló una franja de inundación que alcanzó los 2 kilómetros tierra adentro, coincidente con terrenos bajos, de cota negativa, que facilitaron un avance considerable de las aguas marinas a proximidades cercanas a la población urbana del cercado bajo de Camaná. Si bien los efectos destructivos son de menor intensidad, la llegada de los oleajes primero y tercero es similar al anterior, ya que inundó tierra adentro en mayor proporción, mientras que, en el segundo oleaje, la inundación fue comparativamente menor.

En la playa norte desde Jaguay, Santa Elizabeth, Santa Mónica y Saranda, los daños se encuentran referidos a inundaciones sobre terrenos de cultivo, debido posiblemente a que gran parte de la franja próxima a la línea de playa presenta una topografía ondulada con promontorios de arena y otros accidentes menores que se extienden a lo largo de ella, así como, canales de riego, los que han atenuado la energía de los oleajes. El avance de los oleajes contrasta con los anteriores ya que el primero alcanzó a inundar en el orden de los 100 metros de la línea de playa y desapareció en las inmediaciones de la desembocadura del río. Luego, el segundo inundó entre 500 y 700 metros tierra adentro y, finalmente, el tercero alcanzó a inundar terrenos entre 900 y 1200 metros tierra adentro.

Jaffe et al. (2003) observaron depósitos sedimentarios del tsunami. En la mayoría de los lugares donde se produjo la inundación significativa, la identificación de depósitos fue bastante simple cuando recubrían una superficie preexistente conocida de textura distinta, como suelos agrícolas (La Quinta, Playa Jahuay) y, fué difícil, cuando el material subyacente era arena de la playa similar, tanto en textura como en visualización. La identificación de los depósitos de tsunami se basa en varios criterios que incluyen las diferencias de tamaño de grano y el color. En estos depósitos el tamaño de grano generalmente es decreciente y se observan clastos *rip-up* (piezas de material de sedimento subyacente arrastrado por el tsunami) pueden estar presentes. La base del depósito erosiona las estructuras subyacentes y una capa de mineral pesado puede estar presente en la base.

El depósito de tsunami en La Quinta recubre el suelo agrícola. Una fina capa de barro divide el depósito en dos capas distintas. Una tapa de barro también cubre la superficie del depósito. Clasificación normal es claramente visible en la capa inferior (fotografía 3.4).



Fotografía 3.4 Depósito Tsunami que cubre capa de barro en Pampa Grande (Tomada de Jaffe et al., 2003).

## Tsunami en Pisco: 15 de agosto 2007

El 15 de agosto de 2007 a las 23:40:57 UTC (18:40 hora local) ocurrió un sismo a unos 20 kilómetros de la costa de Pisco, cuyo epicentro según el IGP se localizó en latitud: 13.67°S, longitud: 76.76°O, a una profundidad de 18 kilómetros, con una magnitud de 8.0 Mw. Este sismo tuvo una duración aproximada de 210 segundos y aconteció en el área de convergencia entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, con una intensidad VII y VIII en la escala de Mercalli Modificada (MM), lo que causó graves daños a la ciudad costera de Pisco y afectó principalmente a las poblaciones ubicadas en la bahía de Pisco y en la península de Paracas.

A consecuencia de este sismo se generó un tsunami que arribó a cada una de las regiones costeras del Perú (figura 3.12), con diferentes tiempos y alturas.

#### Observaciones de campo post-tsunami

Las observaciones de campo post-tsunami a cargo de la Dirección de Hidrografía y Navegación abarcaron aproximadamente 275 kilómetros de la línea de costa del océano Pacífico, desde Lima por el norte hasta la región desértica en la bahía de la Independencia a 50 kilómetros al sur de Paracas. El equipo midió las profundidades de flujo locales, alturas del tsunami, máximo *run-up*, distancias de inundación, y el daño estructural registrado. Los testigos presenciales describieron dos a tres olas principales, sobre todo, una recesión inicial correspondiente a la principal depresión de la ola.

El mayor incremento del nivel del mar que se pudo documentar fue localizado en la playa Yumaque, al sureste de la caleta Lagunillas, donde alcanzó una altura máxima de inundación de 10 metros con respecto al nivel medio del mar y logró una máxima inundación de



Figura 3.12 Efectos del tsunami del 15-08-2007. El color celeste determina el área de inundación de la ola de tsunami. Los lugares más afectados fueron la playa Barranquillo, Camacho, San Andrés, la bahía de Paracas y la playa Lagunillas.

70 metros, fue el tsunami más grande y, por suerte, no se registraron víctimas debido a que este lugar presentaba playas desérticas.

Los establecimientos permanentes más cercanos a Rancherío y Lagunillas fueron fuertemente afectados por las olas (fotografía 3.5). En Lagunillas, el tsunami inundó hasta 2 kilómetros tierra adentro con máximo *run-up* de hasta 4 metros en el límite de inundación y alturas de *run-up* de 5 a 6 metros en el lugar en que se encontraba el pueblo en la línea de costa. Más de veinte barcos

fueron arrastrados a tierra y depositados hasta 1.3 kilómetros tierra adentro (fotografías 3.6 y 3.7).

En la ciudad de Paracas, se había dañado un embarcadero debido a la licuefacción de la arena lo que causó el descenso de pilotes diferenciales de hasta 0.3 metros, mientras que, la cubierta flotante del embarcadero se elevaba debido al tsunami y se fijaba a una elevación de 2.5 metros.



Fotografía 3.5 La línea punteada de color negro indica el nivel alcanzado por la ola de tsunami, se estima una altura de 2.30 metros. Las flechas rojas indican el socavamiento causado al ingreso y retorno de la ola de tsunami. Bahía la Aguada, Paracas.



Fotografía 3.6 Se observa color celeste el área invadida por las olas de tsunami y la destrucción de viviendas en la bahía de Paracas.



Fotografía 3.7 Barcos arrastrados por la ola de tsunami, bahía de Paracas.

Al norte de la península de Paracas el tsunami tenía alturas características de 3 metros. Sin embargo las embarcaciones fueron arrastradas a las calles en Pisco y; la prisión de Tambo de Mora en Chincha Alta fue parcialmente inundada.

Con la vista al campo, días después al evento, se pudo observar evidencias de depósitos de tsunamis, así como, también de erosión. Por ejemplo, en el sector de Chincha, se observó que la zona de playa modificada mostraba clastos rasgados o erosionados producto del ingreso del mar tierra dentro y algunas raíces de árboles quedaron expuestas (fotografía 3.8). Propagación transoceánica del tsunami

La propagación transoceánica de este tsunami se registró en todas las costas de la cuenca del Pacífico de acuerdo a la información brindada por la Agencia Meteorológica de Japón (AMJ). En el caso de Japón, arribó con una altura de 20 centímetros en la provincia de lwate al norte de Honsu, la mayor de las islas japonesas. Posteriormente, se registraron anomalías en el tamaño de las olas en las costas de Hokkaido (al norte de Japón) y Kyushu (al sureste de Japón), así como, en el archipiélago meridional de Okinawa.



Fotografía 3.8 Evidencia de erosión del litoral por ingreso del mar, sector Chincha.

## CATÁLOGO DE TSUNAMIS EN EL PERÚ

El planeta Tierra se encuentra dividido en placas que se mueven continuamente entre sí, la colisión de estas placas son generadoras de terremotos con altas magnitudes, de producirse estos eventos en el océano, terminan generando olas de tsunami, que afectan la mayoría de veces a ciudades que se encuentran emplazadas en los litorales marinos.

El Perú no es ajeno a estos eventos, ya que presenta una intensa ocurrencia de sismos por encontrarse dentro del Círculo de Fuego

del Pacífico. Mucho de estos sismos son detonados a lo largo del litoral peruano con altas magnitudes, producto de la subducción entre la placa Oceánica y la placa Sudamericana, lo que llega a desencadenar olas de tsunamis que afectan al litoral peruano.

En el cuadro 3.3 se presenta el catálogo de tsunamis que llegaron a afectar el litoral peruano, ya sean por tsunamis generados frente a las costas peruanas o en otras partes del mundo. Cuadro 3.3 Catálogo de tsunamis que afectaron al Perú (Carpio & Tavera, 2002)

Localidades afectadas		Camaná, Quilca, Matarani, Mollendo.	Camaná, Quilca, Matarani, Mollendo.	Callao, Lima	Callao, Lima	costa central de Chile	Callao, Lima	costa central de Chile	Callao, Lima	Arequipa	Lima	Lima	Lima	Callao	Arequipa	sur del Perú, norte de Chile	Huanchaco (La Libertad)	Callao, Lima	Callao, Lima	sur del Perú, norte de Chile	Pacasmayo, Malabrigo, Huanchaco. Puerto Mori						
RGT (Región Generación	del Tsunami)	SAM	SAM	SAM	SAM		SAM					SAM	SAM	WYS	SAM	SAM		WYS	WYS	SAM	WYS	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM
>		2		1	1		٦					0	0	١	0	4		2	2	١	١	4	1	1	1	4	1
ပ		Т	ΤL	Ц	T		L					L	T	T	T	L		T	T	⊢	T	⊢	L	T	L	⊢	T
<u></u> ш																20						20					
<u> </u>		S	z	z	z		z					z				_						_	z			Σ	
Vobs		1											0	1		5		1				4				2	0
H H Tax	Ola					16		4	4		4					26	24					16				4	
Int. Tsunami		3				6.5		С	2.5		2.5			1.5		3.5	3.5	1.5				3.5				1.5	
Mt (Magnitud	tsunami)					4		2	2		2						4										
Int. Fuente	i neilte				N		×					N	Х	IIΛ	IIΛ	×		IIΛ	IX	X	×	×	N	×	×	XI	XI
Mo Sísmico	0131111610																										
Mw													7.5												8.6		8.7
Mn																											
Ms		8.7		6.5	8.4	8	6.6	8.8	7.3		7.8	7.6	8.2	7.8	8.4	8.6		7.7	7.9		8.1	9.4	6.5		7.4	8.8	8.6
dM																								6.8			
z		30	30	30	30		30					30	30	30	30	40		40	20	9	20	30	40	60	40	40	40
Long		-72.3	-72.4	-77.8	-77.6	73.5	-77.7	-73	-70.6	-74	-73.2	-77.7	-71.6	-77.6	-77.8	-77	77.7	-72.9	-70.9	-70.8	-70.8	-71	-80.3	-77.8	-77.4	-71	-79
Lat		-17.2	-17.2	-12.2	-11.9	-38	-12.3	-37	-33	40	-39.8	-12.3	-16	-12.2	-11.8	-12.1	12.2	-17.2	-16.8	-16.7	-16.6	-17.9	L-	-11.8	-11.9	-18.3	-7.9
Día	╡				15	28	4	ω	17	9	16		22	15	17	10	6		19	19	28	24	23	25	20	16	14
Mes				-	11	10	4	2	ო	12	12		-	8	ო	7	7		2	2	2	1	с	10	10	6	2
Año		1513	1515	1533	1555	1562	1568	1570	1575	1575	1575	1581	1582	1582	1584	1586	1589	1590	1600	1600	1600	1604	1606	1606	1609	1615	1619
å		-	2	ы	4	5	9	7	ω	6	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		_		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	_	

Г

Localidades afectadas	Callao, Chorrillos, Pachacamac, Punta Hermosa	Pisco	Perú	Pisco, Paracas, Barlovento.	Argentina, Chile, sur de Perú	Pacasmayo, Malabrigo, Huanchaco, Puerto Mori	costa central de Chile	L. Grande, Pisco, Paracas,	Barlovento, P. Lomitas, P.	Caballas, San Juan Marcona.	Huacho, Chancay, Ancón,	Callao, Chorrillos (Lima)	Huacho, Chancay, Ancón,	Callao, Chorrillos (Lima)	sur del Perú, norte de Chile	sur del Perú, norte de Chile	sur del Perú, norte de Chile	Pisco, Callao, Lima	Huacho, Chancay, Ancón,	Callao, Chorrillos (Lima)	sur del Perú, norte de Chile	sur del Perú, norte de Chile	Pisco, Nazca, Callao, Lima.	Lomas, Chala, Atico,	Camaná, Quilca, Matarani,	Mollendo, Mejia.	sur del Perú, norte de Chile	Ancón, Callao, Chorrillos
RGT (Región Generación del Tsunami)	WYS		SAM	SAM	SAM	WWS			SAM			NINO	MV J	NAIN	MAS		MAS	SAM	MAS		MAS	WYS	SAM		SAM			SAM
>	1		3	1	2	1			-		۲	-	۲	-	3		2	4	٢	-	0	3			2			
ပ	Т		⊢	н	н	T			⊢		+	-	F	-	T		T	Т	Ŧ	-	T	T	T		⊢			⊢
ц			2000															5000										
٥			s															Μ			Μ				s			
Nobs			9	0											1		1	14			2	1			2			
H max Ola			2.8				8											8			8				2		16	
Int. Tsunami			2				2.5											3.5							1.5		3.5	
Mt (Magnitud tsunami)							3																				4	
Int. Fuente	IIΛ			١١٨		IIΛ			×		~	≤	~	<u>≺</u>				Х	1/1	>								2
Mo Sísmico																		1.00+24										
Mw											~ ~	1.1						8.6										
Mn																												
Ms	7.5		8.5	7.9	8	7.7	8		7.3						7.5		7.3	8.2	6 2	1.		7.5			9		8	6.9
Mb																												
z	30		40	40	40	40			15		07	0 <del>1</del>	07	40			7.3	30	70	) t			50		50			50
Long	-77.5	-77.78	-77.5	-76.5		-80.1	-73		-75.9		77 0	0.11-	77 0	0.11-	-70.3	-79.5	-70.7	-76.5	77_	-	-70.2	-70.3	-71.2		-73		-71.5	-77.6
Lat	-12.2	-13.68	-12.2	-14		-8.2	-37		-14.4		0.01	0.21-	C ()	0.21-	-18.5	-13.5	-32.8	-13.2	-17 G	0.21 -	-18.6	-18.5	-17.2		-16.7		-32.5	-11.8
Día	27	12	7	13	14	14	15		12		10	0	0	0	10	19	12	20	20	24	26	23	11		25		8	2
Mes	11	5	5	5	5	2	с		5		Ċ.	o	u u	٥	3	10	7	10	7	=	11	8	2		ო		7	12
Año	1630	1644	1647	1647	1674	1658	1657		1664		1670	0/01	1670	0/01	1681	1682	1687	1687	1690	2000	1705	1715	1716		1725		1730	1732
٥N	27	28	29	30	31	32	33		34		30	с <b>с</b>	36	20	37	38	39	40	11	- F	42	43	44		45		46	47
						-		_		_		_			_	_				_							_	_

Depósitos de Paleotsunamis en la Costa Central y Sur del Perú

Cuadro 3.3 (continuación ...) Catálogo de tsunamis que afectaron al Perú (Carpio & Tavera, 2002)

Localidades afectadas	costa central de Chile	Lima, Callao	costa central de Chile	costa central de Chile	sur del Perú, norte de Chile	Ancón, Callao, Chorrillos	costa central de Chile	costa central de Chile	Ancón, Callao, Chorrillos	llo (Moquehua)	costa central de Chile	costa central de Chile	Callao	costa central de Chile	costa central de Chile	norte	Ancón, Callao, Chorrillos		sur del Perú, norte de Chile	Tacna, Arica	Sur del Perú, Norte de Chile	Arequipa	Lima	costa central de Chile	sur del Perú, norte de Chile	costa peruana (tsunami en	Islandia)	costa central de Chile	sur del Perú, norte de Chile	costa central de Chile
RGT (Región Generación del Tsunami)		SAM			SAM	SAM			SAM	SAM							SAM		SAM	SAM	SAM	SAM	SAM		SAM		002		SAM	
>		4			0	١			١	٢							3		4	-	4	٢	-		4	ſ	°			
С		T			T	T			T	T							T		T	Т	T	T	T		Γ	F	-		⊢	
F		3800			54														612						512					
D		L			s												n		Γ		s	s			L	_	L			
Nobs		7			0												1		115		4	1			117		-			
H max Ola		24					4				15		2	4	2.8	5.5	0.7	2	18		2	2		2.8	21	, ,	7	2		0.7
Int. Tsunami		3.5					2				4		1.5		2	2.5		1	4		1.5	1		2	4	~	C			
Mt (Magnitud tsunami)		9.2						2						2		2.5			6									1		
Int. Fuente		Х			Х	IIΛ			IIΛ	IIΛ									Х	١٧	١٨				IIΛ				IIΛ	
Mo Sísmico																														
Mw		8.6		8.2						7.2	8.2	7.5		7.5	7.2	7.7			9.1						9					
Mn																														
Ms							8.5			7.7									8.8	8.6	8.4	7	7		8.8	7 5	, S	7	7.9	
dM																														
z		30			27	30			50	09									25	25	30				40				40	
Long	-73	-77.2	-74	-73	-72	-78	-71.5	-72	-77.8	-71	-73	-70.3	-77.1	-71.5	-70.5	-70	-77.1	-77.1	-71.6	-70.6	-72	-77		-70.4	-71.2	160.1	103.4	-71.3	-77	
Lat	-36.8	-12	-36	-37	-16.5	-12	-27	-33	-12.1	-18.3	-36.8	-22.5	-12.1	-30	-28	-27	-12	-12	-16.4	-18.3	-17.5	-13		-23.6	-13.3	10 6	- ומיס	-16.3	-20.1	
Día	23	29	24	24	13	1	1	19	30	18	20	З	23	17	26	5	23	8	13	13	24	21	10	19	10	0	2	23	23	14
Mes	3	10	5	5	5	12	4	11	З	6	2	7	5	12	5	10	4	1	8	8	8	8	1	11	5	Ŧ	-	-	-	2
Año	1742	1746	1750	1751	1784	1806	1819	1822	1828	1833	1835	1837	1847	1849	1851	1859	1860	1865	1868	1868	1869	1871	1872	1873	1877	1070	10/0	1878	1878	1878
N°	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	7.2	2	74	75	76
	-	-		-			-	-					-	-	-			-	-		-			-						-

_																													
	Localidades afectadas	Explosión del volcán Krakatoa (Indonesia) afectó las costas de indonesia.	llo, Ite, Vila Vila	llo, Ite, Vila Vila	norte de Perú	sur del Perú, norte de Chile	sur del Perú, norte de Chile	sur del Perú, norte de Chile	Perú	sur del Perú, norte de Chile	Pachacamac, El Silencio,	Punta Hermosa, San Bartolo,		sur del Perú, norte de Chile	sur del Perú, norte de Chile	Tumbes, Piura	sur del Perú, norte de Chile	sur de Arequipa , norte de	Piura	Callao	península de Santa Elena	Callao, Lima	Lumbes	Tumbes	Tumbes	Sur de Tacna	Ancash	Lambayeque	Callao, Lima
	RGT (Región Generación del Tsunami)	QNI	SAM	WYS	WYS	SAM	NAS	WYS	WYS	WYS		SAM		WAS	SAM	WYS	WYS	WYS	WYS			WYS	WYS	WAS	WAS	SAM	SAM	SAM	SAM
	V	4	2	1	1	1	2	1	4	1		-		1	1	1	1	-	1			1	1	1	1	1	1	1	-
	С	MV	Т	Τ	T	Т	Т	Т	T	T		F		T	н	T	Τ	F	T			T	T	Т	Т	Т	Г	Т	⊢
002)	F	36000																											250
era, 2	D	Γ	S			z			S																				လ
& Tave	Nobs	64	5			1	1		1				2.3																1
arpio	H max Ola	35	1.5			0.7			1				5																2
al Perú (Cà	Int. Tsunami	4.5	0			0			1.5				2.5																1.5
afectaron	Mt (Magnitud tsunami)																												
nis que	Int. Fuente		VII	IIΛ	Х	X	Х	Х		Х		5			١١٨							١٨				VI	Х		×
o de tsunai	Mo Sísmico																												
álogo	Mw																												7.9
Cat	Mn																												
	Ms					7	7.8						7.8	7.2	7.4	6.8		6.9	9			6.5	6.9	9	9	6.9	6.2	9	8
	dM																										5.7	5.6	6.6
	z		30	30	30	30	80	20	33	15		40			50	60						60				11	25		50
	Long	105.4	-71	-70.8	-80.4	-73.3	-73.5	-72.9	-76.6	-73.3		-76.8	-71	-73	-72.5	-82	-73	-73	-81.5	-69.5	-81	-76.5	-81	-80.8	-80.8	-69.5	-75.6	-80	-77.8
	Lat	-6.1	-18.3	-18.2	-5.6	-16.6	-15.8	-14.2	-12	-15.2		-12.9	-26	-16.5	-16	4	-18	-18	9-	-13	-2	-13.2	-2	-1.8	-1.8	-19.5	-10.6	-7	-11.2
	Día	27	5	16	24	28	9	4	12	2		21	4	9	11	11	16	25	13	27	10	9	2	3	3	4	24	5	24
	Mes	8	5	9	7	7	8	11	-	12		ω	12	-	10	З	3	10	З	4	2	8	10	10	10	12	12	5	5
	Año	1883	1906	1908	1912	1913	1913	1913	1914	1914		1915	1918	1922	1922	1924	1925	1925	1927	1928	1933	1933	1933	1933	1933	1934	1937	1940	1940
	ů	17	78	62	80	81	82	83	84	85		88	87	88	89	6	91	92	93	94	95	96	97	98	66	100	101	102	103

Cuadro 3.3 (continuación ...) de tsunamis que afectaron al Perú (Carpio & Tave

Depósitos de Paleotsunamis en la Costa Central y Sur del Perú

Cuadro 3.3 (continuación)	Catálogo de tsunamis que afectaron al Perú (Carpio & Tavera, 2002)
---------------------------	--

	_							-											-							
Localidades afectadas	sur de Perú, norte de Chile	Camaná	sur de Ica	Matarani, Talara, Callao, Aleutianas	llo, Camaná,Chala, Pisco	Sur de Lima	Arequipa	Tacna		lca	norte de Tumbes	Chala	sur de Tacna	sur de lca	Callao	sur de Tumbes	Costas de Esmeraldas (Ecuador), Callao (Peru)	Arequipa	lca	Piura	Piura	Piura	Arequipa	sur de Ica	sur de Perú, norte de Chile	Callao, Chimbote, Matarani, San Juan, Talara, Corral-sur
RGT (Región Generación del Tsunami)	SAM	SAM	SAM	WWS	SAM	SAM	SAM	SAM		SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM		SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	WWS
>	4	-	١	4	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	Ļ	-		4
ပ	Ľ	L	T	T	L	L	⊢	⊢		⊢	T	L	L	L	L	⊢		⊢	⊢	T	T	⊢	T	T	⊢	T
F	22			173																						534
D	S			_																						_
Nobs	3			478																						630
H max Ola	2			35					0.7																	26
Int. Tsunami	1			4					0																	5
Mt (Magnitud tsunami)				9.3																						9.4
Int. <sup>-</sup> uente	Х		٨		Х	IIΛ	N	N		N	X	N	٨			N		×			IIΛ		Х	IIΛ	N	
Mo Sísmico I	2.70E+23										1.77E+22													8.00E+21	5.70E-21	
Mw	8.2			8.5																					7.2	9.5
Mn																										
Ms	8.1	6.8	6.1	7.4		2	7.1	7.3		6.4	7.8	6.9	7.1	6.5	6.3	6.3		7	6.4		7.4		7.5	7		8.6
Мb	6.7	5.9				9	6.1	6.4			6.7	5.9	6.3	5.8	5.7	5.7			5.8	6.4	6.2	6.4	6.2		6.7	
z	70		40	50	30	09	30			50	30	09	11			40		60		33	40	33	09	70	39	44
Long	-74.7	-74	-76.3	-163.5	-71.8	-76.5	-74.3	-69	76.3	-76.3	-80.5	-74	-70	-75.3	-78	-81.9	-79.37	-72	-75.7	-82.5	-81.1	-82.5	-72.1	-75	-79	-72.65
Lat	-15.6	-16	-15.3	52.8	-17.9	-13	-16.2	-19.8	14.6	-14.2	-3.9	-15.4	-19	-15.5	-12.5	-4.3	-1.22	-16.5	-14.8	-4.5	-4.2	4	-16.2	-15	-10	-38.3
Día	24	5	6	<del>.</del>	11	28	20	25	10	с	12	21	œ	12	24	ω	<del></del>	15	e	26	7	11	13	15	18	22
Mes	8	7	6	4	5	5	7	4	12	5	12	7	1	10	1	ω	19	-	+	1	2	2	1	-	4	5
Año I	1942	1943	1945	1946	1948	1948	1948	1949	1950	1952	1953	1955	1956	1956	1957	1957	1958	1958	1959	1959	1959	1959	1960	1960	1960	1960
°N	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129
																		1								

-			-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
		Localidades afectadas	Piura	La Libertad	Chimbote	Callao, La Punta Matarani,	San Juan Camana.	C himbote	Chimbote	Lambay eque	Lima	Chimbote	C himbote	Tacna, Arica	norte de Perú	norte de Perú	Callao, Lima	Callao, Lima	Camaná	norte de Perú, Colombia	norte de Perú	norte de Perú	Nazca	Camaná, Matarani	Chincha, Pisco, Paracas				
	RGT (Región	Generacion del Tsunami)	SAM	SAM	SAM	V V	ç	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM		SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM	SAM
	:	>	4	-	-	K	t	4	4	-	-	4	-	-	-	-	4	-	-		-	4	4	4	-	-	4	-	4
	0	с С	L	L	L	F	1	Г	Г	L	L	Т	T	Т	T	L	L	T	T		L	Ę	L	Т	L	T	T	T	⊢
	L	L.	7			115	2	125									78					2	0	20			0		
ľ	(	a	Σ			-	_	ε	S			ა					ა					Σ	z	S			S		S
ľ		sdov	53			303	200	67	2			4					15					46	-	67			e		
ŀ	Ξ.	ola I	6			67 1		с	2			1.8					1.8			2.5		5	0.4	7			4		9
	Int.	I sunami	2.5			ЛБ	ţ	1.5	1.5			~					-					1.9	-	-					-
		(Magnitud tsunami)				10	0	8.2									8.1			7.9		7.8	7.9	8.2					8.5
Ī	Int.	uente	>	>	II>			×			×	×			×		×	>	NIII					ΠI					lll v
-	Mo	Sísmico F	5.70E+22	1.30E+18	3.00E+21			2.00E+23	3.09E+21	3.50E+20	6.00E+20	1.00E+22	5.50+20	8.10E+20	6.70E+21	8.60E+19	9.00E+22		2.70E+21		2.70E+19								2.305+21
Ī		MM		7.1	6.9	a	Ū	8.1	7	6.3	6.4	7.9	6.4	6.6	7.2	9	8.1	8.1			5.6	7.8	7.7	8.3			7.6	6.4	7.9
ľ	:	ЧИ																											
I	:	Ms	6.8	6.6		۲۵	†. 0	8	6.7	6.4	9	7.8	9	6.4	7.1		7.8	7.2	6.9		6.3	7.5	7.3	8.4		6.7			7.0
		dM	5.9		9			6.4	6.2	5.8	5.9	6.4	5.8		6.3	5.6	6.2	9	6.2		5.3				6.1				
	I	7	60	23	80	7	-	37	35	30	68	71	54	44	21	39	21	13	53		39	1	17	33	33	24	33	33	60
		Long	-80.9	-81.6	-78.2	157 7	- 101 -	-78.7	-79.7	-80.4	-76.4	-78.8	-78.7	-70.1	-80.7	-80.9	-77.5	-77.6	-72.6	-79.39	-81.4	-79	-75	-73.4	-72.6	-71.7	-72.1	-69.3	-76.76
Ī		Lat	-5.6	-7.1	-10.8	ۍ ۲	5	-10.8	-10.8	-6.9	-13.2	-9.3	-9.9	-22.3	4.1	4	-12.3	-12.5	-16.6	-1.58	-6.5	-9.7	-14	-16.2	-17.2	-17.8	-17.5	-19.5	13.67
ŀ	ì	DIa	20	29	20	ğ	0	17	с	8	28	31	4	19	10	6	З	6	16	12	28	21	12	23	23	26	7	72	15
ŀ		Mes	7	ω	6	ç	c C	10	6	~	6	5	9	9	12	1	9	1	2	12	2	2	1	9	9	9	7	7	ω
ľ	2	Ano	1960	1963	1963	1061	5	1966	1967	1968	1968	1970	1970	1970	1970	1973	1974	1974	1979	1979	1981	1996	1996	2001	2001	2001	2001	2001	2007
ŀ		Š	130	131	132	122	3	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155
1									-			-								÷		÷				-			<u>.</u>

N⁰	Numeración correlativa para los eventos generadores de tsunami
Año	Año de ocurrencia del evento generador del tsunami
Mes	Mes de ocurrencia del evento generador del tsunami
Día	Día de ocurrencia del evento generador del tsunami
Lat	Latitud de la fuente de generación del tsunami
Long	Longitud de la fuente de generación del tsunami
Z	Profundidad de ocurrencia de la fuente de generación del tsunami
dM	Magnitud de ondas del sismo generador del tsunami
Ms	Magnitud de ondas superficiales del sismo generador de del tsunami
Mw	Magnitud de Momento del sismo generador de tsunami
Mm	Magnitud de ondas de capa para el evento generador del tsunami (Sistema TREMORS)
Mo	Momento sísmico del sismo generador del tsunami
Int. Fuente.	Intensidad del evento generador del tsunami
Mt	Magnitud del sismo generador del tsunami obtenido a partir de la altura máxima de las olas del tsunami
	-1: Tsunami muy ligero: Perceptible por los mareógrafos
-	0. Tsunami ligero con olas observadas por personas que viven cerca de la playa y están familiarizados con el mar
Int. tsunamı - (intensidad	1: Tsunami regular al ser observado por todos: El tsunami puede llevar tierra adentro algunas embarcaciones pequeñas
dei tsunami segun ia escala de Soloviev.	2: Tsunami grande que inunda las playas con olas de cierto tamaño, además produce ligera erosión en los terrenos de relleno
Inamilira (Soloviev 1978))	3. Tsunami muy grande. Inunda toda la costa con olas de cierto tamaño, además produce ligera erosión en los terrenos de relleno
	4: Tsunami desastroso. Produce destrucción parcial o total de las edificaciones hasta una cierta distancia de la playa. Inundación en toda la costa con
	olas de gran altura. Los barcos grandes sufren graves daños.
Hmax.	Altura máxima de las olas del tsunami. Máxímo run-up medido en la costa o máxima amplitud leída en el mareógrafo (metros)
Nobs.	Numeró total de observaciones disponibles del run-up y de marea.
	N - No dañino
	S - Daños pequeños
u - (uarios prouduluos pur el ferinami en el litoral)	M - Daños moderados
	L - Daños severos
	E - Daños extremos
ш	F - Reporte del número de fallecidos a consecuencia del tsunami

Dónde:

	T – Tectónico
	V - Volcánico
	L - Derrumbes, avalanchas, alud
с - (causas u origen aer tsunami)	M – Metereológico
	E - Explosión
	I - Impacto
	U - Desconocido
	Es posible que un tsunami se genere por más de una causa. Por ejemplo, un tsunami generado por un sismo que ocasiona inestabilidad del suelo en
	el fondo marino y produce luego un derrumbe.
	4: Tsunamis ocurrido y confirmado por diferentes fuentes de información o cuyo origen se desconoce
>	3: Posible ocurrencia de Tsunami (probabilidad aprox. 0.75)
	2: Ocurrencia de tsunami cuestionable.
	1: Información de la ocurrencia de tsunami muy dudosa
	0: Falso tsunami. La información es muy escasa y cuestionable
	A-A: Alaska y la costa de EEUU en el océano Pacífico
DOT (mailed de	CAM: Centro América
ruu - (region ae reneración de ferinami)	SAM: Sudamérica
	IND: Indonesia
	NGS: Nueva Guinea y las Islas Salomón

# **CAPÍTULO IV**

# SEDIMENTOLOGÍA, DATACIÓN Y CONSERVACIÓN DE DEPÓSITOS DE TSUNAMIS EN EL LITORAL PERUANO

## INTRODUCCIÓN

La nutrida historia de tsunamis que han azotado las costas del Perú, nos recuerda que estos eventos son fiel reflejo de procesos tectónicos; desde la existencia de la costa peruana han existido los tsunamis y aplicando la misma teoría es posible asegurar que seguirán ocurriendo por millones de años más (Atwater et al., 1999). Es así que inundaciones producidas en nuestro país han alcanzado alturas de hasta 20 metros sobre el nivel del mar y generado la destrucción de extensas áreas y la pérdida de vidas humanas (Kulikov et al., 2005; Okal et al., 1999 & 2006). Esta constante amenaza se traduce en un riesgo permanente para los asentamientos humanos localizados en el borde costero en el Perú y el mundo.

Las estadísticas indican que Perú y Chile son los países que sufren más terremotos y erupciones volcánicas por kilómetro cuadrado en todo el planeta. De acuerdo a Lockridge (1985), solo si se considera el siglo XX, uno de cada tres tsunamis del océano Pacífico se origina en la costa Peruana.

A fines de los ochenta, la aparición de dos publicaciones generó un importante cambio en la forma de evaluar el riesgo de tsunami. Primero Atwater (1987), reconoció evidencia sedimentaria de terremotos y tsunamis prehistóricos en la costa del estado de Washington, Atwater (1987) descubrió capas de sedimentos anómalas en la estratigrafía costera, interpretándolos como depósitos prehistóricos de tsunamis. Posteriormente, Dawson et al. (1988) describieron un inusual depósito contenido en la estratigrafía de la costa de Escocia, y lo explicaron como el resultado de un megatsunami producido por una avalancha submarina ocurrida hace 7100 años en el norte de Europa.

Tanto Atwater (1987) como Dawson et al. (1988) enfrentaron dificultades en sus interpretaciones debido a que no fue posible en aquel tiempo demostrar que aquellos estratos fueran similares a los depósitos dejados por tsunamis modernos, pues nunca antes habían sido estudiados. Así, Atwater (1987) utilizó la información sismológica de un gran terremoto (1700 dC), para sustentar que

un tsunami, inducido por aquel sismo, había depositado dichos sedimentos.

A partir de estos trabajos se continuaron con una serie de trabajos detallados sobre depósitos de tsunamis pasados, en la costa pacífica (Atwater & Moore 1992; Clague & Bobrowsky, 1994 a y b; Hutchinson & McMillan, 1997; Clague & Bobrowsky, 1999; Clague et al., 2000), en el litoral de Japón, islas Kuril y Península de Kamchatka (Minoura & Nakaya, 1991; Minoura et al., 1994; Nishimura & Miyaji, 1995; Sato et al., 1995; Nishimura et al., 1999; Takashimizu & Masuda, 2000; Fujiwara et al., 2000; Pinegina & Bourgeois, 2001; Sawai, 2002; Pinegina et al., 2003; Nanayama et al., 2003), Australia e islas de Oceanía (Young & Bryant, 1992; Shi et al., 1995; Dawson et al., 1996; Bryant, 2001; Goff et al., 2001; Nichol et al., 2003; Goff et al., 2004) y en costas de Europa (Dawson et al., 1988; Bondevik et al., 1997 a y b; Dawson & Smith, 1997; Hindson & Andrade, 1999; Luque et al., 2001; Dominey-Howes, 2002). La mayoría de las investigaciones que han informado la presencia de registros sedimentarios de tsunamis pasados han provenido de estas áreas (figura 4.1), y claramente ilustran los patrones contrastantes de depositación entre áreas sísmicamente activas.

# CARATERÍSTICAS SEDIMENTARIAS DE LOS DEPÓSITOS DE TSUNAMIS

Como señaló Morton et al. (2007a), los sedimentos de tsunami pueden subdividirse en ejemplos modernos, los registros históricos y los de la prehistoria. Los ejemplos modernos proporcionan una evidencia directa de la sedimentación del tsunami, ya que se conoce la fuente. Los registros históricos se remontan a hace varios de miles de años y solo en algunos países, como Japón y Turquía, pueden ser útiles en la identificación de terremotos (una causa común de tsunami). En la mayoría de lugares, sin embargo, los registros son mucho muy escasos, por lo tanto, los datos prehistóricos son esenciales y solo están disponibles en la investigación geológica. Aun así, ejemplos prehistóricos son, en su mayoría, confinados al Holoceno (Spiske et al., 2013b).



Figura 4.1 Localización global de las principales investigaciones de depósitos de tsunami. Elaborado por los autores en base a literatura revisada hasta mayo de 2004.

El objetivo es obtener una mejor comprensión de la recurrencia de los tsunamis en la región y, por lo tanto, de terremotos y riesgos de tsunamis, conservados en los núcleos de los sedimentos de la zona costera. Para ello se aplican procedimientos de campo normalizados, seguido por el análisis de laboratorio del tamaño de grano, junto con los análisis ambientales basados en polen y diatomeas con edades datadas por Tefrocronología, C14 y OSL. El contexto tectónico es complejo y refleja la interesante interacción del hundimiento a largo plazo, la elevación intermitente y el descenso del nivel del mar desde el Holoceno medio hace unos 5-6.000 años, todo tiene lugar en un típico entorno de zona de subducción.

Los depósitos de tsunami están documentados desde tiempos modernos e históricos (por ejemplo, Dawson & Shi, 2000; Scheffers & Kelletat, 2003; Bahlburg & Spiske, 2012), pero estos son raras veces descritos en el registro geológico. Puede haber dos razones obvias de esta aparente escasez de antiguos depósitos de tsunami. En primer lugar, puede indicar una tendencia a la erosión de los restos del tsunami en el registro rocoso. Los tsunamis normalmente afectan ambientes sujetos a permanente o frecuente erosión, como las llanuras aluviales, las zonas costeras, mares poco profundos y cañones submarinos, y estos ambientes, generalmente, tienen un bajo potencial de conservación para estos «depósitos de eventos» (Clifton, 1988; Einsele et al, 1996; Spiske et al., 2013b). En segundo lugar, puede reflejar una tendencia a que las condiciones geológicas características de los procesos de tsunami (*tsunamitas*) pueden ser similares a los producidos por otros procesos abruptos, como: procesos marinos de alta energía y procesos litorales (Shiki, 1996; Shiki et al., 2000). Para examinar estas cuestiones, se revisa la incidencia y los efectos de los tsunamis en el registro precuaternario y se considera la probabilidad de huellas geológicas de tales paleotsunamis.

Es importante saber que cualquier estudio de la expresión geológica de los tsunamis debe considerar sus firmas depositacionales en términos de su génesis física (Tappin, 2007). En este sentido, la física de los tsunamis en general vincula tres fases de un tsunami, pero bastantes procesos distintos: (1) la generación de una fuerza que perturba la columna de agua, (2) la propagación, ya sea desde mar abierto a las aguas costeras más restringidas, totalmente dentro de las aguas costeras poco profundas o en los lagos; y (3) la inundación de áreas en tierra (González, 1999). A esto le sumamos un importante (pero descuidado en gran medida) cuarto proceso relacionado con el tsunami: la tracción, la corriente del tsunami genera un retrolavado o reflujo desde la costa hacia aguas más profundas (Einsele et al., 1996) (figura 4.2).



Figura 4.2 Ilustración esquemática de las vías principales de transporte y depositación de sedimentos de tsunami (Modificado de Einsele et al., 1996).

Asimismo, Cisternas (2005) define criterios que diferencian los depósitos generados por tsunamis de los producidos por el accionar de las olas y corrientes fluviomareales.

- Criterio 1: El suelo sepultado está siendo erosionado en su borde expuesto al accionar de las olas.
- Criterio 2: Un análisis más detallado del suelo exhumado muestra que se encuentra completamente bioturbado por madrigueras de cangrejos y gusanos de la zona intermareal.
- Criterio 3: Para que lo anterior ocurriera, necesariamente, el suelo debió quedar expuesto al accionar del intermareal. En sectores más protegidos, la arena mareal actual nuevamente sepulta el suelo exhumado y agujereado. El resultado de este proceso se muestra en la estratigrafía, como un contacto irregular entre el paleosuelo y la arena mareal.

Estos tres primeros criterios definen un depósito de arena intermareal.

- Criterio 4: Por el contrario, después de la subsidencia, los sectores más altos se convierten en marismas mareales (con vegetación). En ellas, el accionar de las olas mareales y corrientes fluviales es mucho menor. Allí es posible reconocer cómo las huellas dejadas por mamíferos sobre el suelo fueron colmadas por las arenas del tsunami.
- Criterio 5: No se observa el accionar de cangrejos ni gusanos intermareales. El depósito de tsunami cubre rápida y efectivamente el suelo, conservándolo y produciendo un contacto estratigráfico bien definido. Del mismo modo, las capas de arena presentan un aguzamiento estratigráfico determinado por la topografía en dirección contraria a la costa.
- Criterio 6: Finalmente, también es posible distinguir un depósito de tsunami al reconocer las plantas, en posición de crecimiento, inyectadas en la arena desde el suelo subyacente.

Varias conclusiones interesantes se obtienen del estudio: el espesor de los sedimentos del tsunami no es un criterio fiable para la estimación de la profundidad del flujo de tsunami, pero el tamaño del grano del sedimento y la distribución del tamaño de grano sí afectan a la velocidad del flujo. El tamaño del grano del depósito es un mejor pronosticador de la velocidad del flujo que el espesor del depósito.

En la actualidad, se realizan los análisis de los depósitos de paleotsunamis, que básicamente sirven para encontrar evidencias de tsunamis que afectaron las costas, en este caso al litoral peruano, que a pesar de la importancia del fenómeno sísmico y tsunámico en el Perú, poseen muy pocos estudios científicos relacionados a los registros sedimentarios o geomorfológicos dejados por estos eventos en el litoral de nuestro país.

Así mismo, proponemos un esquema de diferencias sedimentológicas entre los sedimentos depositados por el tsunami y los sedimentos depositados por procesos de inundación (figura 4.3).

## DATACIÓN POR LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA (OSL)

La datación por Luminiscencia Estimulada Ópticamente (OSL) es el único procedimiento disponible en geología sedimentaria que data la edad de depositación en sí, y no como es el caso del ESR o de la datación por radiocarbono, que data la muerte de la materia orgánica incorporada (Aitken, 1998). Precisamente el OSL determina la última vez que el grano de mineral fue expuesto a la luz del sol antes de ser enterrado. El método se basa en los electrones que están activados y atrapados en los defectos de la estructura cristalina por la radioactividad natural, tales como la radiación cósmica, así como, la radiación á-, â-, y ã-, emitida por los sedimentos que rodean el grano mineral. Los electrones

#### TSUNAMI INUNDACIÓN INDUCIDA POR LLUVIA ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS



Figura 4.3 Esquema de las diferencias sedimentológicas entre los sedimentos depositados por el tsunami y los sedimentos depositados por procesos de inundación (por ejemplo, fenómeno de El Niño) (Tomado de Spiske 2013). atrapados vuelven a su lugar de origen cuando son expuestos a una luz artificial, que reemplaza la luz solar a la que fueron expuestos antes de su enterramiento. Los electrones estimulados al dejar los defectos de la estructura cristalina y saltar a niveles más bajos de energía, liberan energía en forma de luz (luminiscencia) la cual es medida por el OSL (Aitken, 1998). La luz emitida es proporcional al número de electrones atrapados anteriormente. Esto significa que la señal OSL vuelve más intensa la radiación natural activando electrones para saltar a las trampas reticulares y más electrones son capturados en estos agujeros (Aitken, 1998).

La señal OSL que representa el tiempo transcurrido desde la última exposición de un grano de mineral a la luz solar, solo puede ser conservada si la muestra se toma en tubos de prueba de luz protegiéndolos de la decoloración por la luz solar reciente. Para este estudio, la toma de muestras incluye tanto la capa del evento como las capas que infrayacen y suprayacen a esta. Las muestras fueron procesadas bajo condiciones de luz roja en el laboratorio OSL del Instituto Leibniz de Geofísica Aplicada en Hannover, Alemania. La preparación de las muestras incluye: secado, tamizado (muestras de arena: 100-150  $\mu$ m; muestras de limo: 4-11  $\mu$ m), la disolución de la materia orgánica y carbonatos, separación de líquidos pesados del cuarzo y feldespato potásico, y el grabado del cuarzo con ácido fluorhídrico. Para una descripción más detallada del procedimiento de la preparación de las muestras, se refieren a Aitken (1998) y Kunz et al. (2010 a, b). Los granos de cuarzo y feldespato se montaron utilizando aceite de silicona (RüschSilkospray) sobre discos de acero inoxidable. Los granos de 2-3 milímetros de diámetro se colocaron en el centro de la superficie del disco que contenía ~1000 granos. Las muestras de grano fino se prepararon de acuerdo a Frechen et al. (1996). Básicamente, este método sigue los mismos pasos que para las muestras de cristales secundarios. Para la separación de la fracción de 4-11 µm de la sedimentación (basado en la ley de Stokes) se utilizó una centrífuga. Las muestras preparadas de poliminerales de grano fino fueron montadas en discos de aluminio en la solución en acetona. Cada parte alícuota contenía aproximadamente 2 miligramos de material de la muestra que cubría el disco por completo.

Las primeras mediciones de prueba mostraron propiedades OSL insatisfactorias para las muestras de cuarzo. La señal natural del cuarzo era baja y, en general, aparecía débil (figura 4.4). Además, un componente lento dominante impidió el uso adecuado del OSL. Por lo tanto, en este estudio se utilizaron los feldespatos potásicos para la datación.



Figura 4.4 Se puede observar la intensidad normalizada del cuarzo ideal con respecto al tiempo, calibrada en las dunas al sudeste de la India. Kunz et al., 2010b hace una comparación con el cuarzo muestreado en las costas peruanas (Puerto Casma y Boca de Río).

Por el contrario, el uso del feldespato conlleva ventajas adicionales porque el feldespato emite una señal de luminiscencia de hasta 100 veces más intensa que el cuarzo, lo que implica que puede ser utilizado para datar muestras más recientes y que la precisión obtenida es superior a la del cuarzo (Wagner, 1998; Lian & Roberts, 2006; Li et al., 2007). Una desventaja analítica del feldespato es la posible presencia del decaimientoanómalo (Wintle, 1973). El decaimiento anómalo parece estar relacionado a una fuga de electrones que implica una pérdida de la señal, es decir, los electrones pueden escapar de las trampas dentro de la red mineral sin ser levantados dentro de la banda de conducción (Wintle, 1973; Aitken, 1998). Por lo tanto, el decaimiento anómalo puede dar lugar a una subestimación de la edad y, en consecuencia, las edades necesitan ser corregidas por este efecto (por ejemplo, Huntley & Lamothe, 2001; Lamothe et al., 2003). Los estudios más recientes tratan de evitar la corrección del decaimiento de los depósitos del Pleistoceno utilizando altas temperaturas de estimulación óptica para medir las señales procedentes de las trampas afectadas sin decaimiento (por ejemplo, Thomsen et al., 2008; Buylaert et al., 2009).

Las mediciones se realizaron con un lector Risø TL/OSL-DA-15. Los granos de feldespatos fueron estimulados con luz infrarroja (ë = 875 nm). La señal OSL del feldespato se detectó a través de una combinación de filtros Schott BG 39 y Coming 7-59. La irradiación se llevó a cabo con una fuente beta de 90 Sr/90 Y, con una tasa de dosis de 0.175 Gy/s. La medición del feldespato se hizo utilizando el protocolo de dosis regenerativa en una sola alícuota (SAR) basado en Wallinga et al. (2007). Para este estudio, las temperaturas de precalentamiento y poscalentamiento de las muestras fueron de 180 °C y se mantuvieron durante 10 segundos. La estimulación se realiza durante 100 segundos a 50 °C con diodos IR. La dosis de prueba fue de 1.75 Gy y la dosis regenerativa va de 0.32 Gy a 10.5 Gy, dependiendo de la edad esperada de la muestra. Después de cada ciclo SAR, se incluyó una etapa de blangueamiento caliente con 40 segundos de estimulación IR a 290 °C. Los ajustes para el protocolo SAR se derivan de las pruebas de precalentamiento y pruebas de transferencia térmica realizadas en una muestra de cada sección. El protocolo SAR se comprobó con una dosis de prueba de recuperación en todas las muestras, si la dosis administrada artificialmente pudiera ser recuperada. Luego, las edades obtenidas de los feldespatos se corrigieron con el decaimiento anómalo por el método de Auclair et al. (2003) y Huntley & Lamothe (2001).

La tasa de dosis de la radiación natural de las muestras se midió con un detector tipo HPGe N (Kunz et al., 2010a) en el Instituto Leibniz de Geofísica Aplicada en Hannover (Alemania). Las muestras para el análisis de la tasa de dosis se secaron, se homogenizaron y se introdujeron en vasos de precipitado (50 gramos de material). Los vasos de precipitados se cerraron herméticamente y se almacenaron durante al menos cuatro semanas de manera que el desequilibrio del radón se pudiera reajustar. Los resultados de la espectrometría de rayos gamma y del cálculo de la tasa de dosis se muestran en el cuadro 4.1.

Además, se probó si las muestras analizadas se blanquearon completamente durante el transporte, es decir, antes de la depositación. Esto se hizo con la distribución de la dosis equivalente (DE) en una muestra que pueda proporcionar evidencia acerca de la cantidad de blanqueamiento antes de la depositación de los sedimentos. Los sedimentos blanqueados deben de mostrar una distribución gaussiana de los valores DE, mientras que, los sedimentos parcial o incompletamente blanqueados muestran una distribución asimétrica de los valores DE con un pico desplazado hacia los valores DE, en todas las demás muestras medidas, se comprobó su distribución normal mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (prueba K-S, cuadro 4.1).

En el cuadro anterior, se muestran los resultados de IRSL, las mediciones y el cálculo de la edad de los yacimientos históricos de tsunamis y de los sedimentos circundantes relacionados, en Puerto Casma (norte de Perú), Boca de Río y Vila Vila (sur de Perú). Las dosis equivalentes se calcularon usando el modelo de edad central (Galbraith et al., 1999). Las edades corregidas Fading se calcularon utilizando el enfoque de Huntley & Lamothe (2001). Si el valor de la prueba K-S es menor que el valor de K-S crítico (entre paréntesis) la distribución de la *D*\_sigue una distribución normal.

## RESULTADOS

#### a. Depósitos históricos de tsunamis

Depósitos de paleotsunamis fueron encontradas en Puerto Casma en el norte de Perú, en Vila Vila y Boca del Río en el sur de Perú (figura 4.5). En Puerto Casma y Vila Vila se tiene un solo evento documentado. Mientras, que en Boca del Río, se encontraron dos capas sucesivas. Las dataciones fueron realizadas tanto en los depósitos de tsunamis como en los depósitos infrayacentes y suprayacentes (cuadro 4.1).

El cuadro 4.1 muestra resultados de IRSL de las mediciones y el cálculo de la edad de los yacimientos históricos de tsunamis y la relación con los sedimentos circundantes, en Puerto Casma (norte de Perú), Boca de Río y Vila Vila (sur de Perú). Las dosis equivalentes se calcularon usando el modelo de edad central (Galbraith et al., 1999). Las edades corregidas se calcularon utilizando el enfoque del Huntley & Lamothe (2001).

Localización	Muestra	N	Resultados de la prueba K-S	Tasa de dosis total [Gy / Ka]	Dosis equivalente <i>D</i> <sub>e</sub> [Gy]	Valor $g$ [% por década]	Edad OSL sin corregir [años] <sup>b</sup>	Edad OSL corregida [años] <sup>b</sup>	Rango de edad Histórica
PUERTO CASMA 09°27′6" S 78°22′5" W	NPCA1a	7	0.171 (0.483)	3.671±0.980	0.577 ± 0.114	12.1±1.4°	0.17±0.03 ka <sup>c</sup>	0.48±0.21 ka <sup>c</sup>	1315-1739 dC °
	NPCA1b <sup>a</sup>	24	0.166 (0.269)	4.764±0.300	1.272 ± 0.040	3.8±0.2	0.28±0.02 ka	0.37±0.03 ka	1615-1667 dC
	NPCA1c	23	0.140 (0.275)	3.647 ± 0.201	0.981 ± 0.025	4,0 ± 0.5	0.28 ± 0.02 ka	0.38 ± 0.03 ka	1599-1655 dC
BOCA DEL RÍO 18°09'29" S 70°40'19" W	SBDR1a	20	0.129 (0.294)	3.845 ± 0.500	7.133 ± 0.110	3.4 ± 0.4	1.95 ± 0.26 ka	2.58 ± 0.33 ka	902-240 aC
	SBDR1ba	22	0.161 (0.275)	3.507 ± 0.470	4.505 ± 0.337	5.9 ± 0.6	1.35 ± 0.16 ka	2.26 ± 0.37 ka	615 aC-119 dC
	SBDR1c	20	0.071 (0.294)	3.909 ± 0.500	5.789 ± 0.093	3.4 ± 0.6	1.55 ± 0.21 ka	2.05 ± 0.27 ka	316 aC-230 dC
	SBDR1da	21	0.100 (0.287)	3.421 ± 0.350	3.836 ± 0.151	6.0 ± 0.4	1.19 ± 0.12 ka	1.98 ± 0.23 ka	207 aC-255 dC
	SBDR1e	24	0.113 (0.269)	4.002 ± 0.510	2.914 ± 0.050	5.1 ± 0.8	0.76 ± 0.10 ka	1.16 ± 0.17 ka	685-1019 dC
VILA VILA			- 						
18°06′26" S 70°43′35" W	SVV3a	24	0.183 (0.269)	2.775 ± 0.270	0.240 ± 0.016	6.7 ± 0.5	90 ± 7 a	145 ± 18 a	1844-1880 dC
	SVV3ba	23	0,178 (0.275)	3,560 ± 0.600	0.319 ± 0.038	8.3 ± 0.8	94 ± 12 a	173 ± 37 a	1797-1871 dC
	SVV3c	24	0.098 (0.269)	3.116 ± 0.261	0.168 ± 0.009	7.4 ± 0.9	57 ± 4 a	95 ± 12 a	1900-1924 dC

Cuadro 4.1 Resultados de IRSL

N = número de alícuotas utilizadas para el cálculo de la edad.

a Capa de eventos.

b Edades OSL relacionado con el año de muestreo en 2007 dC.

c Velocidad de decoloración es muy alto por lo que la edad obtenida

no puede ser utilizada

Fuente: Spiske et al., 2013a



Figura 4.5 Lugares donde se encontraron evidencias de depósitos de paleotsunamis.

#### Puerto Casma (norte de Perú)

La playa del Puerto Casma (figura 4.5) se encuentra aproximadamente 3 kilómetros al sur de la bahía de Casma y a 45 kilómetros al sur de Chimbote. La playa presenta desniveles permitiendo la generación de depresiones, que son lugares potenciales para la acumulación de sedimentos.

Realizamos trincheras transversales a la línea de costa con la finalidad de identificar depósitos de tsunamis y de ver sus variaciones y/o modificaciones con la topografía (fotografías 4.1 y 4.2).

Las trincheras nos permitieron observar una clara variación en la granulometría y en el espesor (fotografía 4.3), pero podrían existir depresiones que puedan modificar el ordenamiento interno de los depósitos y sus características sedimentológicas y verse en mucho casos las arenas del tsunami favorecida. Estas arenas además de presentar claramente una mayor granulometría, coloración anómala, contienen fragmentos de rocas y de moluscos.

A una profundidad de 0.6 metros, se identificó una capa de arena anómala de 3-6 centímetros de espesor (figura 4.6). Esta capa de arena se puede distinguir claramente de la arena de playa habitual (tamaño medio del grano +1.8 a +2.3 phi), por su tamaño de grano más grueso (+1.6 phi) y diferente color. La capa se encuentra ondulada, presenta un contacto erosionado con la arena subyacente y contiene fragmentos de rocas y moluscos (1-2 centímetros de tamaño), así como, acumulaciones de minerales pesados en la base (fotografía 4.4). Se obtuvieron dos submuestras de esta capa de arena. El análisis del tamaño de grano muestra una gradación normal, esto indica la depositación de las partículas en suspensión. La variación del color entre la capa del evento y las arenas que la rodean es debido a la diferente composición mineral, es decir, un mayor contenido de minerales pesados, granos gruesos de plagioclasa y cuarzo en la capa del evento. Además, las distribuciones del tamaño de grano muestran que la capa del paleotsunami contiene arena de playa retrabajada y componentes



Fotografía 4.1 Trincheras transversales a la línea de costa en Puerto Casma.



Fotografía 4.2 Ubicación de las zanjas y de la variación granulométrica de los depósitos de tsunamis.



Fotografía 4.3 Depósito de tsunami en la parte inferior de la zanja. El depósito se caracteriza por tener un color más claro (beige) y tiene 3 centímetros de espesor, el espesor varía de acuerdo a la distancia de la línea de costa.

gruesos con una mayor densidad en el caso de los minerales pesados, indicando probablemente, un origen marino poco profundo.

La presencia de minerales pesados dentro del depósito de tsunami refleja que el tsunami poseía mayores condiciones energéticas de flujo en comparación con las condiciones de olas habituales, por lo tanto, será capaz de transportar y erosionar: i) el material de ambientes, posiblemente, más profundos que la base de olas de tormentas y ii) el material que era demasiado pesado (demasiado grande o demasiado denso) para ser transportado por el régimen de olas habituales.

Encontrar la capa del evento a unos 100 metros dentro de la costa da evidencia de una ligera tendencia hacia la costa. La datación OSL revela una edad de  $0.36 \pm 0.03$  ka (1641 ± 26 yr A.D.) para la capa del evento. La capa del evento y la arena de playa

suprayaciente, con una edad OSL de  $0.38 \pm 0.03$  ka (1627  $\pm 28$  yr A.D.), están en orden estratigráfico y dentro del margen de error. Sin embargo, la edad OSL de la arena de playa subyacente tiene un error relativo del 44 % y una velocidad de decaimiento alta y excepcional con un valor g de 12.1  $\pm$  1.4 %. Por lo tanto, las propiedades de luminiscencia son insatisfactorias para esta muestra, dando dudas sobre la fiabilidad del resultado de las dataciones para esta muestra, de modo que la edad obtenida no puede ser utilizada.

Los parámetros del flujo necesarios para generar la capa de tsunami en Puerto Casma se calcularon utilizando un depósito de 2 centímetros de espesor y un tamaño medio de grano de +1.6 phi. El Modelamiento Inverso dio lugar a una velocidad de flujo de 7.8 m/s, y una profundidad de flujo de 6.2 metros a aproximadamente ~60 metros de la línea de costa actual.



Fotografía 4.4 Detalle del depósito de tsunami. Llama la atención el cambio brusco de la granulometría y la acumulación de minerales pesados hacia la base.



Figura 4.6 Depósito de tsunami histórico y distribuciones del tamaño de grano en Puerto Casma datada en 0.36±0.03 ka (1641 ± 26 yrs A.D.). El afloramiento se encuentra a 60 metros de la costa actual y a una profundidad de 0.60 metros con respecto a la superficie.



Fotografía 4.5 Ubicación de una de las trincheras realizadas en Boca de Río y donde encontramos depósitos de tsunamis. La distancia con relación a la línea de costa es de aproximadamente 460 metros.

### Boca del Río (sur de Perú)

Boca del Río se encuentra en la zona sur del Perú (figura 4.5), en este sector las dunas separan la playa de una amplia llanura costera, que es atravesada por un río seco estacional. A una distancia de ~460 metros de la línea de costa, se encontraron dos capas de arena distintas (muestras SBDR 1b y 1d) dentro de sedimentos lodosos de marismas (fotografía 4.5).

Las dos capas de arena forman contactos erosivos nítidos y ondulados con los depósitos de marismas subyacentes (figura 4.7). El depósito inferior se encuentra a 0.4 metros por debajo de la superficie actual y el superior a 0.3 metros por debajo de la superficie. Estos dos niveles se interpretan como el resultado de dos eventos históricos de tsunamis que inundaron las dunas y transportaron sedimentos costeros hacia la llanura costera. Las dos capas se componen de arena gruesa, incluyendo algunos fragmentos de caparazones. Ambas capas tienen un espesor de ~4 centímetros. Los sedimentos de fondo y las capas del evento presentan un tamaño medio de aproximadamente +2.2 phi. Sin embargo, las capas de tsunami muestran un rango del tamaño de grano mucho más amplio de -3.0 a +5.0 phi, en comparación con los sedimentos de marismas (+1.9 a +5.0 phi). La gradación gruesa (-2.0 a -3.0 phi) de los depósitos de tsunami es debido a caparazones

planos y fragmentos de estos. Por otra parte, dentro de las dos capas de tsunami existe una tendencia débil a una gradación normal.

Las dataciones OSL revelan una secuencia estratigráfica donde cada estrato es razonablemente más joven que los estratos subyacentes, y el tiempo similar que pasa durante la depositación constante de los sedimentos de marismas (figura 4.7, cuadro 4.1). La capa del evento inferior fue datada por OSL en 2.26  $\pm$  0.37 ka (248  $\pm$  367 yr B.C.) y la capa superior del evento en 1.98  $\pm$  0.23 ka (24  $\pm$  231 yr A.D.).

El análisis micropaleontológico de los dos depósitos realizado en el INGEMMET (anexo I) pone en evidencia ostrácodos, la especie frecuente es *Hemicyprissp*. Sars 1983, sus valvas bien conservadas, fragmentos de moluscos y pelecípodos. Todos ellos mezclados en estos dos horizontes producto de la erosión de la ola de tsunami.

El Modelamiento Inverso para la capa de tsunami inferior proporcionó una posible velocidad de flujo del tsunami de 7.1 m/s, y una profundidad de flujo de 5.1 metros a 460 metros de distancia de la línea de costa actual. La capa superior revela una velocidad de flujo de 7.8 m/s y profundidad de flujo de 6.1 metros.



Figura 4.7 Depósitos históricos de tsunamis y las distribuciones granulométricas en Boca del Río, datada en 1.98±0.23 y 2.25 ±0.37 ka. El afloramiento se encuentra a 460 metros de la costa actual.

### • Vila Vila (sur de Perú)

Vila Vila (figura 4.5) es el único lugar donde se encontró una capa de caparazones distintiva entre las arenas de playa de grano fino a medio (figuras 4.8 y 4.9). La capa de caparazones tiene de 11-13 centímetros de espesor y se encuentra a una profundidad de 1.1 metros por debajo de la superficie actual. La presencia de caparazones implica una composición polimodal de la capa del evento con una fracción de grano grueso dominante alrededor de -5.0 a -3.0 phi. Las submuestras documentan una gradación normal. La gradación se puede definir debido a la disminución en el tamaño de grano que aparece principalmente para los fragmentos de caparazones, pero no para el material siliciclástico incorporado. Por otra parte, algunos fragmentos de estos caparazones o conchas identificados muestran una imbricación con ángulos entre 30-45°

(figura 4.9a), por lo tanto dan evidencia de la depositación durante el transporte hacia la costa. Además, la capa del evento contiene fragmentos de roca subredondeados a redondeados de hasta 12x11x5 centímetros de tamaño (aproximadamente 1.75 kilogramos), algunos de ellos con barnaclas y vermétidos incorporados, lo que indica su origen marino (figura 4.9b).

Los fragmentos de caparazones más grandes son de 9x7x4 centímetros y se encuentran parcialmente rotos (figura 4.9c). Vila Vila es el único lugar donde se encontraron foraminíferos, tanto dentro de las arenas de playa como en la capa del evento (figura 4.9d). Los foraminíferos fueron exclusivamente bentónicos y pueden ser encontrados en todas las capas analizadas en Vila Vila. Las especies más frecuentes son *Anomalinoides*spp. (figura 4.9d 1-3), *Cribrorotalia* spp. (Entre ellos *C. meridionalis*; figura 4.9d 4-6) y

cf. Astronononion spp. (figura 4.9d 7). Según Malumián & Scarpa (2005), estas especies son típicas de regiones de plataforma interna, con una profundidad del agua menor a 100 metros, a lo largo de la costa del Pacífico. La total ausencia de foraminíferos planctónicos parece apoyar un origen nerítico. Incluso si algunas especies de Anomalinoides poseen un amplio rango de profundidad hasta el talud continental (por ejemplo, Heinz et al., 2008), la mala conservación de los foraminíferos en este estudio no permite una asignación más detallada. Por otra parte, Cribrorotalia, especialmente C. meridionalis, sin duda y exclusivamente habita en ambientes infralitorales (Hayward & Brook, 1994; Zapata & Gutiérrez, 1995; Páez & Zúñiga, 2001). Si bien las formas alargadas y frágiles están ausentes, las evidencias trocospirales descubiertas son a menudo rotas, desgastadas, parcialmente disueltas o muestran cristalización secundaria y que parecen asemejarse a materiales retrabajados desde los acantilados durante el Pleistoceno, que luego fueron transportados hacia la costa tanto durante la acción del oleaje normal como por el tsunami. Por lo tanto, la presencia de los foraminíferos representa un transporte postmuerte, y no se pueden utilizar como un indicador de tsunami ni para la inferencia de las profundidades del agua para el arrastre de los sedimentos.

La datación OSL de la sucesión sedimentaria en Vila Vila reveló una edad de  $0.15 \pm 0.02$  ka ( $1862 \pm 18$  yr A.D.) para la arena de playa subyacente,  $0.17 \pm 0.04$  ka ( $1834 \pm 37$  yr A.D.) para la capa del evento y  $0.10 \pm 0.01$  ka ( $1912 \pm 12$  yr A.D.) para la arena de playa suprayacente (figura 4.8, cuadro 4.1). Sin embargo, mientras que, la capa del evento y la capa de arena suprayacente están en orden cronológico, las edades de la capa de arena inferior y la capa del evento se superponen de manera significativa.

El Modelamiento Inverso de los parámetros del tsunami asociado con la capa del evento, obtiene una velocidad del flujo de 21.4 m/ s y una profundidad del flujo de 47 metros necesarios para transportar la cantidad determinada de sedimento y los respectivos tamaños de grano. En comparación con los recientes eventos de tsunami en el Perú y los depósitos históricos estudiados en Boca del Río y Puerto Casma, estos valores son poco realistas y probablemente muy inexactos. Los resultados poco realistas en los cálculos de los parámetros de flujos implican que la porción de la carga del lecho puede haber superado el 10 %, debido a que el modelo inverso TsuSedMod solo puede simular la depositación de un flujo con carga del lecho < 10 % (por ejemplo, Jaffe & Gelfenbaum, 2007; Spiske et al., 2010b).



Figura 4.8 Depósito histórico de tsunami y distribuciones granulométricas en Vila Vila datado en 0.17 ± 0.04 ka. El afloramiento se encuentra a 80 metros de la costa actual.



Figura 4.9 Composición sedimentológica detallada de la unidad de tsunami en Vila Vila, a) Fragmentos de caparazones imbricados con ángulos de inclinación de 30-45° hacia la costa, b) Fragmentos de rocas, algunos de ellos con barnaclas y vermétidos adheridos, c) Caparazones y fragmentos de caparazones incorporados en la capa del evento, d) Foraminíferos encontrados en la capa del evento y en la arena de playa circundante.

## ACERCA DEL POTENCIAL DE CONSERVACIÓN DE DEPÓSITOS DE TSUNAMIS EN EL LITORAL PERUANO

En las dos últimas décadas, sobre todo después del tsunami en el océano Índico el 2004, se han llevado a cabo numerosos estudios posteriores sobre tsunamis. En estos estudios se describen una gran variedad de estructuras sedimentarias y erosionales relacionadas al *run- up* y el retrolavado de las olas del tsunami.

Sin embargo, la pregunta que surge es, si estas estructuras son efímeras o tienen un gran potencial para ser conservadas en el registro geológico.

En este parte del estudio, comparamos los sedimentos encontrados durante los estudios posteriores al tsunami después del tsunami de Chimbote (1996), Camaná (2001) y Pisco-Paracas (2007) en el Perú, con observaciones realizadas durante dos campañas de campo, con el fin de determinar el potencial de conservación de las diversas texturas de grano fino de los depósitos de tsunamis en diferentes ambientes costeros. En segundo lugar, dar la primera descripción detallada de los sedimentos dejados por el tsunami Pisco-Paracas en agosto de 2007.

#### a. Tsunami Chimbote 1996

En el 21 de febrero de 1996, un terremoto de magnitud 7.5 tuvo su epicentro a unos 120 kilómetros frente a las costas de Chimbote en el norte de Perú (Petroff et al., 1996). Testigos presenciales (pers. comm) reportaron un retiro del mar de hasta 500 metros antes de la llegada de la primera ola del tsunami, unos 15 minutos después del sismo principal. Dos a tres olas sucesivas, siendo la segunda la más grande, llegaron a la costa unos 8-25 minutos después de la llegada de las primeras olas (Petroff et al., 1996; Bourgeois et al., 1999). Las alturas máximas de las olas fueron de 5 metros en Chimbote, Coishco y Culebras, y la máxima inundación alcanzada fue de 455 metros en el Puerto Santa (Petroff et al., 1996; Bourgeois et al., 1999).

Dos semanas después, Petroff et al. (1996) y Bourgeois et al. (1999) visitaron la zona para estudiar los parámetros de inundación del tsunami y los sedimentos. Ambos informaron sobre sedimentos arenosos depositados por el tsunami, describen que grandes volúmenes fueron depositados cerca de desembocadura de los ríos (por ejemplo, río Santa) y en los lechos de los ríos, secos estacionalmente, donde grandes cantidades de arena y lodo estaban disponibles para el transporte y redepositación.

En el Puerto Santa, donde la altura de la ola fue de aproximadamente de 2 metros, los sedimentos del tsunami presentaban una gradación normal de arena fina a muy fina con un espesor que varía de 4-11 centímetros dependiendo de la topografía local. La arena de tsunami sepultó las superficies de marismas con vegetación.

Once años después, realizamos una evaluación en las zonas descritas por Bourgeois et al. (1999) (fotografía 4.6), llegando a apreciar que ninguno de los sedimentos fueron conservados. Los pescadores del Puerto Santa fueron capaces de contar sus experiencias sobre el evento del tsunami. Nos contaron que después del terremoto, el mar se retiró hasta el final de la península, que se encuentra a una distancia de unos 500 metros de la línea de costa actual (figura 4.10a).



Fotografía 4.6 La fotografía muestra la exploración de los depósitos de tsunami en Puerto Casma después de 11 años en los lugares que Bourgeois et al. (1999) los describe.

La inundación máxima del tsunami alcanzó el pie de una colina a 300 metros aprox. de distancia del mar. También declararon que después del tsunami, la costa se había movido unos 60 metros en dirección al mar. El último caso se debe a un levantamiento cosísmico local relacionado al terremoto tsunamigénico. La cantidad de elevación fue de 0.5-0.6 metros.

En el Puerto Santa, ponemos en evidencia una secuencia sedimentaria de 0.7 metros de espesor (figura 4.10b). En la base, es visible una arena lodosa gris. Varias raíces parduscas se conservan in situ dentro de esta unidad. En una profundidad de 0.5 metros por debajo de la superficie actual, un contacto visible separa la arena lodosa gris de una arena marrón bien gradada. Se interpreta este cambio marcado de facies de

sedimentos lodosos de marisma a depósitos de playa de arena, como resultado de la subsidencia inducida postsísmica (por ejemplo, Barrientos, 1995), que ofrece nuevos espacios de alojamiento para los sedimentos de playa.

Si el sedimento de tsunami estuvo presente en esta zona, debió estar sobre los sedimentos de marisma que representaban la superficie en 1996. Pero no hay depósitos distintivos del evento en la actualidad. Las arenas de playa de 50 centímetros se depositaron durante los once años transcurridos desde el evento. Esto implica una tasa de sedimentación anual promedio de 4.5 centímetros para esta zona.




#### b. Tsunami Camaná 2001

El tsunami de Camaná del 23 junio de 2001 fue causado por un terremoto de M= 8,4 a unos 75 kilómetros de la costa de Camaná en el sur de Perú (Dengler, 2001; EERI, 2001; JSCE, 2001). Los testigos observaron que el agua comenzó a retirarse 50-100 metros de la costa, 5-15 minutos después del terremoto y se mantuvo bajo durante unos 15-20 minutos (Dengler, 2001; DHN, 2001; EERI, 2001). De tres a cuatro olas sucesivas fueron reportadas, siendo la segunda y tercera ola las más grandes. La altura máxima de la ola fue de al menos 8 metros y una inundación máxima de 760-1.360 metros (Dengler 2001; EERI, 2001; JSCE, 2001; Velásquez, 2002; Jaffe et al, 2003.). El tsunami también fue observado con una amplitud de 10-70 centímetros por los mareógrafos en Hawái, Nueva Zelanda, en Japón y en la costa oeste de los EE.UU. (Dengler, 2001; DHN, 2001).

Con los trabajos de campo postsunami (USGS, 2001 Okal; 2002; Jaffe et al., 2003) se observó que los sedimentos producidos por el tsunami fueron encontrados en las playas de arena, en el lecho seco del río Camaná cubriendo terrenos de cultivo. Los depósitos tenían un espesor de 0.5-28 centímetros y mostraban un contacto de erosión en la base. Asimismo, describen los depósitos de Camaná como capas múltiples generalmente con gradación normal, algunos de ellos con láminas delgadas de minerales pesados en la base de cada capa. Los clastos desgarrados de lodo (*muddyrip up clasts*) y capas de lodo se formaban en la parte superior de los



Figura 4.11 Múltiples depósitos de niveles del tsunami Camaná. a) Depósito de tsunami que recubre las arenas de playa y consta de tres unidades con minerales pesados en la base, b) Depósito cerca de La Bajada en 2007 que consta de dos unidades gradadas con minerales pesados en la base (ca. 80 m de la costa). El espesor de los sedimentos post-tsunami en 2007 fue de 30 cm playa (Modificado de Spiske et al., 2013).

depósitos de tsunami o entre las capas individuales interpretadas como depósitos de olas individuales (figura 4.11a y b). Los sedimentos pueden estar compuesto de solo una de las características mencionadas o una mezcla de diferentes características. Estaban presentes tanto los sedimentos de *runupy* retrogresivos. Los escarpes erosionales en la superficie fueron reportados por Dengler (2001) y el USGS (2001).

Seis años después realizamos trabajos de campo en la zona de influencia y se observó que los restos de los sedimentos del tsunami sólo se encontraron en ambientes de playa. Jaffe et al. (2003) informaron que los sedimentos del tsunami tenían un grosor de 28 centímetros, mientras que los sedimentos encontrados en el 2007 solo tenían espesores máximos de alrededor de 6-7 centímetros. No fue posible identificar los

sedimentos del tsunami que se han descrito en el lecho del río Camaná y que cubrían los suelos lodosos de los campos agrícolas.

Las capas de lodo dividiendo capas individuales o capas de lodo situadas en la parte superior de la sucesión de tsunami han sido descritas por Jaffe et al. (2003). Éstas son indicadores de bajas velocidades del flujo entre el *run-up* y el retrolavado, por lo tanto ayudan a subdividir una sucesión en diferentes depósitos. En el año 2007, se logró detectar las capas de lodo individuales, pero no múltiples.

Otro tipo de sedimento de lodo depositado por el tsunami de Camaná son los clastos desgarrados (*rip-up clast*). Los clastos son provenientes de los campos agrícolas que han sido inundados por el tsunami.

Jaffe et al. (2003), Benavente et al. (2008) establecen que los clastos desgarrados están incorporados en los sedimentos del tsunami y sobre la superficie de playa. Jaffe et al. (2003) y Morton et al. (2007) muestran clastos desgarrados que cubren el suelo del que fueron arrancados. En cambio, los clastos de suelo transportados y depositados en la playa Punta de Bombón fueron provenientes de la parte posterior de la playa (figura 4.12a). El diámetro de estos clastos se hace más pequeña en dirección al mar, lo que indica que fueron transportados por el retrolavado.

Los clastos de lodo en la superficie de la playa están todavía presentes en la Playa las Cuevas (figura 4.12c). Una

comparación de las zonas de estudio en el 2001 (Jaffe et al., 2003) y el 2007 (figura 12b) muestra diversos cambios. Solo los clastos más grandes son todavía visibles. Mientras que los clastos están apenas cubriendo la superficie en el 2001, seis años después están medio cubiertos por la arena. Mientras que los clastos más pequeños están completamente cubiertos por la arena. La superficie post-tsunami presenta ondulaciones (*ripples*) de origen eólicas. Además, los clastos tienen un aspecto fresco, parcialmente angular justo después del evento, pero que ya están suavizadas, probablemente por las fuerzas eólicas, en el 2007.



Figura 4.12 Clastos desgarrados del tsunami Camaná. a) clastos incorporados en el sedimento en Punta de Bombón en 2007 (ca. 70 m de la costa). b) clastos en la superficie de la playa (aprox. 140 m de la costa) La Quinta en 2001 (Jaffe et al., 2003, fig. 2). c) clastos en la superficie de la playa, cerca de la playa Las Cuevas en 2007 (Tomado de Spiske et al., 2013).

El espesor de los sedimentos post-tsunami ayuda a calcular la tasa de sedimentación postsunami, sugiriendo una tasa de sedimentación aproximadamente de 3.3 - 5 centímetros por año.

#### c. Tsunami del 2007, Pisco - Paracas

Es el tsunami más reciente, que afectó la zona de Pisco y la península de Paracas. En la región de Pisco, se observó un retiro inicial del mar de 200 metros antes de la llegada de las cuatro olas que arribaron a la costa 10-25 minutos después del terremoto (Fritz et al., 2008; Yauri et al., 2008). La primera y segunda ola llegaron con un gran impacto (Yauri et al., 2008). Por el contrario, los testigos nos contaron que entre el pueblo de Paracas y el museo en la entrada del Parque Nacional, el mar no se retiró y la ola no arribó a la costa, pero hubo un ascenso progresivo inundando 800-900 metros aproximadamente. Tanto la mayor altura de la ola de 10 metros (playa Yumaque) y la inundación máxima de 2 kilómetros (Lagunillas) se observaron a lo largo de la península de Paracas (Fritz et al., 2008; Yauri et al., 2008). Para obtener más parámetros detallados del tsunami en distintas zonas de estudio ver Fritz et al. (2008) y Yauri et al. (2008).

Científicos peruanos y extranjeros visitaron la costa afectada poco después del evento (Astroza, 2007; Fritz et al., 2008; Sánchez, 2007; Yauri et al., 2007). Estos estudios documentaron el run-up y los parámetros de inundación, así como daños. Las únicas estructuras sedimentarias tsunamigénicas descritas son observadas en Laguna Grande (Fritz et al., 2008).

Un año después del evento visitamos nuevamente la zona entre Chincha y bahía Independencia con el fin de documentar el grado de conservación de los sedimentos de tsunami, después de los procesos de modificación natural y humana.

Aunque los sedimentos descritos que se encontraron un año después del evento reflejan solo una porción indeterminada de los depósitos que se generaron directamente después del tsunami; una visión general de las características sedimentarias e información sobre las mejores circunstancias de conservación se puede dar en base del registro conservado.

Los sedimentos del tsunami de Pisco-Paracas se generaron como capas múltiples, con presencia de clastos desgarrados, acumulaciones de conchas, capas de gravas imbricadas, pequeños bloques de concreto y capas de lodo. El espesor máximo era de unos 53 centímetros. Se observaron tanto los sedimentos de *run-up* y retrolavado, así como, estructuras de retrolavado.

Una comparación de la morfología de la playa Pisco antes del tsunami de marzo de 2007 y después del evento, en septiembre de 2008, muestra que algunas cabañas y una pista de concreto fueron destruidas por el tsunami (figuras 4.13a, 4.13b). El muelle no muestra daños significativos a excepción de algunos postes que estaban alineados en dirección hacia la costa y que fueron alcanzados por el tsunami. Los sedimentos examinados en el 2007 se compararon con la secuencia sedimentaria post-tsunami en la misma localidad (figura 4.13c, 4.13 d). En marzo del 2007 se observaron cerca de 50 centímetros de arena de la playa con presencia de conchas marinas. No se detectaron estructuras sedimentarias o cambios en la composición. La sucesión del tsunami en el 2008, no presenta ninguna base distinta, pero utilizando sedimentos pre-tsunami, la posición de la base pudo ser estimada. La comparación implica que después el espesor del depósito tsunami aumentó a 44-53 centímetros (figura 4.13d). Este volumen adicional de sedimento depositado en 1.5 años parece ser únicamente el producto de la depositación del tsunami.

La sucesión del tsunami muestra dos capas de lodo que separan tres capas de arena. Estas capas de lodo se pueden interpretar como indicadores de condiciones de baja energía entre el *run-up* y el retrolavado de las ondas individuales. En la parte superior de la tercera capa de arena del tsunami, está presente una unidad con un muy alto contenido de conchas. La imbricación de las conchas indica una depositación durante el flujo de tsunami hacia la costa. Por lo tanto, las tres capas principales de arena y la unidad de conchas, en la parte superior, indican al menos tres olas del tsunami inundando la costa (figura 4.13d). Esto es coherente con los reportes de los testigos (Yauri et al., 2008). El bloque de concreto en la parte superior de la sucesión fue arrancado de la pista destruida, ubicada a 40 metros de la trinchera de estudio y transportado hacia la playa por el retrolavado.

En la playa Yumaque, en el Parque Nacional de Paracas, arena de tsunami de grano grueso y de 25 centímetros de espesor está cubriendo depósitos de playa (pre-tsunami) (figura 4.14a). La capa de arena tiene una base potencialmente erosiva y muestra una gradación normal. La capa superior presenta gravas parcialmente imbricadas hasta la base y una gradación normal hacia el tope y presencia de *ondulitas* de corriente (*currentripp*les) en la superficie. Estas, *ondulitas* cubren una gran zona de la playa (figura 4.14b). Las *ondulitas* de tsunami también están presentes en Lagunillas donde el agua invadió la costa hasta unos 2 kilómetros.



Figura 4.13 Vista general de la playa principal de Pisco. (A) En marzo del 2007, chozas (círculo) todavía presentes en la playa, (B) Después del tsunami, en septiembre de 2008, las chozas y una pista fueron destruidas. La flecha indica la localización de la trinchera de estudio (ver figura 7C, figura 7D). (C) Depósitos de playa pre-tsunami. (D) Depósitos de tsunami, que consta de varias unidades, tal como se encuentran en la playa, septiembre de 2008 (tomado de Spiske et al., 2013).



Figura 4.14 Depósitos de tsunami en playa Yumaque. (a) Arena de tsunami con una capa de grava y estructuras de *ondulitas* hacia el tope (b) *ondulitas de run up* en la superficie de playa (Tomado de Spiske et al., 2013).

Otro ejemplo de capas *run-up* y de retrolavado se encuentran dentro de una sucesión que está presente en la playa Jahuay (figura 4.15). Se observó una fuerte base erosiva separando la arena uniforme de playa de los depósitos de tsunami de 44 centímetros de espesor. La parte inferior del depósito de tsunami está compuesta por arena con contenido de conchas marinas. Los clastos de lodo desgarrados (*muddyrip-up clasts*) quedaron incrustados dentro de esta capa inferior (figura 4.15). Esta característica parece ser un indicador de que el sedimento subyacente aún poseía un alto contenido de agua, cuando los clastos fueron depositados. Los clastos desgarrados

procedentes de los campos agrícolas, ubicados a 150-200 metros de distancia de la playa, fueron transportados hacia el mar durante el retrolavado (figura 4.15b).

Los signos de erosión del tsunami son visibles en Lagunillas (figura 4.16a) y en la playa Chaco (figura 4.16b). En este último caso, el desgaste, erosión es debido al retrolavado con canales de erosión dentro de la superficie de lodo. Dado que no se produjeron lluvias fuertes en la región de Paracas entre el tsunami y nuestra evaluación de campo, por tal motivo estas estructuras tuvieron un origen tsunamigénico.



Figura 4.15 Depósitos de tsunami en playa Jahuay. (a) Depósito de tsunami con clastos desgarrados impactados en la capa *run-up* subyacente. (b) Vista de la playa mostrando clastos desgarrados del suelo de los campos agrícolas que se encuentran en la parte posterior de la playa y que fueron transportados hacia el mar durante el retrolavado (tomado de Spiske et al., 2013).



Figura 4.16 Estructuras producidas por erosión de las olas de tsunami Pisco-Paracas. (a) Erosión de superficie en Lagunillas. (b) Canal de retrolavado en la playa Chaco producto del retroceso de la ola de tsunami playa (tomado de Spiske et al., 2013).

#### INTERPRETACIONES Y DISCUSIONES

Teniendo en cuenta que la fosa Perú-Chile es una de las zonas sísmicas más activas del mundo (Kulikov et al., 2005) con una recurrencia de terremotos de gran magnitud, con posible presencia de tsunamis, fue sorprendente encontrar rastros de tsunamis históricos en sólo tres sitios. Según Kulikov et al. (2005) un tsunami con alturas de ola promedio de alrededor de 11 m es generado por sismos en la fosa Perú-Chile cada 50 años, con 14 m cada 100 años y con 16 m cada 200 años. Dorbath et al. (1990) cita que el periodo de ocurrencia de grandes terremotos en Perú y Chile, que pueden causar tsunamis a lo largo del Pacífico es de aproximadamente un siglo. Teniendo en cuenta los acontecimientos

que figuran en los estudios de tsunami (Berninghausen, 1962; lida et al, 1967; Lomnitz, 1970; Lockridge, 1985; Dorbath et al, 1990; Carpio y Tavera, 2002; Kulikov et al, 2005; Benavente et al., 2008 y 2012), en el Perú el período de ocurrencia de tsunamis locales con alturas de ola <10 m es de aproximadamente una década. Esta cifra coincide con los acontecimientos más recientes en el Perú 1996, 2001 y 2007.Los estudios de tsunami indican que los tsunamis históricos en general y el número de tsunamis destructivos son mayores en el centro y sur del Perú que en el norte de Perú. Este podría ser el resultado de las diferentes condiciones de esfuerzos a lo largo de la placa tectónica en marcadas en las fronteras norte y sur de la Dorsal de Nazca o por el hecho de que las costas del centro y sur del Perú son más densamente pobladas en comparación con el norte de Perú.

El pequeño número de capas de tsunamis detectados puede ser debido a:

- a) El hecho de que una gran parte de la costa está cubierta por los acantilados.
- b) Los depósitos de la costa y los depósitos de tsunami son similares, por tanto, es probable un mismo origen.
- c) El bajo potencial de conservación de las capas de tsunami en tierra.

El último caso fue reportado por Spiske et al. (2013a), donde estudiaron los sedimentos depositados por los tsunamis más recientes en el Perú (Chimbote 1996, Camaná 2001, Pisco-Paracas 2007) y constataron que ninguno de los sedimentos depositados en Chimbote quedaron once años después del evento y sólo la mitad de los depósitos del tsunami de Camaná guedaron seis años después del evento. El bajo potencial de conservación parece estar determinado principalmente por el clima árido y una rápida erosión eólica de los sedimentos del tsunami; sin embargo, la costa del Perú es un lugar apropiado para el estudio de los depósitos históricos de tsunamis debido a que la región cuenta con condiciones climáticas estables y no experimenta tormentas estacionales, ni mareas de tormentas (NCDC, 2011). Por lo tanto, las mareas de tormenta pueden ser excluidas como formadoras de depósitos en las zonas costeras. Esporádicamente, las fuertes lluvias que son capaces de erosionar y transportar enormes cantidades de sedimentos caen durante el Fenómeno de El Niño. Witter et al. (2001) señala que estos depósitos de inundación se pueden distinguir fácilmente de los sedimentos depositados por las inundaciones del mar debido a la dirección inversa del transporte. Por lo tanto, los depósitos de inundación son provocados por El Niño se presentan como capas más gruesas en dirección hacia la costa, mientras que para las mareas de tormenta o un tsunami sería lo contrario (Witter et al., 2001). Además, los sedimentos formados por tormentas o un tsunami pueden contener organismos marinos. Este es el caso para todas las capas de tsunami reportadas en este estudio y, en consecuencia, las inundaciones de El Niño no podrían haber formado los depósitos de capas gruesas en la costa del Perú.

En el Puerto Casma se encontró una capa de tsunami que fue datada en 1641± 26 años dC (fig. 1, 2) la cual muestra una gradación normal con un contacto erosivo y la acumulación de minerales pesados en la base. La arena es mucho más gruesa que las arenas de la playa que la rodean y contienen fragmentos de rocas y caparazones. La gradación normal de la capa indica una depositación de las partículas en suspensión. Las distribución

del tamaño de grano muestran que las capas de paleotsunamis contienen arena de playa retrabajada de granos más gruesos y con un mayor contenido de minerales pesados, lo que indica probablemente un origen marino superficial. La presencia de minerales pesados dentro de la unidad del tsunami refleja que el tsunami tenía mayores condiciones de flujos de alta energía en comparación con las condiciones de las olas normales, por lo tanto, es capaz de transportar y erosionar el material posiblemente más profundo, y el material que fue demasiado pesado (demasiado grande o demasiado denso) para ser transportado por el oleaje normal. Por ello al hacer un seguimiento de la capa de tsunami aproximadamente unos 100 m en dirección hacia el interior da pruebas de una tendencia leve de material más fino hacia la costa.

Alrededor de la edad datada con 1641±26 años dC (1615-1667 dC), se generó una lista con registros históricos de siete terremotos de gran magnitud en los años 1604 dC, 1615 dC, 1619 dC, 1647 dC, 1664 dC, 1678 dC y 1687 en el Perú (Tabla 2; Berninghausen, 1962; lida et al, 1967; Lomnitz, 1970; Lockridge, 1985; Dorbath et al, 1990; Carpio et al, 2002; Kulikov et al, 2005). Los eventos de 1615 - 1647 - 1664 - 1678 están relacionados con tsunamis que afectaron la zona sur del Perú. El evento de 1604 produjo en el norte de Perú, un tsunami con pequeñas olas y con una profundidad de flujo calculado de 6.2 m en el Puerto Casma. Además, el evento de 1604 no se encuentra dentro del rango calculado de 1641± 26 años dC. Esto también se aplica para el terremoto de 1687, con un epicentro cerca de Lima, que causó un tsunami que afectó el norte de Perú. Para los otros dos eventos de 1619 y 1663 no se informó presencia de tsunami. Excluyendo los terremotos que afectaron sobre todo al sur del Perú, así como, los eventos que están fuera del rango de edad datada (1604 y 1687), evento local sin registrar de 1619 sigue siendo el posible desencadenante de la depositación de una capa de tsunami en el Puerto Casma.

Dorbath et al. (1990) afirma que es extraño que para el evento de 1619 no se reportara tsunami; sin embargo, la calidad de los datos históricos en muchos casos es cuestionable, porque aún hoy en día la costa peruana se encuentra en muchas partes muy alejada y no densamente poblada (Dorbath et al, 1990; Kulikov et al, 2005). Esto también se refleja en los estudios de tsunamis, principalmente en Lima (Callao) y Arica, así como, algunas pequeñas ciudades costeras. Dorbath et al. (1990), Wells (1996) proponen un depósito de tsunami formado por residuos orgánicos dentro de una compleja zona de playa en Santa alrededor de 1618 dC. A pesar de la posibilidad de un evento local, que no afectó a las principales ciudades de la costa y, por lo tanto, no estaba registrado en los estudios de tsunamis históricos, el evento de 1619 con una magnitud supuesta de 7.7 a 8.0 (tabla 2) y una longitud de ruptura de 100-150 km parece ser el desencadenante más razonable. El terremoto puede ser visto como precursor del evento Chimbote 1996, que tuvo una magnitud de 7.5, una longitud de ruptura de unos 100 km y provocó un tsunami regional con alturas de ola de 3.5 metros y un máximo de inundación de 455 m (Petroff et al., 1996; Bourgeois et al., 1999). Por lo que el evento de 1619 podría haber desencadenado un tsunami de magnitud similar, esto coincidiría con los cálculos de flujo en el Puerto de Casma y la única ocurrencia local de la capa de tsunami. Por lo tanto, este estudio puede proporcionar la primera evidencia de un tsunami local que fue provocado por el terremoto del 14 de febrero de 1619 en Chimbote y puede apoyar la hipótesis de Wells (1996).

La segunda capa histórica se encuentra en Vila Vila, en el sur de Perú. La capa contiene una gran cantidad de conchas y fragmentos de conchas, así como cantos y fragmentos de roca, algunos de ellos con organismos marinos adheridos. La edad obtenida es de 1862± 18dC años (1797-1871 dC). La gradación normal y la imbricación dan evidencia del transporte de partículas pequeñas en suspensión, y el transporte de grandes conchas y cantos rodados, respectivamente. Los cálculos de flujo poco realistas de los parámetros de Vila Vila implica que la parte de carga del lecho puede haber sido superior al 10% debido a que el modelo inverso TsuSedMod sólo puede simular la depositación de un flujo de carga, con pendiente <10% de lecho (Jaffe y Gelfenbaum, 2007; Spiske et al., 2010).

Los estudios de tsunami (Berninghausen, 1962; lida et al, 1967; Lomnitz, 1970; Lockridge, 1985; Dorbath et al, 1990; Carpio y Tavera, 2002; Kulikov et al, 2005) reportan siete grandes terremotos en todo el lapso de tiempo datado, en marcados en los eventos de 1833, 1835, 1847, 1868, 1869, 1871 y 1877 (tabla 2). Para el evento de 1833 no se informó tsunami, todos los otros terremotos provocaron un tsunami que afectó el sur de Perú, mientras que los tsunamis de 1847, 1869 y 1871 fueron probablemente demasiados pequeños para depositar la capa de tsunami en Vila Vila.

Tres eventos (1835, 1868, 1877) causaron tsunamis en el océano Pacífico, el tsunami de 1835 se produjo en Chile Central, a 2 100 kilómetros al sur de Vila Vila, y el principal impacto se observó en Concepción, pero no se registraron severos daños en el sur de Perú (lida et al, 1967; Lomnitz, 1970; Lockridge, 1985). En consecuencia, los eventos de 1868 y 1877 permanecen como posibles causas de los depósitos de tsunami en Vila Vila.

El terremoto del 13 de agosto de 1868 es el segundo terremoto más importante generado fuera de la costa en Arica, después del terremoto de 1604, donde se reportó una altura de las olas de 15 a 21 m aproximadamente, más al norte cerca de Islay alcanzaron los 12m (Berninghausen, 1962; lida et al, 1967, Lockridge, 1985). Por lo tanto, se puede suponer una altura de por lo menos 10 m para Vila Vila, a unos 180 km al sur de Islay y 65 km al norte de Arica. Además, este evento es el más cercano a la edad obtenida de 1862±18 años dC.

El evento de 1877 está un poco fuera del rango de edad obtenida y se generó por un terremoto fuera de la costa en Tarapacá, a unos 200-250 k m al sur de Vila Vila, no obstante, se reportaron olas de 20 m de altura en Arica, que también afectaron gravemente la costa del sur del Perú (Berninghausen, 1962; lida et al, 1967; Lomnitz, 1970). En comparación con el evento de 1868, la altura del tsunami parece disiparse de manera significativa al norte de Arica, porque sólo se informa alturas del tsunami de 3 m en Islay (Lockridge, 1985). El evento de 1877 no se puede excluir; pero el evento más razonable para depositar los sedimentos de tsunami en Vila Vila es el evento de 1868 que se encuentra en las fuentes históricas también llamado «El gran terremoto y tsunami del Perú « (lida et al., 1967).

Las dos capas de tsunami en Boca del Río están datadas en 2.26  $\pm$  0.37años (248 $\pm$ 367 aC) y 1.98  $\pm$  0.23 años (24 $\pm$ 231 dC). En consecuencia, sus edades están más allá del límite de los estudios de tsunamis que no se registran en los eventos peruanos mayores de 1513 dC (Carpio y Tavera, 2002), siendo una importante información para la ampliación de catálogo sísmico y para el conocimiento de la recurrencia. El lapso de tiempo transcurrido entre las dos capas de tsunami en Boca del Río es de aproximadamente 272 años.

Como se discutió en el caso de Vila Vila y como se representa en la tabla 2, el sur de Perú es una región sísmicamente muy activa. Los terremotos y tsunamis más grandes del Perú se generan en la región de Arica, en el año 1604 dC y 1868 dC. Curiosamente, el lapso de tiempo que pasa entre estos dos eventos principales es de 264 años y por lo tanto muy cerca de los 272 años que pasaron entre los dos eventos en Boca del Río. Por otra parte, está registrado que los terremotos de 1604 y 1868 tuvieron rupturas idénticas y los tsunamis provocados poseían parámetros similares de inundación (Tabla 2; Dorbath et al, 1990.). Esto también se aplica para las dos capas en Boca del Río, donde los parámetros de flujo son 7,1 m/s y 5.1 m de profundidad para la capa más antigua y 7.8 m/s y 6.1 m para la más joven. Estas observaciones implican que las capas observadas en Boca del Río, representan la presencia de un terremoto y tsunami resultante ligados a los dos «Grandes terremotos y tsunamis en Arica» en 1604 y 1868 dC.

Fecha (A.D.)	Ubicación del epicentro	Magnitud del terremoto	Lugares donde se observaron tsunamis	Longitud de ruptura (km)	Altura máxima de ola (m)	Magnitud de tsunami	Comentarios	Referencias
24.11.1604	Arica	8.2-9.0	Talcahuano (Chile) hacia Trujillo	450	10-15 (26)	4	El tsunami afectó 1400-1900 km de litoral; La máxima inundación reportada fue de 10 km en Arica: Arica fue destruida por el tsunami	2, 3, 4, 5, 6
16.09.1615	Arica	7.5-7.9	Arica		4	1.5		1, 3, 4, 5, 6
14.02.1619	Chimbote	7.7-8.0	_	100-150			Trujillo y Santa fueron severamente destruidos por el terremoto; no hay observaciones de tsunami	2, 5
07.05.1647	Pisco?	8.5	De Arica a Lima		2.8	2		1, 3, 5
12.05.1664	Sur de Lima	7.3-7.5		75			No hay observaciones de tsunami	2, 5
17.06.1678	Norte de Lima	7.7-8.0	Lima			2		1, 6
20.10.1687 18.09.1833	Lima Arica	8.0-8.5 7.2-7.7	De Pisco a Trujillo —	>300 50-100	5-10	3-3.6	Tsunamis en todo el Pacífico No hay observaciones de tsunami	1, 3, 2, 5 2, 5
20.02.1835	Concepción (Chile)	7.0-8.2	De Puerto Montt (Chile) a Lima		7.5-24	3	Tsunamis en todo el Pacífico	1, 3, 4, 6
23.05.1847	Lima		Lima		2	1.5		3
13.08.1868	Arica	8.5-9.0	De Puerto Montt (Chile) a Talara	500	14-21	4	La máxima inundación reportada fue de 3 km a unos 100 km al sur de Arica; Arica fue destruida por el tsunami, Tsunamis en todo el Pacífico	1, 2, 3, 4, 5, 6
24.08.1869	Arica	6.8-7.4	Arica, Lima		2	1		1, 3, 6
21.08.1871	Lima	6.8-7.0	Lima		1-2	1		1, 3, 6
09.05.1877	Tarapacá (Chile)	8.0-8.5	De Puerto Montt (Chile) a Talara	450 -500	16-24	4-4.5	Tsunamis en todo el Pacífico; 20 m de amplitud de tsunami en Arica	2, 3, 4, 5

Tabla 4.1 Lista de posible tsunamis alrededor de 1641±26 yr dC (1615-1667 ) por el evento de Puerto Casma y 1862±18 yr dC (1797-1871 dC) por Vila Vila. (Tomado de Spiske et al., 2013)

1. lida et al. (1967), 2. Dorbath et al. (1990), 3. Lockridge (1985), 4. Lomnitz (1970), 5. Carpio & Tavera (2002) y Berninghausen (1962).

Finalmente, Einsele et al. (1996) observaron que el potencial de preservación de los sedimentos depositados por los acontecimientos relativamente raros, como los tsunamis, es bajo para entornos en alta mar y podría ser mayor para sedimentos depositados por tormentas; (Weiss & Bahlburg, 2006). Por ejemplo, Oliveira et al. (2008) han señalado que solo el 25 % de las ubicaciones onshore en Portugal afectadas por el tsunamis de 1755 en Lisboa muestran depósitos tsunami. Esto implica que los sedimentos han sido erosionados en 75 % de los sitios o que el tsunami no depositó sedimentos en todos los sitios donde se reportó la inundación. Los estudios de campo, como el realizado por Szczucinski (2012), sugieren que por lo menos en la mitad de los sitios no se conservaron los sedimentos de tsunami. El potencial de conservación de

sedimentos se determina generalmente por la interacción de varios procesos físicos y biológicos, entre otros por la erosión o bioturbación.

Por tal motivo, proponemos a partir de estos trabajos (en Spiske et al., 2013), un resumen esquemático de los cambios post deposicionales de los sedimentos de tsunamis (figura 4.17), representando las variaciones en el espesor de los depósitos, en los indicadores de flujo, en las estructuras internas y en las que indican erosión y estructuras producidas por microorganismos.

Asimismo, proponemos criterios que influencian en la preservación potencial de los depósitos de tsunamis, tomando en cuenta parámetros climáticos, tectónicos, geomorfológicos y antrópicos.



Figura 4.17 Resumen esquemático de cambios postdeposicionales de depósitos de tsunamis.

Tabla 4.2 Criterios de influencia relativa en la preservación de depósitos de tsunami en el litoral peruano (Tomado de Spiske et al., 2013)

Criterio	Preservación buena/mala	Opciones	Razones		
ч -	_	Árido	Fuerzas eólicas		
Región climática	+	Húmedo, frio	La vegetación, humedad del suelo		
	-	Húmedo, tropical	Fuerte meteorización, lluvias estacionales		
Fenómeno climático	-	El Niño	Fuerte incremento de la erosión		
	-	Inundaciones repentinas	Fuerte incremento de la erosión		
	-	Temporada de Iluvias	Fuerte incremento de la erosión		
Fuerzas eólicas	<u> </u>	Sedimentos de grano muy fino (lodos, arcillas)	Fáciles de transportar pero difíciles de erosionar cuando están secos (cohesión de las partículas de lodo)		
	<u> </u>	Sedimentos de grano fino (arenas)	Serán transportados pero un rápido enterramiento con las eolianitas preservará el depósito		
	+	Sedimentos de grano grueso (arenas, gravas)	No pueden ser transportados pero pueden permanecer como capa residual si los granos más finos quedan erosionados		
	+	Cantos rodados	Sólo pueden ser transportado por tormentas o tsunamis fuertes		
	+	Lagunas costeras, marismas, lagunas, back dune	Los sedimentos son retenidos / bajo potencial de erosión por backwash (lavado de contracorriente)		
	-	Costa abierta / playa	Traslado rápido por las olas o mareas		
Ambientes sedimentarios	_	Playa estrecha	Fuerte backwash (lavado a contracorriente)		
ooumontarioo	_	Costas de acantilados	Las olas pueden no alcanzar la cima de un acantilado; la arena puede no estar disponible para el transporte		
	+	Cerca de desembocaduras de ríos	Alta disponibilidad de sedimentos		
Distancia de la costa	_	Cercana	Erosión por mareas y olas de tormenta		
	+	Tierra adentro	Ninguna influencia de mareas u olas de tormenta		
Indicador de	_	Empinado	Backwash (lavado de contracorriente) fuerte; pero mayor para máximos topográficos si se canaliza en puntos bajos		
llanura costera	+	Llano / planar	Backwash (lavado de contracorriente) de baja energia; el agua puede penetrar de manera que los sedimentos finos se asientan		
Movimientos	-	Levantamiento	Erosión rápida para restablecer un equilibrio		
tectónicos	+	Subsidencia	Ofrece espacio de acomodamiento		
Tinos de	-	Depósitos de las primeras olas	Será erosionado por las olas posteriores		
tsunamis	+/	Depósitos de la última ola	No se erosionan por las olas posteriores pero la erosion por backwash (lavado de contracorriente) es posible; quedan expuestos a la superficie		
Donásitos	-	Depósitos de run-up	Erosionados por backwash (lavado de contracorriente)		
Depositos	+/	Depósitos de backwash (lavado de contracorriente)	Sin la erosión por las olas posteriores pero expuestos a la superficie		
	-	Bioturbación	Mezcla de sedimentos; pérdida de estructuras internas		
Actividad biogénica	-	Desarrollo de una nueva mezcla de sedimentos a partir del suelo y la cubertura vegetal; pérdida de estructuras internas	Mezcla de sedimentos; pérdida de estructuras internas		
	+	Vegetación existente antes del tsunami (por ejemplo, hierba, árboles)	La fricción ralentiza el flujo y puede permitir que el sedimento se asiente; sedimento retenido		
	-	Campos agrícolas	Arado, recultivo		
Actividad antrópica	_	Limpieza de playas	Remoción de líneas de oscilación o arena		
antiopida	_	El uso de la arena o cantos rodados del tsunami para la reconstrucción	Remoción de depósitos de tsunamis		

78

# CAPÍTULO V MODELAMIENTO INVERSO

Los tsunamis son procesos geológicos que se desarrollan en el océano y afectan las zonas costeras a través de diferentes manifestaciones, como inundaciones y modificaciones geomorfológicas de la zona de costa. Estas manifestaciones dejan diferentes rastros, evidencias, huellas, que nos permiten reconstruir el fenómeno con la finalidad de determinar altura de la ola y área de inundación utilizando el modelamiento inverso TsuSedMod. Adicionalmente, nuestros resultados inciden en una correcta planificación del territorio para las localidades ubicadas frente a la costa, en especial para las localidades de las regiones de Ancash, Moquegua y Tacna. En esta parte presentamos la metodología, parámetros o factores para el modelado y mapas con líneas de máxima inundación a partir de los depósitos identificados.

#### **METODOLOGÍA**

El Modelamiento Inverso TsuSedMod se aplicó por primera vez, en un tramo costero, en los sedimentos dejados por el tsunami de 1998 en Papúa Nueva Guinea (Gelfenbaum&Jaffe, 2003; Jaffe&Gelfenbaum, 2007). El modelo emplea los siguientes supuestos:

- (1) El flujo del tsunami en tierra es constante y uniforme.
- (2) Todos los granos de sedimentos son transportados, y se depositan a partir de la suspensión (transporte de carga-lecho <10%).</p>
- (3) No se produce por la erosión posterior o por olas sucesivas de retrolavado.

Teniendo en cuenta estas premisas, Jaffe&Gelfenbaum (2007) argumentan que TsuSedMod es el modelo más adecuado para amplias llanuras costeras, suavemente inclinadas, en las que el retrolavado no es ni fuerte, ni restringido a depresiones morfológicas por la canalización.

TsuSedMod está diseñado principalmente para estimar la velocidad del flujo en tierra. Por lo tanto, los parámetros de entrada de TsuSedMod son, entre otros, la profundidad del flujo superficial del tsunami, el espesor del depósito del tsunami, su granulometría y la densidad total del sedimento. Mediante el uso de estos parámetros de entrada, TsuSedMod calcula la velocidad de corte, rugosidad del lecho (es necesario predecir la carga de sedimentos), velocidad máxima y media del flujo, y el número máximo y promedio de Froude. Si la profundidad del flujo real es desconocida (por ejemplo, para los eventos históricos), el número de Froude se utiliza para la estimación de la profundidad del flujo en un proceso reiterativo. La mayoría de las partes del flujo de tsunami son subcríticas, y por lo tanto el número de Froude es entre 0.7 y 1. La única parte del tsunami del que se pueden esperar grandes números de Froude es la punta del frente de onda. En este sentido, la profundidad del flujo calculado con TsuSedMod es un valor mínimo, ya que el número de Froude es inversamente proporcional a las profundidades de los flujos asumidos. TsuSedMod también ofrece la opción de estimar la rugosidad del lecho de forma dinámica, utilizando el tamaño de grano y la velocidad de corte. Esta opción se utiliza en el cálculo debido al amplio espectro del tamaño de las muestras de sedimentos.

Para determinar la distribución del tamaño de grano de las muestras de sedimento, se utilizó un contador de partículas digital (PartAn 2001L por Ana TecDeutschlandGmbH) con una resolución máxima de 2048 clases de tamaño de grano. Los datos del tamaño de grano de las muestras seleccionadas también se midieron con un tubo de sedimentación, con el fin de comparar los diferentes tipos de datos de entrada del modelo. Si el grosor de un depósito no era continuo en un punto, entonces se utilizaba el espesor máximo para el modelo.

#### MODELADO DE LOS PARÁMETROS DEL TSUNAMI

El Modelamiento Inverso TsuSedMod hace varias suposiciones que implican que sólo se puede aplicar para el cálculo de velocidades del flujo y las profundidades de los depósitos de tsunami que se depositaron durante el *run-up*, en donde el 90 % del material sedimentado de la suspensión, y el retrolavado no modificaron el espesor (Jaffe&Gelfenbaum, 2007).

En Puerto Casma y Boca del Río, la presencia de contactos erosivos en la base y de caparazones de conchas marinas dentro de las capas de tsunami probablemente implica una depositación durante el transporte hacia la costa. Además, la gradación en las capas revela la depositación a partir de la suspensión de las partículas. En Puerto Casma se observó que dicha gradación presentaba una ligera tendencia hacia la costa lo que demuestra la depositación durante el flujo del tsunami hacia la costa. A lo largo de las llanuras costeras del Puerto Casma y Boca del Río, que son terrenos amplios y planos, el tsunami fue libre de inundar la zona costera hasta que su energía se disipe por completo, en estos sectores las olas naturales son débiles, probablemente por este motivo no fueron capaces de erosionar ni de redistribuir los sedimentos dejados por el *run-up*; por lo tanto, el entorno costero y las características sedimentológicas de los depósitos de tsunamis en Puerto Casma y Boca del Río parecen coincidir con los requisitos para la aplicación del TsuSedMod.

Las velocidades y profundidades mínimas del flujo calculadas utilizando TsuSedMod muestran valores realistas para las zonas de Puerto Casma y Boca del Río. En Puerto Casma se identificó un evento, cuyos resultados indican que el flujo tuvo una velocidad de 7.80 m/s y una altura de 6.2 metros; para Boca del Río se registraron dos eventos cuyos flujos tuvieron velocidades de 7,06 m/s y 7.76 m/s, y alturas de 5.1 y 6.1 metros respectivamente. Estos valores coinciden con los parámetros de inundación observados durante los recientes acontecimientos. Dengler et al. (2003) reportaron profundidades del flujo de por lo menos de 3.6 a 7.3 metros para el tsunami de Camaná el 2001. En los entornos costeros abiertos, como los sitios visitados durante este estudio, Dengler et al. (2003) reportaron profundidades del flujo de por lo menos 4.3 hasta 5.1 metros a una distancia de 750 metros de la costa. La velocidad del flujo de 2.80 a 6.60 m/s fue modelada para el tsunami de Chimbote de 1996 (Bourgeois et al., 1999).

En Vila Vila, la imbricación de los caparazones indica una depositación durante el flujo hacia la costa (figura 4.9a). Sin embargo, la propia imbricación representa una parte significativa del transporte de la carga del lecho (Harms et al., 1975; Johansson, 1976). En consecuencia, el modelo no puede ser aplicado allí, debido a los valores irrealmente altos que dan una velocidad de 21.37 m/s y una altura de 47 metros, los cuales fueron calculados por el modelo. La gradación normal de la carga del tsunami (figura 4.8) también indica que parte de los sedimentos provinieron de la suspensión. Sin embargo, la parte de la carga del lecho parece haber superado el 10 % debido a que transgrede los supuestos del modelo.

TsuSedMod, es un Modelamiento Inverso producido por Jaffe & Gelfenbaum (2007), que se puede aplicar tanto para estimar la profundidad de flujo mínimo como la velocidad de dicho flujo, utilizando el espesor y la distribución del tamaño de grano de un depósito de tsunami. Además de las estimaciones dadas de las

velocidades y profundidades del flujo, la aplicación de este método puede ayudar a evaluar la magnitud de un tsunami.

El Modelamiento Inverso puede ser una herramienta útil para producir información cuantitativa sobre los tsunamis históricos (Huntington et al., 2007). Jaffe&Gelfenbaum (2007) desarrollaron TsuSedMod para ayudar a la estimación de la profundidad y velocidad del flujo. Como aportación inicial para los cálculos, TsuSedMod utiliza las distribuciones del tamaño de grano y el espesor de los depósitos del tsunami en tierra. Con estos datos de entrada TsuSedMod estima la velocidad del flujo del tsunami local, haciendo uso de un modelo de transporte de sedimentos para determinar la velocidad necesaria para llevar en suspensión un determinado volumen de sedimento de un cierto tamaño de grano. Por otra parte, se utiliza un procedimiento reiterativo para hacer que coincida con lo observado en el espesor del depósito del tsunami y la distribución del tamaño de grano (Spiske et al., 2010).

#### LÍNEAS DE INUNDACIÓN DE TSUNAMIS

Las líneas de inundación se hicieron con ayuda del programa ArcGis, las cuales se muestran en los mapas generados a partir de los resultados que se obtuvieron mediante el método del Modelamiento Inverso (TsuSedMod) para los sectores de Puerto Casma, Boca del Río y Vila Vila (figuras 5.1, 5.2 y 5.3).

#### a) Puerto Casma

Para Puerto Casma, con ayuda del programa ArcGis, se trazó una cota que viene a ser la profundidad mínima de la inundación de la ola de tsunami, la cual fue calculada por el método TsuSedMod, arrojando una altura mínima de la inundación de 6.2 metros y una velocidad del recorrido de la ola en la costa de 7.80 m/s. Se observó que en este sector la ola del tsunami llegó a inundar hasta 3.6 kilómetros desde la línea de costa.

Por la proximidad que existe desde el Puerto Casma a la ciudad de Chimbote, se trazó la cota de la altura mínima de inundación hasta el puerto de la ciudad de Chimbote para así determinar los lugares y zonas que fueron afectadas por el tsunami a lo largo de toda la costa. Entre los sectores afectados se encuentran las viviendas ubicadas en la bahía de Casma, las Tortugas, Chimú, Samanco, los pueblos que se ubican en las orillas de la Bahía de Samanco, al igual que en la Bahía el Ferrol, que principalmente viene a ser la ciudad de Chimbote, donde podemos ver que la base de la inundación se encuentra en la plaza de armas de la ciudad y que todo el puerto de Chimbote y las casas que se ubican próximas a la playa y al puerto se vieron afectadas por la ola de tsunami (figura 5.1).

Existen sectores donde el nivel de la base de la inundación se encuentra a 4 kilómetros de la línea de costa como se observa en la figura 5.1, esta línea nos sirve de referencia porque es a partir de este nivel que se da la inundación por la ola de tsunami, a partir de estos datos podremos generar nuevos escenarios con mayores alturas de inundación para este lugar, teniendo en cuenta que se tiene información documentada de olas de Tsunami, como el último tsunami que afectó Chimbote y que está registrado por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, que se dio el 21 de febrero de 1996 por un sismo originado a 210 kilómetros al suroeste de la ciudad de Chimbote, con una magnitud de 6.9 grados, que originó olas de hasta 6 metros de altura, las cuales causaron daños materiales y la pérdida de 15 vidas humanas.



Figura 5.1 Mapa de las áreas de inundación entre el Puerto Casma y la ciudad de Chimbote, usando los resultados obtenidos por el método de TsuSedMod, se observa en color celeste las zonas inundadas.

#### b) Boca del Río

En Boca del Río, ubicado en la región Tacna al sur del Perú, se determinó la existencia de dos eventos:

- El primer evento (A), se calculó por el método de TsuSedMod y dio como resultado que la ola ingreso a la playa con una velocidad de 7.06 m/s, también se calculó la altura mínima de la inundación, que fue de 5.1 metros. Utilizando el programa ArcGis trazamos la cota a lo largo de 22 kilómetros por la línea de costa, tomando como punto central la ciudad de Boca del Río (figura 5.2), y se puede observar que las zonas afectadas directamente vienen a ser la playa Llostay, la ciudad de Boca del Río, Punta Colorada, Tomoyo, playa Gaviotas, el poblado de Vila Vila y las viviendas que se encuentran frente a la Playa Submarino, ya que el nivel que se tiene, representa la base de la inundación; en algunos sectores este nivel se encuentra a 560 metros de la línea de costa y a partir de este nivel se pueden generar escenarios probables para inundaciones con alturas de 10 metros.
- El segundo evento (B), se calculó también por el método TsuSedMod y los resultados que se obtuvieron indican que la ola ingresó con una velocidad de 7.76 m/s y una altura mínima de inundación de 6.1 metros; de igual manera se utilizó el ArcGis para generar una cota a esa altura y poder observar las zonas de mayor influencia de la ola de tsunami como se observa en la figura 5.3. La zona que marca la base de la inundación y los lugares afectados son los mismos que en el primer evento (A), porque este

solo presenta una diferencia en altura de 1 metro; en algunos sectores la cota de la base de la inundación se encuentra a 650 metros de la línea de costa.

Teniendo estos dos eventos registrados, en la figura 5.4 superponemos estos dos eventos en un mismo mapa, observando así que el nivel de la base de la inundación de los eventos A y B es casi similar, recalcando que estas cotas no son las alturas máximas de run-up provocada por la ola de tsunami. Algunos autores como Silgado (1978) y Okal et al. (2006), indican que los tsunamis que afectaron estas áreas, precedidos por grandes terremotos, llegaron a tener olas mayores a 10 o 12 metros y cuya altura de inundación fue de 10 metros (Fernández, 2007), como el ocurrido por el terremoto del 13 de agosto de 1868 a 70.3 kilómetros de Arica, algunos autores indican que pudo apreciar olas de tsunami con una alturas hasta de 18 metros (Vargas, 1981) A partir de esta línea que indica la base de la inundación se puede contrastar con otra información y generar escenarios con alturas de hasta 10 a 15 metros los cuales se ajustarían a la realidad del evento.

#### c) Vila Vila

Para Vila Vila, el modelo no puede ser aplicado, ya que los cálculos por el método de TsuSedMod fueron muy altos, dieron una velocidad para la ola de tsunami de 21.37 m/s y una altura mínima de inundación de 47 metros. Estos datos son irreales para el modelo e imposibles para su representación en un mapa de inundación.



Figura 5.2 Mapa de la altura mínima de inundación para el primer evento (A) que tiene una altura de 5.1 metros, se observa en color celeste el área inundada por debajo de la línea de la base de la inundación.



Figura 5.3 Mapa de la altura mínima de inundación para el segundo evento (B) que tiene una altura de 6.1 metros, se observa en color celeste el área inundada por debajo de la línea de la base de la inundación.





### CONCLUSIONES

La extensa historia de tsunamis que han azotado las costas del Perú, nos recuerda que estos eventos son fiel reflejo de procesos tectónicos; desde la existencia de la costa peruana existieron los tsunamis y aplicando la misma teoría es posible asegurar que seguirán ocurriendo por millones de años más.

Es así que inundaciones producidas en nuestro país han alcanzado alturas de hasta 20 metros sobre el nivel del mar, generado la destrucción de extensas áreas y la pérdida de vidas humanas. Esta constante amenaza se traduce en un riesgo permanente para los asentamientos humanos localizados en el borde costero en el Perú y el mundo. Las estadísticas indican que Perú y Chile son los países que sufren más terremotos y erupciones volcánicas por kilómetro cuadrado en todo el planeta. De acuerdo a Lockridge (1985), solo si se considera el siglo XX, uno de cada tres tsunamis del océano Pacífico se origina en la costa Peruana.

En el presente estudio llegamos a las siguientes conclusiones:

- Los depósitos de tsunamis son un tipo especial de sismitas, cuya identificación y datación aportan datos importantes a estudios de la amenaza sísmica en zonas costeras o de subducción.
- Las características que se evaluaron en el estudio fueron figuras o estructuras sedimentarias, espesor del depósito, tamaño de grano y microfósiles. El conjunto de estos datos permitieron estimar velocidades del flujo durante el tsunami y el *run-up*, este último es importante para la delimitación del área de inundación.
- Los estudios de bioestratigrafía en sedimentos de tsunamis contribuyen significativamente a la identificación del ambiente de depositación. El complemento de estos datos con datos estratigráficos, sedimentológicos y granulométricos determinará si el origen está relacionado con algún evento de tsunami.
- 4. Teniendo en cuenta que la fosa Perú-Chile es una de las zonas sísmicas más activas del mundo con una recurrencia de terremotos de gran magnitud (Kulikov *et al.*, 2005), con posible presencia de tsunamis, fue sorprendente encontrar rastros de tsunamis históricos en solo tres sitios. El pequeño número de capas de tsunamis detectados puede ser debido: i. El hecho de que una gran parte de la costa está constituida por

acantilados, ii. A que los depósitos de la costa y los depósitos de tsunami son similares, y iii. Al bajo potencial de conservación de las capas de tsunami en tierra. Por ejemplo para este último caso, se pudo observar que ninguno de los sedimentos depositados por el tsunami de 1996 en Chimbote quedaron después de once años del evento y sólo la mitad de los depósitos del tsunami de Camaná (2001) quedaron seis años después del evento.

- 5. Los depósitos de tsunamis identificados fueron en:
  - a. En Puerto Casma, encontramos una capa de tsunami que fue datada en 1641 ± 26 años dC, la cual muestra una gradación normal con un contacto erosivo y la acumulación de minerales pesados en la base. La arena es mucho más gruesa que las arenas de la playa que la rodean y contienen fragmentos de rocas y caparazones (conchas). La gradación normal de la capa indica una depositación de las partículas en suspensión. Las distribuciones del tamaño de grano muestran que las capas de paleotsunamis contienen arena de playa retrabajada de granos más gruesos y con un mayor contenido de minerales pesados.

Alrededor de la edad datada con  $1641 \pm 26$  años dC (1615-1667 dC), se generó una lista con registros históricos de siete terremotos de gran magnitud en los años 1604 dC, 1615 dC, 1619 dC, 1647 dC, 1664 dC, 1678 dC y 1687 en el Perú. Los eventos de1615, 1647, 1664, 1678 están relacionados con tsunamis que afectaron la zona sur del Perú.

El evento de 1604 produjo en el norte de Perú pequeñas olas con una profundidad de flujo calculado de 6.2 m en el Puerto Casma. Además, el evento de 1604 no se encuentra dentro del rango calculado de  $1641 \pm 26$  años dC. Esto también se aplica para el terremoto de 1687, con un epicentro cerca de Lima, que causó un tsunami en Pacífico que también afectó el norte de Perú. Para los otros dos eventos de 1619 y 1663 no se informó presencia de tsunami. Excluyendo los terremotos que afectaron sobre todo al sur del Perú, así como, los eventos que están fuera del rango de edad datada (1604 y 1687), el evento local sin registrar de 1619 sigue siendo el posible desencadenante de la depositación de una capa de tsunami en el Puerto Casma.

Por tal motivo, el evento de 1619 con una magnitud supuesta de 7.7 a 8.0 y una longitud de ruptura de 100-150 km parece ser el desencadenante más razonable. El terremoto puede ser visto como precursor del evento Chimbote1996, que tuvo una magnitud de 7.5, una longitud de ruptura de unos 100 km y provocó un tsunami regional con alturas de ola de 3.5 metros y un máximo de inundación de 455 m. Por lo que el evento de 1619 podría haber desencadenado un tsunami de magnitud similar. Por lo tanto, este estudio proporciona la primera evidencia de un tsunami local que fue provocado por el terremoto del 14 de febrero de 1619 en Chimbote y puede apoyar la hipótesis de Wells (1990).

b. En Vila Vila-sur del Perú, la segunda capa histórica contiene una gran cantidad de conchas y fragmentos de conchas, así como, cantos y fragmentos de roca, algunos de ellos, con organismos marinos adheridos. La edad obtenida es de 1862 ± 18 dC años (1797-1871 dC). La gradación normal y la imbricación dan evidencia del transporte de partículas pequeñas en suspensión, y el transporte de grandes conchas y cantos rodados, respectivamente. Los cálculos de flujo poco realistas de los parámetros de Vila Vila implican que la parte de carga del lecho pudo haber sido superior al 10 % debido a que el modelo inverso TsuSedMod solo puede simular la depositación de un flujo de carga, con pendiente <10 % de lecho.</p>

Los estudios de tsunami reportan siete grandes terremotos en todo el lapso de tiempo datado, enmarcados en los eventos de 1833, 1835, 1847, 1868, 1869, 1871 y 1877. Para el evento de 1833 no se informó tsunami, todos los otros terremotos provocaron un tsunami que afectó el sur de Perú, mientras que, los tsunamis de 1847, 1869 y 1871 fueron probablemente demasiados pequeños para depositar la capa de tsunami en Vila Vila. Tres eventos (1835, 1868, 1877) causaron tsunamis en el océano Pacífico, el tsunami de 1835 se produjo en Chile Central, a 2100 kilómetros al sur de Vila Vila, y el principal impacto se observó en Concepción, pero no se registraron severos daños en el sur de Perú. En consecuencia, los eventos de 1868 y 1877 permanecen como posibles causas de los depósitos de tsunami en Vila Vila. El terremoto del 13 de agosto de 1868 es el segundo terremoto más importante generado fuera de la costa en Arica, después del terremoto de 1604, donde se reportó una altura de las olas de 15 a 21 m aproximadamente, más al norte cerca de Islay alcanzaron los 12 m. Por lo tanto, se puede suponer una altura de por lo menos 10 m para Vila Vila, a unos 180 km al sur de Islay y 65 km al norte de Arica. Además, este evento es el más cercano a la edad obtenida de 1862 ± 18años dC. El evento de 1877 está un poco fuera del rango de edad obtenida y se generó por un terremoto fuera de la costa en Tarapacá, a unos 200 - 250 km al sur de Vila Vila, no obstante, se reportaron olas de 20 m de altura en Arica, que también afectaron gravemente la costa del sur del Perú. En comparación con el evento de 1868, la altura del tsunami parece disiparse de manera significativa al norte de Arica, porque sólo se informa alturas del tsunami de 3 m en Islay. El evento de 1877 no se puede excluir; pero el evento más razonable para depositarlos sedimentos de tsunami en Vila Vila es el evento de 1868 que se encuentra en las fuentes históricas también llamado «El gran terremoto y tsunami del Perú» (lida et al., 1967).

c. En Boca del Río, dos capas de tsunami fueron identificadas y datadas en 2.26 ± 0.37años (248 ± 367 aC) y 1.98 ± 0.23 años (24 ± 231 dC). En consecuencia, sus edades están más allá del límite de los estudios de tsunamis que no se registran en los eventos peruanos, lo que se considera una importante información para la ampliación del catálogo sísmico y para el conocimiento de la recurrencia. El lapso de tiempo transcurrido entre las dos capas de tsunami en Boca del Río es de aproximadamente 272 años.

Los terremotos y tsunamis más grandes del Perú se generan en la región de Arica, en el año 1604 dC y 1868 dC. Curiosamente, el lapso de tiempo que pasa entre estos dos eventos principales es de 264 años y, por lo tanto, muy cerca de los 272 años que pasaron entre los dos eventos en Boca del Río. Por otra parte, está registrado que los terremotos de 1604 y 1868 tuvieron rupturas idénticas y los tsunamis provocados poseían parámetros similares de inundación. Esto también se aplica para las dos capas en Boca del Río, donde los parámetros de flujo son 7.1 m/s y 5.1 m de profundidad para la capa más antigua y 7.8 m/s y 6.1 m para la más joven. Estas observaciones implican que las capas observadas en Boca del Río representan la presencia de un terremoto y un tsunami resultante ligados a los dos «Grandes terremotos y tsunamis en Arica» en 1604 y 1868 dC.

6. Por consiguiente, fueron identificados una capa de tsunami en el norte del Perú (Puerto Casma), que es la primera evidencia de un tsunami local causado por el terremoto de 1619 en Chimbote, no se informó un tsunami para este evento, pero se plantea el evento como precursor al evento tsunamigénico de Chimbote de 1996. En el sur de Perú, una capa con abundantes restos de caparazones puede estar relacionado con el terremoto y tsunami de 1868 dC en Arica, que fue uno de los eventos más destructivos que afectaron al Perú. Las dos capas de tsunami que se encuentran en el sur del Perú y datadas en 2.26  $\pm$  0.37 y 1.98  $\pm$  0.23 años parecen ser formadas por un terremoto y tsunami similares a los principales eventos de 1604 y 1868 dC.

- 7. La potencial conservación en tierra de los sedimentos de grano fino del tsunami depositados a lo largo de las playas, en los campos agrícolas o en las proximidades de los ríos está determinada por cuatro factores principales (1) el régimen tectónico de la costa, (2) las condiciones climáticas, (3) la modificación antropogénica de la costa, y (4) el tamaño de grano de los depósitos:
  - a. En las zonas tectónicamente inestables o en lugares donde el levantamiento cosísmico o subsidencia ocurrió durante el terremoto tsunamigenico, el reequilibrio de la línea de costa causaría una mayor erosión o mayores tasas de sedimentación, respectivamente. Sin embargo, una subsidencia de la costa ofrece más espacio de alojamiento, supone una cobertura más rápida, y por lo tanto la protección de los depósitos del tsunami.
  - b. Los sedimentos depositados en el lecho de los ríos estacionalmente secos o en los talweg de los ríos, solo durarán hasta el próximo deshielo o la ocurrencia de fuertes lluvias. En las zonas afectadas por lluvias estacionales, por ejemplo, tifón, ciclón o temporadas de huracanes o por fenómenos climáticos como El Niño, las estructuras superficiales se verán alteradas por la descarga del agua. En las regiones áridas, donde predomina el transporte eólico, los sedimentos del tsunami comenzarán a erosionarse y re-depositarse inmediatamente después del tsunami.
  - La influencia antropogénica, que incluye la reconstrucción de la infraestructura inmediatamente después de un tsunami, destruye las estructuras sedimentarias y/o remueve completamente los depósitos.
  - d. Los depósitos de lodo tienen un potencial de conservación mayor en comparación con depósitos de arena, debido a la cohesión de las partículas. Los depósitos de retrolavado, especialmente, los más grandes de la secuencia de olas del tsunami que tienen un mayor potencial de conservación que los depósitos de *run-up*, ya que son menos propensos a ser modificados por la acción sucesiva de otra ola de tsunami.
- 8. Los tsunamis son procesos geológicos que se desarrollan en el océano y afectan las zonas costeras a través de diferentes

manifestaciones, como inundaciones y modificaciones geomorfológicas de la zona de costa. Estas manifestaciones dejan diferentes rastros, evidencias, huellas, que permiten reconstruir el fenómeno. Con la finalidad de determinar la altura de la ola, velocidad del flujo y área de inundación se utilizó el modelamiento inverso TsuSedMod, donde los parámetros principales a tomar en cuenta fueron la granulometría y espesor del depósito de tsunami.

- a. Para el evento identificado en Puerto Casma. los resultados indican que el flujo tuvo una velocidad de 7.80 m/s y una altura de 6.2 metros, llegando a inundar hasta 3.6 kilómetros desde la línea de costa. Por la proximidad que existe desde el Puerto Casma a la ciudad de Chimbote, se trazó la cota de la altura mínima de inundación hasta el puerto de la ciudad de Chimbote para así determinar los lugares y zonas que fueron afectadas por este tsunami. Entre los sectores afectados se encuentran las viviendas ubicadas en la bahía de Casma, las Tortugas, Chimú, Samanco, los pueblos que se ubican en las orillas de la bahía de Samanco, al igual que en la bahía el Ferrol, que principalmente viene a ser la ciudad de Chimbote, donde podemos ver que la base de la inundación se encuentra en la plaza de armas de la ciudad y que todo el puerto de Chimbote y las casas que se ubican próximas a la playa y al puerto se vieron afectadas por el tsunami.
- b. En Boca del Río se registraron dos eventos cuyos flujos tuvieron velocidades de 7.06 m/s y 7.76 m/s, y alturas de 5.1 y 6.1 metros respectivamente. Las localidades afectadas ante eventos similares serían playa Llostay, la ciudad de Boca del Río, Punta Colorada, Tomoyo, plava Gaviotas, el poblado de Vila Vila y las viviendas que se encuentran frente a la playa Submarino. Superponiendo estos dos eventos en un mapa, observamos que el nivel de la base de inundación de los eventos A y B es similar, y se recalca que estas cotas no son las alturas máximas de run-up provocada por la ola de tsunami. Algunos autores como Silgado (1978) y Okal et al. (2006), Indican que los tsunamis que afectaron estas áreas llegaron a tener olas mayores a 10 o 12 metros, cuya altura de inundación fue de 10 metros, como el ocurrido por el terremoto del 13 de agosto de 1868 a 70.3 kilómetros de Arica, algunos autores indican que pudo apreciar olas de tsunami con una alturas hasta de 18 metros (Vargas, 1981)
- Finalmente, los resultados se deben utilizar en la planificación del territorio para las localidades ubicadas frente a la costa, en especial, para las localidades de las regiones de Ancash, Moguegua y Tacna.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Aitken, M.J. (1998) An introduction to optical dating: the dating of quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence. Oxford: Oxford UniversityPress, 280 p.
- Astroza, M.I. (2007) Estudio de la zona afectada por el terremoto de Pisco, Agosto 15 del 2007—Intensidades y daños del terremoto (en línea). Lima: Centro Regional de Sismología para América del Sur, 21 p. (consulta: enero 2013. Disponible en: <a href="http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20071004-Maximiliano%20Astroza%20-%20Pisco.pdf">http://blog.pucp.edu.pe/media/ 688/20071004-Maximiliano%20Astroza%20-%20Pisco.pdf</a>
- Atwater, B.F. (1987) Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington State. *Science*, 236(4804): 942-944.
- Atwater, B.F. & Moore, A.L. (1992) A tsunami about 1000 years ago in Puget Sound, Washington. *Science*, 258(5088): 1614-1617.
- Atwater, B.F.; Cisternas, M.; Bourgeois, J.; Dudley, W.C.; Hendley, J.W. & Stauffer, P.H. (1999) - Surviving a tsunami: Lessons from Chile, Hawaii, and Japan. Revised and reprinted. US Geological Survey Circular 1187, 18 p.
- Auclair, M.; Lamothe, M. & Huot, S. (2003) Measurement of anomalous fading for feldspar IRSL using SAR.*Radiation Measurements*, 37(4-5): 487-492.
- Bahlburg, H. & Spiske, M. (2012) Sedimentology of tsunami inflow and backflow deposits: key differences revealed in a modern example. *Sedimentology*, 59(3): 1063– 1086.
- Barrientos, S. (1995) Dual seismogenic behavior: the 1985 central Chile earthquake. *Geophysical Research Letters*, 22(24): 3541–3544.
- Benavente, C.; Spiske, M.; Piepenbreier, J.; Bahlburg, H. & Macharé, J. (2008) - Observaciones preliminares acerca los depósitos de tsunami en el sur del Perú(cd-rom).
  En: Congreso Peruano de Geología, 14 & Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. *Resúmenes*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p.

- Benavente, C., Spiske, M.; Piepenbreier, J.; Kunz, A.; Bahlburg, H.; Steffahn, J. (2012) - Sedimentología y dataciones por luminiscencia estimulada ópticamente (OSL) de depósitos de paleotsunamis a lo largo de la costa peruana (cd-rom). En: Congreso Peruano de Geología, 16, Lima, 2012. *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica delPerú, 5 p.
- Berninghausen, W.H. (1962) Tsunamis reported from the west coast of South America 1562-1960. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 52 (4): 915-921.
- Bondevik, S.; Svendsen, J.I.; Johnsen, G.; Mangerud, J. & Kaland, P.E. (1997a) - The Storegga tsunami along the Norwegian coast, its age and run-up.*Boreas*, 26(1): 29-53.
- Bondevik, S.; Svendsen, J.I. & Mangerud, J. (1997b) Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegga tsunami in shallow marine basins and coastal lakes, western Norway.Sedimentology, 44(6): 1115-1131.
- Bourgeois, J.; Petroff, C.; Yeh, H.; Titov, V.; Synolakis, C.E., et al. (1999) - Geologic setting, field survey and modeling of the Chimbote, Northern Peru, tsunami of 21 February 1996. Pure and Applied Geophysics, 154(3-4):513-540.
- Bryant, E. (2001) *Tsunami: the underrated hazard*. Cambridge: Cambridge University Press, 320 p.
- Buylaert, J.P.; Murray, A.S.; Thomsen, K.J. & Jain, M. (2009) -Testing the potential of an elevated temperature IRSL signal from K-feldspar. *Radiation Measurements*, 44(5-6): 560-565.
- Carpio, J.; Zamudio, Y. & Salas, H. (2002) Características generales del tsunami asociado al terremoto de Arequipa del 23 de junio del 2001 (Mw=8.2). En: Tavera, H., ed. *El terremoto de la región sur de Perú del 23 de junio de* 2001. Lima: Instituto Geofísico del Perú, p. 121-128.
- Carpio, J. & Tavera, H. (2002) Estructura de un catálogo de tsunamis para el Perú basado en el catálogo de Gusiakov. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, (94): 45-59.

- Cisternas, M. (2005) Suelos enterrados revelan la prehistoria sísmica del centro-sur de Chile durante los últimos dos milenios. *Revista de Geografía Norte Grande*, (33): 19-31.
- Cisternas, M.; Atwater, B.F.; Torrejón, F.; Sawai, Y.; Machuca, G., et al. (2005) - Predecessors to the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, 437(7057):404-407.
- Clague, J.J. & Bobrowsky, P.T. (1994a) Tsunami deposits beneath tidal marsheson Vancouver Island, British Columbia. *Geological Society of America Bulletin*, 106(10): 1293-1303.
- Clague, J.J. & Bobrowsky, P.T. (1994b) Evidence for a large earthquake and tsunami 100-400 years ago on western Vancouver Island, British Columbia.*Quaternary Research*, 41(2): 176-184.
- Clague, J.J. & Bobrowsky, P.T. (1999) The geological signature of great earthquakes off Canada's west coast. Geoscience Canada,26(1): 1-15.
- Clague, J.J.; Bobrowsky, P.T. & Hutchinson, I. (2000) A review of geological records of large tsunamis at Vancouver Island, British Columbia, and implications for hazard. *Quaternary Science Reviews*, 19(9): 849-863.
- Clifton, H.E. (1988) Sedimentologic relevance of convulsive geologic events. En: Clifton, H.E., ed. Sedimentologic consequences of convulsive geologic events. Boulder, CO: Geological Society of America, SpecialPaper 229, p. 1–6.
- Cuenca, J. (2007) Daños por el terremoto del 15 de Agosto del 2007. En: Tavera, H., ed. El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de Agosto de 2007 (7.9 Mw). Lima: Instituto Geofísico del Perú, p. 149-176.
- Dawson, A.G. & Shi, S. (2000) Tsunami deposits. Pure and Applied Geophysics, 157(6-8): 875–897.
- Dawson, A.G.; Long, D. & Smith, D.E. (1988) The Storegga slides: Evidence from eastern Scotland for a possible tsunami. *Marine Geology*, 82(3-4): 271-276.
- Dawson, A.G.; Shi, S.; Dawson, S.; Takahashi, T. & Shuto, N. (1996) - Coastal sedimentation associated with the June 2nd and 3rd, 1994 tsunami in Rajegwesi, Java. Quaternary Science Reviews, 15(8-9): 901-912.
- Dawson, S. & Smith, D.E. (1997) Holocene relative sea-level changes on the margin of a glacio-isostatically uplifted area: an example from northern Caithness, Scotland. *The Holocene*, 7(1): 59-77.

- Dengler, L.; Borrero, J.; Gelfenbaum, G.; Jaffe, B.; Okal, E., et al. (2003) - Tsunami: Ch. 7 in Southern Peru earthquake of 23 June 2001, reconnaissance report. *Earthquake Spectra*, 19 (S1): 115-144.
- Dengler, L. (2001) Impacts of the June 23, 2001 Peru Tsunami (en línea).(consulta: enero 2013).Disponible en: <http://www.gweaver.net/techhigh/projects/Waves/ Tsunami%20Project/short\_peru\_report.pdf>
- Dominey-Howes, D. (2002) Documentary and geological records of tsunamis in the Aegean Sea region of Greece and their potential value to risk assessment and disaster management. *Natural Hazards*, 25(3): 195-224.
- Dorbath, L., Cisternas, A., Dorbath, C. (1990) Assessment of the size of large and great historical earthquakes of Peru. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (3):551-576.
- Earthquake Engineering Research Institute(2001) Preliminary observations on the Southern Peru earthquake of June 23, 2001. EERI Special Earthquake Report (en línea), November 2001. (consulta: enero 2013). Disponible en:<https://www.eeri.org/lfe/pdf/peru\_arequipa\_eeri\_ preliminary\_report.pdf>
- Ecuador. Instituto Oceanográfico de la Armada (s.a.) Tsunamis (en línea). Guayaquil: INOCAR. (consulta: enero 2013). Disponible en: <http://www.inocar.mil.ec/ links.php?C=6&S=4&SbS=0&idC=3>
- Einsele, G., Chough, S.K., Shiki, T. (1996) Depositional events and their records: an introduction. *Sedimentary Geology* 104(1): 1–9.
- España. Dirección General de Protección Civil y Emergencias (2011) - *Riesgo de tsunamis: programa para centros escolares, guía didáctica para profesores*. Madrid: Ministerio del Interior, 58 p.
- Fernández, M. (2007)- *Arica 1868: un tsunami y un terremoto.* Santiago: Centro de Investigaciones Diego Barros Arana, Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos, 332 p.
- Fritz, H.M.; Kalligeris, N.; Borrero, J.; Broncano, P. & Ortega, E. (2008) - The 15 August 2007 Peru tsunami runup observations and modeling. *Geophysical Research Letters* 35(10): L10604, doi: 10.1029/2008GL030494
- Frechen, M.; Schweitzer, U. & Zander, A. (1996) Improvements in sample preparation for the fine grain technique. Ancient TL, 14(2): 15-17.

- Fujiwara, O.; Masuda, F.; Sakai, T.; Irizuki, T. & Fuse, K. (2000) -Tsunami deposits in Holocene bay mud in southern Kanto region, Pacific coast of central Japan. Sedimentary Geology, 135(1-4): 219-230.
- Galbraith, R.F.; Roberts, R.G.; Laslett, G.M.; Yoshida, H. & Olley, J.M.(1999) - Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinmium Rock Shelter, northern Australia: Part-1, experimental design and statistical models. *Archaeometry*, 41(2): 339-364.
- Gelfenbaum, G. & Jaffe, B. (2003) Erosion and sedimentation from the 17 July, 1998 Papua New Guinea tsunami. *Pure and Applied Geophysics*, 160(10-11): 1969-1999.
- Goff, J.; Chagué-Goff, C. & Nichol, S. (2001) Palaeotsunami deposits: a New Zealand perspective. Sedimentary Geology,143(1-2): 1-6.
- Goff, J.; McFadgen, B.G. & Chagué-Goff, C. (2004) Sedimentary differences between the 2002 Easter storm and the 15thcentury Okoropunga tsunami, southeastern North Island, New Zealand. *Marine Geology*, 204(1-2): 235-250.
- González F.I. (1999) Tsunami!. Scientific American, 280(5): 56–65.
- Harms, J.C.; Southard, J.B.; Spearing, D.R. & Walker, R.G. (1975)
  Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences. Tulsa, OK: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course, 2, 161 p.
- Hayward, B.W. & Brook, F.J. (1994) Foraminiferal paleoecology and initial subsidence of the early Miocene Waitemata basin, Waiheke Island, Auckland. *New Zealand Journal* of Geology and Geophysics, 37(1): 11-24.
- Heinz, P.; Ruschmeier, W. & Hemleben, C. (2008) Live benthic foraminiferal assemblages at the Pacific continental margin of Costa Rica and Nicaragua. *Journal of Foraminiferal Research*, 38(3): 215-227.
- Hindson, R.A. & Andrade, C. (1999) Sedimentation and hydrodynamic processes associated with the tsunami generated by the 1755 Lisbon earthquake. *Quaternary International*, 56(1): 27-38.
- Huntington, K.; Bourgeois, J.; Gelfenbaum, G.; Lynett, P.; Jaffe, B., et al. (2007) - Sandy signs of tsunami onshore depth and speed.*EOS Transactions*, American Geophysical Union, 88(52): 577-578.

- Huntley, D.J. & Lamothe, M. (2001) Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38(7): 1093-1106.
- Hutchinson, I. & McMillan, A.D. (1997) Archaeological evidence for village abandonment associated with LateHolocene earthquakes at the Northern Cascadia subduction zone. Quaternary Research, 48(1): 79-87.
- lida, K. (1963) Magnitude, energy and generation and mechanisms of tsunamis and a catalog of earthquakes associated with tsunamis. En: Cox, D.C., ed. *Proceedings of the* 10th Pacific Science Congress Symposium. Paris: International Union of Geodesy and Geophysics, Monograph 24, p. 7-18.
- lida, K., Cox, D.C.; Pararas-Carayannis, G. (1967) Preliminary catalog of tsunamis occurring in the Pacific Ocean.Honolulu: University of Hawaii, Institute of Geophysics, Data Report, 5-6. 261 p.(consulta: enero 2013). Disponible en: <a href="http://www.drgeorgepc.com/TsunamiPacificCatalog.pdf">http://www.drgeorgepc.com/TsunamiPacificCatalog.pdf</a>>
- Inamura, A. (1949) List of tsunamis in Japan. Journal of the Seismological Society of Japan, 2(1): 23-28.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2003) Plan de prevención ante desastres plan de usos del suelo y medidas de mitigación - Camana. Lima: INDECI, 179 p. (consulta: enero 2013). Proyecto INDECI PNUD PER/02/051 Ciudades Sostenibles. Disponible en: <http:// bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\_CS/Region\_ Arequipa/camana/camana.pdf>
- Jaffe, B.E.; Gelfenbaum, G.; Rubin, D.M; Peters, R.; Anima, R., et al. (2003) - Identification and interpretation of tsunami deposits from the June 23, 2001 Peru tsunami. Proceedings of the International Conference on Coastal Sediments 2003, Corpus Christi, TX: World Scientific Publishing Corp and East Meets West Productions. (consulta: enero 2013). Disponible en: <http:// walrus.wr.usgs.gov/tsunami/srilanka05/ CS03 PeruTsuDep.pdf>
- Jaffe, B.E. & Gelfenbaum, G. (2007) A simple model for calculating tsunami flow speed from tsunami deposits. *Sedimentary Geology*, 200(3-4): 347-361.
- Johansson, C.E. (1976) Structural studies of frictional sediments. Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography, 58(4):201-301.

- Keefer, D.K., Moseley, M.E. (2004) Southern Peru desert shattered by the great 2001 earthquake: implications for paleoseismic and paleo-El Niño–Southern Oscillation records. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* (en línea), 101(30): 10878– 10883.(consulta: enero 2013). Disponible en: <a href="http://www.pnas.org/content/101/30/10878.full">http://www.pnas.org/content/101/30/10878.full</a>
- Konagai, K. (2001) The June 23, 2001 Atico earthquake, Peru (en línea). Tokyo: Japan Society of Civil Engineers. (consulta: enero 2013). Disponible en: <a href="http://www.jsce.or.jp/library/eq\_repo/Vol1/Peru/contents.htm">http:// www.jsce.or.jp/library/eq\_repo/Vol1/Peru/contents.htm</a>>
- Kulikov, E.A.; Rabinovich, A.B. & Thomson, R.E. (2005) Estimation of tsunami risk for the coasts of Peru and Northern Chile.*Natural Hazards*, 35(2): 185-209.
- Kunz, A.; Frechen, M.; Ramesh, R. & Urban, B. (2010a) Revealing the coastal eventhistory of the Andaman Islands (Bay of Bengal) during the Holocene using radiocarbon and OSL dating. *International Journal of Earth Sciences*, 99(8): 1741-1761.
- Kunz, A.; Frechen, M.; Ramesh, R. & Urban, B. (2010b) Periods of recent dune sand mobilisation in Cuddalore, Southeast India. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaftfür Geowissenschaften, 161(3): 353-368.
- Lagos, M. & Cisternas, M. (2008) –El nuevo riesgo de tsunami: considerando el peor escenario.Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales (en línea),12-270 (29). (consulta: enero 2013). Disponible en: <ftp://146.155.48.6/geo/mlagoslo/Tsunami\_papers/ Lagos\_Cisternas\_SN\_2008.pdf>
- Lagos, M. & Cisternas, M. (2004) Depósitos de tsunami como indicadores de riesgo: evidencias sedimentarias. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, (49):329-351.
- Lamothe, M.; Auclair, M.; Hamzaoui, C. & Huot, S. (2003) Towards a prediction of long-term anomalous fading of feldspar IRSL. *Radiation Measurements*, 37(4-5): 493-498.
- Li, B.; Li, S.H.; Wintle, A.G. & Zhao, H. (2007) Isochron measurements of naturally irradiated K-feldspar grains. *Radiation Measurements*, 42(8): 1315-1327.
- Lian, O.B. & Roberts, R.G. (2006) Dating the Quaternary: progress in luminescence dating of sediments. *Quaternary Science Reviews*, 25(19-20): 2449-2468.
- Lima. Instituto Metropolitano de Planificación (2013) Plan integral de la Cuenca Chillón, intercuencas La Pampilla, Ventanilla, Santa Rosa y Ancón y la zona marítima

costera Callao-Pasamayo: Plan de Ordenamiento Territorial (POT Cuenca Chillón). Lima: Municipalidad Metropolitana de Lima, 978 p. (consulta: enero 2013). Disponible en: <a href="http://sitr.regioncallao.gob.pe/sitedt/docestudio\_chillon.aspx">http://sitr.regioncallao.gob.pe/sitedt/docestudio\_chillon.aspx</a>

- Lockridge, P.A. (1985) *Tsunamis in Perú–Chile*. Boulder, CO: World Data Center A for Solid Earth Geophysics, 97 p. Report SE-39.
- Lomnitz, C. (1970) Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535 to 1955. *International Journal of Earth Sciences*, 59(3): 938-960.
- Luque, L.; Lario, J.; Zazo, C.; Goy, J.L.; Dabrio, C.J. & Silva, P.G. (2001) - Tsunami deposits as paleoseismic indicators: examples from the Spanish coast. Acta Geológica Hispánica, 36(3-4): 197-211.
- Malumián, N. & Scarpa, R. (2005) Foraminíferos de la Formación Irigoyen, Neogeno, Tierra del Fuego, Argentina: su significado paleobiogeográfico. *Ameghiniana*, 42(2): 363-376.
- Mettier, R.; Schlunegger, F.; Schneider, H.;Rieke-Zapp, D. & Schwab, M. (2009) - Relationships between landscape morphology, climate and surface erosion in northem Peru at 5°S latitude.*International Journal of Earth Sciences*, 98(8): 2009–2022.
- Minoura, K. & Nakaya, S. (1991) Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan. *Journal of Geology*, 99(2): 265-287.
- Minoura, K.; Nakaya, S. & Uchida, M. (1994) Tsunami deposits in a lacustrine sequence of the Sanriku coast, northeast Japan. SedimentaryGeology, 89(1-2): 25-31.
- Monge, J. & Mendoza, J. (1993) Study of the effects of tsunami on the coastal cities of the region of Tarapacá, north Chile. *Tectonophysics*, 218(1-3): 237-246.
- Morton, R.A.;Gelfenbaum, G. & Jaffe, B.E. (2007) Physical criteria for distinguishing sandy tsunami and storm deposits using modern examples. Sedimentary Geology, 200(3-4): 184–207.
- Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Atwater, B.F., et al. (2003) - Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench. *Nature*, 424(6949): 660-663.
- Nichol, S.; Lian, O. & Carter, C. (2003) Sheet-gravel evidence for a late Holocene tsunami run-up on beach dunes,

Great Barrier Island, New Zealand. Sedimentary Geology, 155(1-2): 129-145.

- Nishimura, Y. & Miyaji, N. (1995) Tsunami deposits from the 1993 Southwest Hokkaido earthquake and the 1640 Hokkaido Komagatake eruption, northern Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 144(3-4): 719-733.
- Nishimura, Y.; Miyaji, N. & Suzuki, M. (1999) Behavior of historic tsunamis of volcanic origin as revealed by onshore tsunami deposits. *Physics and Chemistry of the Earth*, 24(11-12): 985-988.
- Okal, E.A.; Piatanesi, A. & Heinrich, P. (1999) Tsunami detection by satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research*, 104(B1): 599–615.
- Okal, E.A. & Newman, A.V. (2001) Tsunami earthquakes: the quest for a regional signal. *Physics of the Earth and PlanetaryInteriors*, 124(1-2):45-70.
- Okal, E.A.; Dengler, L.; Araya, S.; Borrero, J.; Gomer, B., et al.(2002) - Field survey of the Camaná, Perú tsunami of 23 June, 2001. Seismological Research Letters, 73(6): 907–920.
- Okal, E.A.; Borrero, J. & Synolakis, C.E. (2006) Evaluation of tsunami risk from regional earthquakes at Pisco, Peru.*Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(5): 1634-1648.
- Oliveira, M.A.; Andrade, C.; Freitas, M.C. & Costa, P. (2008) -Using the historical record and geomorphological setting to identify tsunami deposits in the southwestern coast of Algarve (Portugal). 2nd International Tsunami Field Symposium, Puglia, Italy, 2008. *Abstract Book*. IGCP Project 495, p. 85-88.
- Páez, M. & Zúñiga, O. (2001) Foraminíferos recientes en el área del río Loa (21°25'S; 70°04'W), Chile. Estudios Oceanológicos, (20): 3-12.
- Papadopoulos, G.A. & Imamura, F. (2001) A proposal for a new tsunami intensity scale. En: International Tsunami Symposium, Seattle, 7-9, 2001, *Proceedings*, Session 5, Number 5-1, p. 569-577.
- Perú. Dirección de Hidrografía y Navegación (2001) *Informe* post-tsunami Japón, 11 de Marzo 2011. Lima: Marina de Guerra del Perú, 27 p.
- Petroff, C.; Bourgeois, J. & Yeh, H. (1996) The February 21, 1996 Chimbote tsunamis in Peru.*EERI Special Earthquake Report* (en línea), May 1996. (consulta:

enero 2013). Disponible en: <https://www.eeri.org/lfe/ pdf/peru\_chimbote\_eeri\_preliminary \_report.pdf>

- Pinegina, T.K. & Bourgeois, J. (2001) Historical and paleotsunami deposits on Kamchatka, Russia: Long-term chronologies and long-distance correlations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1(4): 177-185.
- Pinegina, T.K.; Bourgeois, J.; Bazanova, L.; Melekestsev, I. & Braitseva, O.A. (2003) - A millennial-scale record of Holocene tsunamis on the Kronotskiy Bay coast, Kamchatka, Russia.*Quaternary Research*, 59(1): 36-47.
- Ramírez, J. (1986) Tsunami. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, (29): 29-39.
- Rittenour, T.M. (2008) Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research. *Boreas*, 37(4): 613-635.
- Satake, K.; Wang, K. & Atwater, B.F. (2003) Fault slip and seismic moment of the 1700 Cascadia earthquake inferred from Japanese tsunami descriptions. *Journal of Geophysical Research*, 108(B11): 2535.
- Satake, K. & Atwater, B.F.(2007) Long-term perspectives on giant earthquakes and tsunamis at subduction zones. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35:349-374.
- Sato, H.; Shimamoto, T.; Tsutsumi, A. & Kawamoto, E. (1995) -Onshore tsunami deposits caused by the 1993 Southwest Hokkaido and 1983 Japan Sea earthquakes.*Pure and Applied Geophysics*, 144(3-4): 693-717.
- Sawai, Y. (2002) Evidence for 17th-century tsunamis generated on the Kuril–Kamchatka subduction zone, Lake Tokotan, Hokkaido, Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(8): 903-911.
- Scheffers, A. & Kelletat, D. (2003) Sedimentologic and geomorphologic tsunami imprints worldwide : a review. *Earth-Science Reviews*, 63(1-2): 83–92.
- Shi, S.; Dawson, A.G. & Smith, D.E. (1995) Coastal sedimentation associated with the December 12th, 1992 tsunami in Flores, Indonesia. *Pure and Applied Geophysics*, 144(3-4): 525-536.
- Shiki, T. (1996) Reading of trigger records of sedimentary events and their records: a problem for future studies. *Sedimentary Geology*, 104(1): 249–255.

- Shiki, T., Cita, M.B., Gorsline, D.S. (2000) Sedimentary features of seismites, seismo-turbidites and tsunamiites: an introduction. SedimentaryGeology 135(1):vii.
- Silgado, E. (1978a) Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). *Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica*, 3, 130 p.
- Silgado, E. (1978b) Recurrence of tsunamis in the western coast of South America. *Marine Geodesy*, 1(4): 347-354.
- Spiske, M.; Piepenbreier, J.; Bahlburg, H. & Benavente, C. (2010a) - A note on the onshore preservation potential of siliciclastic tsunami deposits: examples from coastal Peru. En: European Geosciences Union General Assembly 2010, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 12, p. 8927.
- Spiske, M.; Weiss, R.; Bahlburg, H.; Roskosch, J. & Amijaya, H. (2010b) - The TsuSedMod inversion model applied to the deposits of the 2004 Sumatra and 2006 Java tsunami and implications for estimating flow parameters of palaeotsunami. Sedimentary Geology, 224(1): 29-37.
- Spiske, M. & Bahlburg, H. (2011) A quasi-experimental setting of coarse clast transport by the 2010 Chile tsunami (Bucalemu, Central Chile). *Marine Geology*, 289(1-4): 72–85.
- Spiske, M.;Piepenbreier, J.; Benavente, C.; Kunz, A.;Bahlburg, H. & Steffahn, J. (2013) - Historical tsunami deposits in Peru: sedimentology, inverse modeling and optically stimulated luminescence dating. *Quaternary International*, 305: 31-44.
- Spiske, M., Piepenbreier, J., Benavente, C., Bahlburg, H. (2013) - Preservation potential of tsunami deposits on arid siliciclastic coasts. *Earth-Science Reviews*, 126: 58-73.
- Swafford, L. & Stein, S. (2007) Limitations of the short earthquake record for seismicity and seismic hazard studies. En: Stein, S. & Mazzotti, S., eds. Continental intraplate earthquakes: science, hazard, and policy issues. Boulder, Colorado: Geological Society of America, Special Paper 425, p. 49-58.
- Szczucinski, W. (2012) The post-depositional changes of the onshore 2004 tsunami deposits on the Andaman Sea coast of Thailand. *Natural Hazards*, 60(1): 115–133.
- Tappin, D.R. (2007) Sedimentary features of tsunami deposits: Their origin, recognition and discrimination: an introduction. Sedimentary Geology, 200(3-4): 151-154.

- Takashimizu, Y. & Masuda, F. (2000) Depositional facies and sedimentary successions of earthquake-induced tsunami deposits in Upper Pleistocene incised valley fills, central Japan.Sedimentary Geology, 135(1-4): 231-239.
- Thomsen, K.J.; Murray, A.S.; Jain, M. & Bøtter-Jensen, L. (2008) - Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts. *Radiation Measurements*, 43(9-10): 1474-1486.
- United States Geological Survey(2001) Preliminary analysis of sedimentary deposits from the June 23, 2001 Peru Tsunami (en línea). United States Geological Survey, Western Coastal and Marine Geology. (consulta: enero 2013). Disponible en:<http://walrus.wr.usgs.gov/peru2/ index.html>
- United States Geological Survey (2010)–Pager M 8.8 offshore Maule, Chile (en línea). USGS, Earthquake Hazards Program. (consulta: enero 2013). Disponible en: http:// earthquake.usgs.gov/earthquakes/pager/events/us/ 2010tfan/index.html>
- Vargas, R. (1971) Historia general del Perú. Tomo III: Virreinato 1596-1689. 3a. ed. Lima: Carlos Milla Batres, 443 p.
- Velásquez, O. (2002) Evaluación del tsunami del 23 de Junio del 2001: longitud de inundación y run-up. *Compendio de Trabajos de Investigación, InstitutoGeofísicodelPerú*, (3): 115–124.
- Wagner, G.A. (1998) Age determination of young rocks and artifacts: physical and chemical clocks in Quaternary geology and archaeology. Berlin: Springer, 466 p.
- Wallinga, J.; Bos, A.J.J.; Dorenbos, P.; Murray, A.S. & Schokker, J. (2007) - A test case for anomalous fading correction in IRSL dating. *Quaternary Geochronology*, 2(1-4): 216-221.
- Weiss, R. & Bahlburg, H. (2006) A note on the preservation of offshore tsunami deposits. Journal of Sedimentary Research, 76(12): 1267–1273.
- Wells, L.E. (1996) The Santa beach ridge complex: sea-level and progradational history of an open gravel coast in Central Peru. *Journal of Coastal Research*, 12(1): 1-17.
- Wiegel, R. (1970) Earthquake engineering.Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 518 p.
- Wintle, A.G. (1973) Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature*, 245(5421): 143-144.

- Witter, R.C.; Kelsey, H.M. & Hemphill-Haley, E. (2001) Pacific stoms, El Niño and tsunamis: Competing mechanisms for sand deposition in a coastal marsh, Euchre Creek, Oregon. Journal of Coastal Research, 17(3): 563-583.
- Yauri, S., Tavera, H., Moncca, G., Herrera, B. (2008) -Características generales del tsunami del 15 de Agosto de 2007. En: Tavera, H., ed. El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de Agosto de 2007 (7.9 Mw). Lima: Instituto Geofísico del Perú, p. 371-386.
- Young, R. & Bryant, E. (1992) Catastrophic wave erosion on the Southeastern coast of Australia, impact of the Lanai tsunami ca. 105 ka? *Geology*, 20(3): 199-202.
- Zapata, J. & Gutiérrez, A. (1995) Foraminíferos litorales recientes de Tocopilla (22°06'S, 70°13'W), Chile. *Estudios Oceanológicos*, (14): 49-59.

#### LISTA DE PÁGINAS WEB REVISADAS:

- DLR (2011) Earthquake in Japan.http://www.disasterscharter.org/ web/charter/activation\_details?p\_r\_p\_141 5474252\_assetId=ACT-359
- IPGP (2011) Institut de Physique du Globe de Paris. http://www.ipgp.fr

- NCDC (2009) Climate data archive. National Climatic Data Center, NOAA Satellite and Information Service.(http:// www.ncdc.noaa.gov (last accessed Jan. 2013)).
- NCDC (2011) Climate Data Archive. National Climatic Data Center. NOAA Satellite and Information Service.http:// www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html (last accessed Jan. 2013).
- NOAA (2009) Tsunami data. National Data Buoy Center, National Oceanic and Atmospheric Administration. (http:// www.ndbc.noaa.gov/dart.shtml (last accessed Jan. 2013).
- NOAA (2010) Tsunami data. National Data Buoy Center, National Oceanic and Atmospheric Administration. (http:// nctr.pmel.noaa.gov/chile20100227/fmaxamp.png (last accessed Jan. 2013).
- NOAA Center for Tsunami Research (2011) Japan (East Coast of Honshu) Tsunami, March 11, 2011 (en línea).(consulta: enero 2013). Disponible en: <a href="http://nctr.pmel.noaa.gov/honshu20110311/">http://nctr.pmel.noaa.gov/honshu20110311/></a>

## ANEXOS

ANEXO I: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ANEXO II: MICROPALEONTOLOGÍA

## ANEXO I

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
# GRADISTAT

# VERSION 4.0

A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer

### Developed by SimonBlott

Surface Processes and Modern Environments Research Group Department of Geology Royal Holloway University of London Egham Surrey TW20 0EX E-mail: s.blott@gl.rhul.ac.uk Tel/Fax: +44 (0)1784 414168

The development of this program was inspired by Dave Thornley and John Jack at the Postgraduate Research Institute for Sedimentology at the University of Reading, UK, and the Department of Geology at Royal Holloway University of London, UK. It is provided in Microsoft Excel format to allow both spreadsheet and graphical output. The program is best suited to analyse data obtained from sieve or laser granulometer analysis. The user is required to input the mass or percentage of sediment retained on sieves spaced at any intervals, or the percentage of sediment detected in each bin of a Laser Granulometer. The following sample statistics are then calculated using the Method of Moments in Microsoft Visual Basic programming language: mean, mode(s), sorting (standard deviation), skewness, kurtosis,  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}/D_{10}$ ,  $D_{90}/D_{10}$ ,  $D_{75}/D_{25}$  and  $D_{75}-D_{25}$ . Grain size parameters are calculated arithmetically and geometrically (in microns) and logarithmically (using the phi scale) (Krumbein and Pettijohn, 1938<sup>1</sup>; Table 1). Linear interpolation is also used to calculate statistical parameters by the Folk and Ward (1957)<sup>2</sup> graphical method and derive physical descriptions (such as «very coarse sand» and «moderately sorted»). The program also provides a physical description of the textural group which the sample belongs to and the sediment name (such as «fine gravelly coarse sand») after Folk (1954)<sup>3</sup>. Also included is a table giving the percentage of grains falling into each size fraction, modified from Udden (1914)<sup>4</sup> and Wentworth (1922)<sup>5</sup> (see Table 2). In terms of graphical output, the program provides graphs of the grain size distribution and cumulative distribution of the data in both metric and phi units, and displays the sample grain size on triangular diagrams. Samples may be analysed singularly, or up to 250 samples may be analysed together.

The program is ideal for the rapid analysis of sieve data and is freely available from the author at the above address. Please note that the copyright for the program is held by author, and any distribution or use of the program should be acknowledged to him.

## S. Blott October 2000

<sup>1</sup>Krumbein, W.C. and Pettijohn, F.J. (1938) Manual of Sedimentary Petrography. Appleton-Century-Crofts, New York.

<sup>2</sup>Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27**, 3-26.

<sup>3</sup>Folk, R.L. (1954) The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, **62**, 344-359.

<sup>4</sup>Udden, J.A. (1914) Mechanical composition of clastic sediments. Bulletin of the Geological Society of America, 25, 655-744.

<sup>5</sup>Wentworth, C.K. (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**, 377-392.

# INSTRUCTIONS ON THE USE OF THE GRADISTAT PROGRAM

# Single Sample Analysis

1. Switch to the «Single Sample Data Input» sheet if it is not already active. Enter the aperture sizes of the sieves or Laser Granulometer bins used in the analysis into the cells in column B. Sizes may be entered either in ascending or descending numerical order. For convenience, you can click on one of the standard sieve or Laser Granulometer size intervals and GRADISTAT will enter the size classes for you. Any non-standard sieve sizes can be used, although some of the statistics may not be calculated if you have not used sieves with at least whole phi intervals. See the section below if the sample contains unanalysed sediment, such as material retained in the pan after sieving. At least one size class larger than the largest particles in the sample should also be entered. A large area to the right of the data columns is provided for the cut and paste of data from other spreadsheets, such as the import of Laser Granulometer data.

2. Enter the weight or percentage of sample beside each size class in column C. When you have finished, make sure there are no data further down the spreadsheet which could cause an error. The program will accept data down to row 230.

3. Enter the sample identity, analyst, date and initial sample weight (optional) at the top of the «Single Sample Data Input» sheet.

4. Click the «Calculate Statistics» button and wait a few moments for the program to finish running. When the dialog box appears, click «OK».

5. The results are summarised on the «Single Sample Statistics» sheet, which includes a distribution histogram of the sample. Select «Print...» from the file menu to print the Summary Statistics page. The data is also shown on triangular diagrams on the «Gravel Sand Mud» and «Sand Silt Clay» sheets. Further cumulative and distribution plots are given on other sheets.

## **Multiple Sample Analysis**

1. Switch to the «Multiple Sample Data Input» sheet. Enter the aperture sizes of the sieves or Laser Granulometer bins used in the analysis into the cells in column B. The aperture sizes must be the same for all the samples. Sizes may be entered either in ascending or descending numerical order. For convenience, you can click on one of the standard sieve or Laser Granulometer size intervals and GRADISTAT will enter the size classes for you. Any non-standard sieve sizes can be used, although some of the statistics may not be calculated if you have not used sieves with at least whole phi intervals. See the section below if samples contain unanalysed sediment, such as material retained in the pan after sieving. At least one size class larger than the largest particles in the sample should also be entered.

2. Enter the weight or percentage of sample in column C onwards. Make sure there are no data further down the spreadsheet which could cause an error. The program will accept data down to row 230.

3. Enter the sample identity, analyst, date and initial sample weight (optional) in the green cells above each sample listing.

4. If you require a Summary Statistics printout for each sample, select a tick in the option box.

5. Click the «Calculate Statistics» button and wait for the program to finish running (this may take several minutes). GRADISTAT will give a warning if it detects a sample whose combined weight is greater than the given sample weight. Click «OK» when prompted on the dialog boxes.

6. The resulting statistics for all samples are summarised on the «Multiple Sample Statistics» sheet. The data for each sample included in the analysis are also shown on triangular diagrams on the «Gravel Sand Mud» and «Sand Silt Clay» sheets. Cumulative and distribution plots will show the results for the last sample in the analysis. If graphical plots for other samples are required, use separate single sample analyses (above).

## **Unanalysed Sediment**

Occasionally, samples may contain sediment in a size fraction of unspecified size, such as material retained in the pan after sieving. Ideally, the whole size range in a sample should be analysed, and this may require further analysis of sediment remaining in the pan after sieving. The larger the quantity of sediment remaining in the pan, the less accurate the calculation of grain size statistics, with statistics calculated by the Method of Moments being most susceptible. Errors in Folk and Ward parameters become significant only when more than 5% of the sample is undetermined. If the sample contains sediment in the pan the user should do one of the following:

1. Enter the weight or percentage of sample in the pan with a class size of zero (or leave the class size blank). GRADISTAT calculates the statistics assuming all sediment in the pan is larger than 10 f (1 mm). The grain size distribution graphs do not however plot the quantity of sediment in the pan.

2. Enter the weight or percentage of sample in the pan with a class size which the user considers to be the lower size limit of sediment in the pan. GRADISTAT calculates the statistics assuming all sediment in the pan is larger than this value and plots this quantity on the grain size distribution graphs.

The above two options are recommended where there is less than 1% of the sample remaining in the pan.

3. Do not enter the quantity of sediment in the pan at all. GRADISTAT calculates the statistics ignoring the sediment in the pan as if it were not present in the sample. This is recommended where there is more than 1% of the sample remaining in the pan.

Samples containing more than 5% of sediment in the pan should ideally be analysed using a different technique, such as sedimentation or laser granulometry. Great care must however be taken when merging data obtained by different methods.

## **Graph Scales**

The size scale used in graphical plots is dependent upon the range of sizes specified on the sample input sheets: the first and last values provide the extreme values on the graphs. While one size class larger than the largest particles in the sample should be entered, other size classes outside the grain size range of the sample have no influence on the statistical calculations. These classes may be deleted to narrow the size scale on graphs. Note that unused size classes within the size range of the sample should also be deleted, otherwise GRADISTAT assumes that zero sample weight was present in those size classes.

© Copyright SimonBlott (2000)

# **Table 1.** Statistical formulae used in the calculation of grain size parameters.

f is the frequency in percent; m is the mid-point of each class interval in metric  $(m_m)$  or phi  $(m_{\phi})$  units;  $P_x$  and  $\phi_x$  are grain diameters, in metric or phi units respectively, at the cumulative percentile value of x.

(a) Arithmetic Method of Moments

Mean	Standard Deviation	Skewness	Kurtosis
$\overline{x}_a = \frac{\Sigma fm_m}{100}$	$\sigma_a = \sqrt{\frac{\Sigma f \left(m_m - \overline{x}_a\right)^2}{100}}$	$Sk_a = \frac{\Sigma f (m_m - \overline{x}_a)^3}{100\sigma_a^3}$	$K_a = \frac{\Sigma f \left(m_m - \overline{x}_a\right)^4}{100\sigma_a^4}$

## (b) Geometric Method of Moments

Mean	Standard Dev	iation	Skewness	Kur	tosis
$\bar{x}_g = \exp \frac{\Sigma f \ln m_m}{100} \qquad \sigma_g$	$=\exp\sqrt{\frac{\Sigma f(\ln m)}{2}}$	$\frac{1}{100} \frac{1}{5} $	$\frac{\Sigma f (\ln m_m - \ln \overline{x}_g)}{100 \ln \sigma_g^3}$	$\frac{f^{3}}{2} \qquad K_{g} = \frac{\Sigma f (\ln n)}{10}$	$\frac{n_m - \ln \bar{x}_g)^4}{0 \ln \sigma_g^4}$
Sorting ( $\sigma_{\rm g}$	)	Skewness (	(Sk <sub>g</sub> )	Kurtosis	$(K_g)$
Very well sorted Well sorted Moderately well sorted Moderately sorted Poorly sorted Very poorly sorted Externally poorly sorted	< 1.27 1.27 ó 1.41 1.41 ó 1.62 1.62 ó 2.00 2.00 ó 4.00 4.00 ó 16.00	Very fine skewed Fine skewed Symmetrical Coarse skewed Very coarse skewed	< 1.30 1.30 6 0.43 0.43 6 0.43 0.43 6 0.43 0.43 6 1.30 > 1.30	Very platykurtic Platykurtic Mesokurtic Leptokurtic Very leptokurtic	< 1.70 1.70 ó 2.55 2.55 ó 3.70 3.70 ó 7.40 > 7.40

#### (c) Logarithmic Method of Moments

Mean	Standard Dev	iation S	kewness	Kurto	osis
$\overline{x}_{\phi} = \frac{\Sigma f m_{\phi}}{100}$	$\sigma_{\phi} = \sqrt{\frac{\Sigma f(m_{\phi})}{10}}$	$\frac{\overline{(\overline{x}_{\phi})^2}}{0} \qquad \qquad Sk_{\phi} =$	$\frac{\Sigma f (m_{\phi} - \overline{x}_{\phi})^3}{100 \sigma_{\phi}^3}$	$K_{\phi} = \frac{\Sigma f(m)}{10}$	$\left(\frac{\partial_{\phi}-\overline{x}_{\phi}}{\partial\sigma_{\phi}^{4}} ight)^{4}$
Sorting $(\sigma_{\phi})$	)	Skewness	$(Sk_{\phi})$	Kurtosis	$(K_{\phi})$
Very well sorted Well sorted Moderately well sorted Moderately sorted Poorly sorted Very poorly sorted Extremely poorly sorted	< 0.35 $0.35 \circ 0.50$ $0.50 \circ 0.70$ $0.70 \circ 1.00$ $1.00 \circ 2.00$ $2.00 \circ 4.00$ > 4.00	Very fine skewed Fine skewed Symmetrical Coarse skewed Very coarse skewed	> <sup>+</sup> 1.30 <sup>+</sup> 0.43 6 <sup>+</sup> 1.30 <sup>-</sup> 0.43 6 <sup>+</sup> 0.43 <sup>-</sup> 0.43 6 <sup>-</sup> 1.30 < <sup>-</sup> 1.30	Very platykurtic Platykurtic Mesokurtic Leptokurtic Very leptokurtic	< 1.70 1.70 ó 2.55 2.55 ó 3.70 3.70 ó 7.40 > 7.40

Mean	Standard Dev	riation S	kewness	Kurto	osis
$M_{Z} = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	$\sigma_{I} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + $	$\frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \qquad \qquad Sk_I = \frac{\phi_{95}}{6.6}$	$\frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})}$	$K_G = \frac{\phi_9}{2.44}$	$(\phi_{5} - \phi_{5}) = \phi_{75} - \phi_{25}$
		+	$\frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$		
Sorting $(\sigma_l)$	)	Skewness (	(Sk <sub>I</sub> )	Kurtosis	$(K_G)$
Very well sorted Well sorted Moderately well sorted Moderately sorted Poorly sorted Very poorly sorted	< 0.35 $0.35 \circ 0.50$ $0.50 \circ 0.70$ $0.70 \circ 1.00$ $1.00 \circ 2.00$ $2.00 \circ 4.00$	Very fine skewed Fine skewed Symmetrical Coarse skewed Very coarse skewed	<sup>+0.3</sup> to <sup>+1.0</sup> <sup>+0.1</sup> to <sup>+0.3</sup> <sup>+0.1</sup> to <sup>-0.1</sup> <sup>-0.1</sup> to <sup>-0.3</sup> <sup>-0.3</sup> to <sup>-1.0</sup>	Very platykurtic Platykurtic Mesokurtic Leptokurtic Very leptokurtic Extremely	< 0.67 $0.67 \circ 0.90$ $0.90 \circ 1.11$ $1.11 \circ 1.50$ $1.50 \circ 3.00$ > 3.00

(d) Logarithmic (Original) Folk and Ward (1957) Graphical Measures

(e) Geometric Folk and Ward (1957) Graphical Measures

Ν	lean		Stand	lard Deviation	
$M_G = \exp \frac{\ln P_1}{\ln P_1}$	$\frac{1}{6} + \ln P_{50} + \ln P_{84}}{3}$	4	$\sigma_G = \exp\left(\frac{\ln P_{10}}{\ln P_{10}}\right)$	$\frac{1}{4} - \ln P_{84}}{4} + \frac{\ln P_5 - \ln P_6}{6.6}$	$\frac{P_{95}}{j}$
Ske	ewness			Kurtosis	
$Sk_{G} = \frac{\ln P_{16} + \ln P_{84} - 2(\ln P_{84} - \ln P_{16})}{2(\ln P_{84} - \ln P_{16})}$	$\frac{P_{50}}{P_{50}} + \frac{\ln P_5 + \ln P_5}{2(\ln P_5)}$	$\frac{P_{95} - 2(\ln P_{50})}{P_{25} - \ln P_5}$	$K_G = \frac{1}{2}$	$\frac{\ln P_5 - \ln P_{95}}{.44 \left( \ln P_{25} - \ln P_{75} \right)}$	
Sorting $(\sigma_G)$		Skewness	$(Sk_G)$	Kurtosis	$(K_G)$
Very well sorted Well sorted Moderately well sorted Moderately sorted Poorly sorted Very poorly sorted Extremely poorly sorted	< 1.27 1.27 ó 1.41 1.41 ó 1.62 1.62 ó 2.00 2.00 ó 4.00 4.00 ó 16.00 > 16.00	Very fine skewed Fine skewed Symmetrical Coarse skewed Very coarse skewed	<sup>-0.3</sup> to <sup>-1.0</sup> <sup>-0.1</sup> to <sup>-0.3</sup> <sup>-0.1</sup> to <sup>+0.1</sup> <sup>+0.1</sup> to <sup>+0.3</sup> <sup>+0.3</sup> to <sup>+1.0</sup>	Very platykurtic Platykurtic Mesokurtic Leptokurtic Very leptokurtic Extremely leptokurtic	< 0.67 0.67 ó 0.90 0.90 ó 1.11 1.11 ó 1.50 1.50 ó 3.00 > 3.00

Gra	in Size	Descri	ptive term
phi	mm		
10	1024	Very Large	
-10	1024	Large	_
-9	512	Medium	−   } Boulder
-8	256	Small	- (
-7	128	Verv small	-
-6	64	Vory coorso	- )
-5	32		-
-4	16	Coarse	-
-3	8	Medium	- Gravel
-2	4	Fine	_
-1	2	Very fine	_ )
-1	2	Very coarse	
0	microns	Coarse	-
1	500	Medium	$\rightarrow$ Sand
2	250	Fine	- (
3	125	Verv fine	-
4	63	Very coarse	- {
5	31		-
6	16		-
7	8	Medium	$ \stackrel{\text{Silt}}{}$
8	4	Fine	_
9	2	Very fine	_ )
-	-	Clay	

**Table 2.**Size scale adopted in the GRADISTAT program, modified from Udden<br/>(1914) and Wentworth (1922).

			SAM	PLE STAT	ISTICS		
SAMPLE IDENT	TY: NPCA	1a		F	ANALYST &	DATE: Spisk	e, Peru 2007
SAMPLE TYP	PE: Bi- to ME: Very F	polymo Fine Gr	dal, Poorly S avelly Fine S	Sorted Ti and	EXTURAL G	ROUP: Grave	lly Sand
	um	φ			GRAIN S	ZE DISTRIBU	JTION
MODE 1:	231,0	2,11	9	G	RAVEL: 8,5	% COAF	RSE SAND: 6,8%
MODE 2:	132,5	2,91	8		SAND: 90,	8% MED	IUM SAND: 19,3%
MODE 3:	85,00	3,55	9		MUD: 0,6	% F	INE SAND: 35,3%
D <sub>10</sub> !	89,25	-0.8	12			VF	INE SAND: 24,3%
MEDIAN or D50:	213,9	2,22	5	V COARSE G	RAVEL: 0,0	% V COA	ARSE SILT: 0,6%
D <sub>90</sub> :	1755,5	3,48	6	COARSE G	RAVEL: 0,0	% COA	ARSE SILT: 0,0%
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> );	19,67	-4,29	94	MEDIUM G	RAVEL: 0,0	% ME	DIUM SILT: 0,0%
(Deo - Dio):	1666,2	4,29	8	FINE G	RAVEL: 2,0	%	FINE SILT: 0,0%
(D75 / D25)	3,165	2,24	4	V FINE G	RAVEL: 6,5	% V	FINE SILT: 0,0%
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> );	271,0	1,66	2	V COARSE	SAND: 5,1	%	CLAY: 0,0%
	To.	METH	OD OF MON	MENTS		FOLK & WAR	RD METHOD
	Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
i and the second	J F	im	μm	φ.	μm	ф	
MEAN (	x): 54	9,2	265,2	1,915	251,5	1,992	Medium Sand
SORTING	(σ): 89	7,3	2,869	1,520	2,790	1,480	Poorly Sorted
SKEWNESS (S	k): 2,	763	1,079	-1,079	0,347	-0,347	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (	K): 10	,18	3,450	3,450	1,263	1,263	Leptokurtic
ň.			GR	AIN SIZE D	ISTRIBU	TION	
				Particle Di	ameter (a)		
5,0	4.0	3	3,0 2.	0 1.0	0,0	-1,0	-2,0 -3,0



		SAN	IPLE STAT	ISTICS		
SAMPLE IDENTITY:	NPCA1b-I			NALYST & D	DATE: Spiske	e, Peru 2007
SAMPLE TYPE:	Polymodal, Pou	niv Sorteo	I III	EXTURAL GR	OUP: Gravell	v Sand
SEDIMENT NAME:	Very Fine Grave	elly Mediu	im Sand			·
	1005			CRAIN ST	7E DISTRIBU	TION
MODE 1: 3	μm Ψ 90.0 ± 364	-	- 0	BAVEL: 10.0	COAR	SE SAND: 25.4%
MODE 2: 2	65.0 1.918			BAND: 89.8	MEDI	JM SAND: 34.0%
MODE 3: 1	32.5 2.918			MUD: 0.29	6 FI	NE SAND: 13.1%
D <sub>10</sub> 1	39,4 0,996				V FI	NE SAND: 7.8%
MEDIAN or Dat: 4	57,6 1,128		V COARSE G	RAVEL: 0,0%	6 V COA	RSE SILT: 0,2%
D <sub>90</sub> : 19	994,4 2,843		COARSE G	RAVEL: 0,09	6 COA	RSE SILT: 0,0%
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ): 1	4,31 -2,855		MEDIUM G	RAVEL: 0,0%	6 MED	DIUM SILT: 0,0%
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ): 18	855,0 3,839		FINE G	RAVEL: 2,69	6 1	FINE SILT: 0,0%
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ). 2	,838 5,460		V FINE G	RAVEL: 7.4%	6 V I	FINE SILT: 0,0%
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ): 5	12,6 1,505		V COARSE	SAND: 9,5%	6	CLAY: 0,0%
16 E	METHO	D OF MO	MENTS	F	FOLK & WAR	D METHOD
1.	Arithmetic C	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μΜ	φ	μm	ψ	
MEAN $(\overline{x})$	804,3	492,1	1,023	494,8	1,015	Medium Sand
SORTING (o).	979,9	2,585	1,370	2,652	1,407	Poorly Sorted
SKEWNESS (5k):	2,521	0,333	-0,333	0,137	-0,137	Coarse Skewed
KURTOSIS (K):	9,140	3,028	3,028	1,384	1,384	Leptokurtic
·		GR	AIN SIZE D	ISTRIBUT	ION	
50	40 20		Particle Di	ameter (‡) n n	-10	.20
12,0 +	4,0 3,0	e	10	Uji	-155	2.0
10.0 -						
0,0 -						
%						
<b>5</b> 6,0 -						
4,0 -						
20						
2,0					٨	
			-	٦.		

Particle Diameter (um)

0,0 -

			SAN	IPLE STAT	ISTICS		
SAMPLE IDENT	TTY: NPCA	1b_u			ANALYST & D	ATE: Spiske,	Peru 2007
SAMPLE TY	PE: Polym	odal, Po	orly Sorted	і — — т	EXTURAL GR	OUP: Slightly	Gravelly Sand
SEDIMENT NA	ME: Slightl	y Very F	ine Gravell	y Medium Sar	d	, j	
	la su come c				ODAIN OF	ה ומוסדפוח של	ION .
MODE 1	335.0	1.580		G	RAVEL: 3.7%	COARS	E SAND: 23.0%
MODE 2	265.0	1.918			SAND 95.9	% MEDIU	M SAND: 44 7%
MODE 3:	150.0	2,740			MUD: 0.3%	FIN	E SAND: 16.3%
Disc	148,2	0,119				V EIN	E SAND: 6,8%
MEDIAN or D <sub>50</sub> :	385,3	1,378		V COARSE G	RAVEL: 0,0%	V COAR	SE SILT: 0,3%
D <sub>90</sub> :	920,7	2,755		COARSE G	RAVEL: 0,0%	6 COAR	SE SILT: 0,0%
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ):	6,213	23,10		MEDIUM G	RAVEL: 0,0%	6 MEDI	UM SILT: 0,0%
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ).	772,5	2,635		FINE G	RAVEL: 0,5%	δ F	INE SILT: 0,0%
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ):	2,191	2,370		V FINE G	RAVEL: 3,39	% VF	INE SILT: 0.0%
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ):	306,7	1,132		V COARSE	SAND: 5,1%	0	CLAY: 0,0%
	101113	METHO	D OF MO	MENTS	F	OLK & WARD	METHOD
	Anth	metic (	Geometric	Loganthmic	Geometric	Loganthmic	Description
		m	μm	φ	 μm	φ-	
MEAN	$(\bar{x})$ 53	9,0	389,8	1,359	386,4	1,372	Medium Sand
SORTING	ξ (α). 59	0,0	2,128	1,088	2,035	1,025	Poorly Sorted
SKEWNESS	(Sk.): 3,7	720	0,329	-0,329	0,023	-0,023	Symmetrical
KURTOSIS	(8')1 19	35	4.061	4.061	1 422	1 422	Lentokurtiz
	()	,00	GR	AIN SIZE D	DISTRIBUT ameter (#)	ION	
5,0 14,0			<u>GR</u> 2	AIN SIZE D Particle Di 0 1.0	DISTRIBUT ameter (‡) 0,0	<u>ION</u> -1,0	-2,0.1 -3,0
5,0 14,0 12,0 -	-4,0	3,0	<u>GR</u> 2	AIN SIZE D Particle Di ,0 1,0	ISTRIBUT ameter (#) 0,0	-1,0	-2,0 -3,0
5,0 14,0 12,0 10,0 -		3,0	<u>GR</u> 2	AIN SIZE D Particle Di ,0 1,0	ISTRIBUT armeter (#) 0,0	<u>'ION</u> -0,0	-2,0 -3,0
14,0 12,0 10,0 8,0 %	4,0	3,0	<u>GR</u> 2	AIN SIZE D Particle Di ,0 1,0	ISTRIBUT anneter (#) 0,0	<u>10N</u> -4,0	-2,0 -3,0
14,0 12,0 - 10,0 - 8,0 - 8,0 - 5 6,0 -	-4,0	3,0	<u>GR</u> 2	AIN SIZE D Particle Di 0 1,0	ISTRIBUT ameter (‡) 0,0	-1,0	-2,03,0
5,0 14,0 12,0 - 10,0 - 8,0 - \$ 5 6,0 - 4,0 -	4,0	3,0	<u>GR</u> 2	AIN SIZE D Particle Di 0 1,0	ISTRIBUT ameter (#) 0,0	-6,0	-2,03,0
14,0 12,0 10,0 8,0	4,0	3,0	<u>GR</u> 2	AIN SIZE D Particle Di 0 1,0	Ameter (#)	-1,0	-2,03,0
5,0 14,0 12,0 - 10,0 - 8,0 - 8,0 - 8,0 - 2,0 - 0,0	4,0	3,0	<u>GR</u> 2	AIN SIZE D		-1,0	-2,0 -3,0

			SAM	PLE STAT	ISTICS			
SAMPLE IDENTIT	ry: NPCA	10		P	NALYST&	DATE: Spiske,	Peru 2007	
SAMPLE TYP SEDIMENT NAM	E: Banoc E: Slight	ial, Poo ly Very	rly Sorted Fine Gravell	Ti Fine Sand	EXTURAL GI	ROUP: Slightly	Gravelly Sand	
	្រក	ب			GRAIN S	DE DISTRIBUT	ION -	
MODE 1:	231,0	2,119	9	G	RAVEL: 2,7	% COARS	E SAND: 18,8%	
MODE 2:	335,0	1,580	]		SAND: 96,	8% MEDIU	M SAND: 28,4%	
MODE 3:	132,5	2,911	5		MUD: 0,5	% FIN	NE SAND: 29,0%	
D <sub>10</sub> :	110,0	-0,00	8			V FIN	IE SAND: 13,3%	
MEDIAN or D <sub>50</sub> :	295,9	1,757	te	V COARSE G	RAVEL: 0,0	% V COAF	RSE SILT: 0,4%	
D <sub>90</sub> :	1005,9	3,18	1	COARSE G	RAVEL: 0,0	% COAF	RSE SILT: 0,0%	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ):	9,144	-377,8	39	MEDIUM G	RAVEL: 0,0	% MED	IUM SILT: 0,0%	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ):	895,9	3,193	3	FINE G	RAVEL: 0,0	% F	INE SILT: 0,0%	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ):	3,378	3,084	1	V FINE G	RAVEL: 2,7	% V F	INE SILT: 0,0%	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ):	392,6	1,75	3	V COARSE	SAND: 7,4	10	CLAY: 0,0%	
	10.000	METH	OD OF MON	/ENTS		FOLK & WAR	DMETHOD	
	Anth	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description	
		im –	µm :	ψ	i - pro-	$\psi$		
MEAN (	$\overline{x}$ ): 47	1,1	318,7	1,650	310,0	1,690	Medium Sand	-
SORTING (	o): 50	14,3	2,334	1,223	2,374	1,247	Poorly Sorted	
SKEWNESS (S	k): 2,	738	0,376	-0,376	0,114	-0,114	Coarse Skewed	
KURTOSIS (I	v):1 – 11	,98	2,749	2,749	0,945	0,945	Mesokurtic	















0,0 1

100

				SAM	PLE STAT	ISTICS		
SAMPLE	DENTI	TY: SVV :	3b_l		P	NALYST & D	ATE: Spis	ke, 2008
SAMP	LE TY	PE: Polyn	- rodal, P	oorly Sorted	n n	EXTURAL GRO	OUP: Grav	el
SEDIMEN	IT NAM	AE: Mediu	m Grav	el i				
1.1-0	= - i	Im	10			GRAIN SIZ	E DISTRIB	UTION
MO	DE 1:	15000,0	-3,90	4	G	RAVEL: 88,0'	% COA	RSE SAND: 2,3%
MO	DE 2:	20700,0	-4,36	7		SAND: 12,04	% MEI	DIUM SAND: 2,7%
MO	DE 3:	11850,0	-3,56	5		MUD: 0,0%	$\tau = 4$	FINE SAND: 1,0%
1.1.1.1	D <sub>10</sub> :	1659,3	-4,35	4			V	FINE SAND: 0,1%
MEDIAN o	or D <sub>50</sub> :	11307,9	-3,49	9	V COARSE G	RAVEL: 0,0%	V CC	ARSE SILT: 0,0%
(-)	D <sub>90</sub> :	20446,0	-0,73	1	COARSE G	RAVEL: 18,09	% CC	ARSE SILT: 0,0%
(D <sub>90</sub> /	D <sub>10</sub> ):	12,32	0,16	0	MEDIUM G	RAVEL: 46,1	% MI	EDIUM SILT: 0,0%
(D <sub>90</sub> -	- D <sub>10</sub> ):	18786,8	3,62	3	FINE G	RAVEL: 14,09	%	FINE SILT: 0,0%
(D <sub>75</sub> /	D <sub>25</sub> ):	3,149	0,58	0	V FINE G	RAVEL: 9,8%	1	/ FINE SILT: 0,0%
(D <sub>75</sub> -	- D <sub>25</sub> ).	10464,5	1,65	5	V COARSE	SAND: 5,8%		CLAY: 0,0%
		1611	METH	OD OF MON	/ENTS	F	OLK & W/	RD METHOD
		Arith	metic	Geometric	Logarithmic	Geometric 1	oganithmic	Description
			m	µm	ψ	τ	ψ	
M	IEAN	$(\overline{x})$ : 108	97,4	7629,8	-2,932	8367,9	-3,065	Medium Gravel
SOF	RTING	(o): 65	94,3	2,695	1,534	2,722	1,445	Poorly Sorted
SKEWN	ESS (8	ik): -0,	012	-1,518	1,518	-0,538	0,638	Very Fine Skewed
KURT	OSIS (	$K$ ): $\mathbb{T}_{k}$	828	4,924	4,924	1,195	1,195	Leptokurtic
•								
				<u>GR</u>	AIN SIZE D	ISTRIBUT	ION	
1.1	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0 0,0	amotor (ej -1,U	-2,0	-3,0 -4,0 -5,0
		<u> </u>	I	1		I		
20,0	1							
15,0	-							
%								
<b>.</b> .								
×								
10.0								
10,0								
5,0	1							
	1				_			

-000

Particle Diameter (um)

COARSE GR COARSE GR COARSE GR MEDIUM GR FINE GR V FINE GR V COARSE	NALYST & E EXTURAL GR GRAIN SI RAVEL: 76.3 SAND: 23,7 MUD: 0,09 RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	DATE: Spiske, ROUP: Sandy C 2E DISTRIBUT 3% COARS 7% MEDIUI % FIN % V FIN % V COAR 3% COAR 3% COAR 3% FI 3% V FI	Peru 2008 Gravel ION E SAND: 4,7% M SAND: 2,7% IE SAND: 0,1% IE SAND: 0,1% IE SAND: 0,1% IE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
COARSE GR COARSE GR COARSE GR MEDIUM GR FINE GR V FINE GR V COARSE	GRAIN SI GRAIN SI RAVEL: 76,3 SAND: 23,7 MUD: 0,09 RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	ROUP: Sendy ( 2E DISTRIBUT 3% COARS 7% MEDIU % FIN V FIN % V COAR 3% COAR 3% COAR 3% FI 3% V FI	Snavel ION E SAND: 4,7% M SAND: 2,7% E SAND: 0,8% E SAND: 0,1% RSE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
GF COARSE GF COARSE GF MEDIUM GF FINE GF V FINE GF V COARSE	GRAIN SI RAVEL: 76,3 BAND: 23,7 MUD: 0,09 RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	Distribut           3%         Coars           3%         Mediui           %         Fin           V Fin         V Fin           %         V Coars           3%         Coars           3%         Coars           3%         Coars           3%         Coars           3%         Coars           3%         Fill           3%         V Fill           3%         V Fill           3%         V Fill	ION E SAND: 4,7% M SAND: 2,7% E SAND: 0,8% E SAND: 0,1% RSE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
GR COARSE GR COARSE GR MEDIUM GR FINE GR V FINE GR V COARSE	RAVEL: 76,3 BAND: 23,7 MUD: 0,09 RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	3%         COARS           7%         MEDIU           %         FIN           V         FIN           %         V FIN           %         V COAR           3%         COAR           3%         COAR           3%         COAR           3%         COAR           3%         COAR           3%         V FIN	E SAND: 4,7% M SAND: 2,7% E SAND: 0,8% E SAND: 0,1% SE SILT: 0,0% IVM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
OARSE GR OARSE GR MEDIUM GR FINE GR V FINE GR V COARSE	SAND: 23,7 MUD: 0,09 RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	7%         MEDIUI           %         FIN           V FIN         V FIN           %         V COAR           3%         COAR           0%         MEDI           1%         FI           3%         COAR           1%         FI           3%         V	M SAND: 2,7% IE SAND: 0,8% IE SAND: 0,1% RSE SILT: 0,0% RSE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
OARSE GR OARSE GR MEDIUM GR FINE GR V FINE GR V COARSE	MUD: 0,09 RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	% FIN V FIN % V COAR 3% COAR 3% MEDI 4% FI 3% V FI	IE SAND: 0,8% IE SAND: 0,1% ISE SILT: 0,0% ISE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
OARSE GR OARSE GR MEDIUM GR FINE GR V FINE GR V COARSE	RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	V FIN V COAR 3% COAR 3% MEDI 1% FI 3% V FI	IE SAND: 0,1% RSE SILT: 0,0% RSE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
COARSE GR COARSE GR MEDIUM GR FINE GR V FINE GR V COARSE	RAVEL: 0,09 RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	W         V COAR           3%         COAR           0%         MEDI           1%         FI           3%         V FI	RSE SILT: 0,0% RSE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
OARSE GF MEDIUM GF FINE GF V FINE GF V COARSE	RAVEL: 29,3 RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	3% COAR 0% MEDI 4% Fi 3% V Fi	RSE SILT: 0,0% IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
Medium GF Fine GF V Fine GF V Coarse	RAVEL: 10,0 RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	0% MEDI 4% Fi 3% VFi	IUM SILT: 0,0% INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
FINE GR V FINE GR V COARSE	RAVEL: 12,4 RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	4% FI 3% V FI	INE SILT: 0,0% INE SILT: 0,0%
V FINE GR	RAVEL: 24,6 SAND: 15,4	3% V FI	INE \$1LT: 0,0%
V COARSE	SAND: 15,4		
		1%	CLAY: 0,0%
NTS		FOLK & WARE	METHOD
ogarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
·		φ	
-2,258	5000,0	-2,322	Fine Gravel
1,688	3,187	1,672	Poorly Sorted
0,349	0,066	-0,066	Symmetrical
2,375	0,673	0,673	Platykurtic
	+ -2,258 1,688 0,349 2,375	ψ.         μm.           -2,258         5000,0           1,688         3,187           0,349         0,066           2,375         0,673	





# **ANEXO II** MICROPALEONTOLOGÍA

		INFO	RME PALEC	DNTOLOGICO			
Ficha Nº:				Referencia:		014/[	GA/A18
Muestra	BR-I-01B	Colector		C. Benavente		Fecha de envio	04/06/200
			Datos Ger	nerales			
Proyecto:	GA-18						
Cuadrángulo		TACNA		Hoja		37-	V
Ubicación Políti	ca						
Sitio:	BOCA DE RIC	)		-			
Distrito			Provincia	a		Departamento	TACNA
Libicación Geor	rafica (Coorde	MTIL adapt			-		_
Norte	323148	Este	7991496	6 Datum		Zona	19
		1	Tipo de E	studio	-		
Macrofósiles				Microfósiles			
Pelecipodos	□ Amonites		jas 🗆	Foramimiferos		Ostrácodos	
Gasterópodos	Trilobites	D Plan	tas 🗆	Radiolarios		Carofitas	
Braquiópodos	Corales	U Vertebrad	los 🗆	Diatomeas			
Equinoideos	□ Otros	<u> </u>		Otros			
Newshare energy	C	Ider	ntificación	laxonómica			
Nombre especin	Homiovoris en	Sare 1003					
2	nemicypris sp	. Sais 1903					
3							
4							
	Unidad Bioes	tratigráfica			Geo	ocronología	
Zona:				Edad:			
			Facie	es			
		Litofacies				Biofa	cies
Silicicla	ástica	Carbo	natos	Otros		Nombre:	
Tipo:	Arena	Tipo:	Delegand	hianta			
			Paleoam	biente		Créfico	
						Granco	
				2			
Observación:		Estuario					
		Un	idad Litoes	tratigráfica			
		Antonio Marina			1.00		
Observación:		Estuario Un	idad Litoes	tratigráfica			

Ficha Nº:				Referencia:	0	14/DGA/A18
Muestra	BR-I-02B	Colector		C. Benavente	Fecha de envic	04/06/200
		I	Datos Ger	nerales		
Proyecto:	GA-18			Ter a		
Cuadrángulo		TACNA		Hoja	37	7-V
Ubicación Poli	tica					-
Sitio:	BOCA DE RIC	)				
Distrito			Provincia	a	Departamento	TACNA
Ubicación Geo	ografica (Coorde	enadas UTM)			- /	
Norte	323148	Este	7991496	Datum	Zona	19
and the second			Tipo de E	studio		
Macrofósiles				Microfósiles		
Pelecipodos	Amonites	a 🗆 🛛 🖓		Foramimiferos	Ostrácodos	
Gasterópodos	Trilobites	Plantas		Radiolarios	Carofitas	
Braquiópodos	Corales	UVertebrados		Diatomeas		
Equinoideos	Otros			Otros		
		Identi	ificación 1	Taxonómica		
Nombre espec	cífico:					
	1 Moluscos ind.	(fragmentos)				
1	2					
	3					
	4					
-	Unidad Bioes	tratigráfica			Geocronología	
Zona:				Edad:		
			Facie	es		
		Litofacies			Biof	acies
Silici	clástica	Carbona	itos	Otros	Nombre:	
Tipo:	Arena	Tipo:	Delesarel	blanta		
			Paleoam	biente	Outfloor	
			i.		Grafico	
Observesión		Litoral				
Observacion.		Unid	ad Litoes	tratigráfica		
		c.ind				
Nombre:		arrazas Marinas				

Ing. María del Carmen Morales R. Laboratorio de Paleontelogie INGEMMET



Brección E de Laboratorios 1818/07 ١ NGEMME

				Referencia:		01	14/DGA/A18
Muestra	BR-I-03B	Colector		C. Benavente		Fecha de envio	04/06/20
			Datos Ge	enerales			
Proyecto:	GA-18						
Cuadrángulo		TACNA		Hoja	_	37	7-V
Ubicación Pol	ítica						
Sitio:	BOCA DE RI	0					and a second
Distrito		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Provinci	a		Departamento	TACNA
Ubicación Co	arafian (Coord				_		
Vorte	Janica (Coord		700140	6 Dotum		7000	1 10
None	32314	ofeste	Tipe de	5 Datum		Zona	19
Magrafágilag			Tipo de l	Mierofésiles			
Deleginedes	- Amonito			Foromimiforoa		Ostrásodas	-
Castaránadas				Poraminieros	-	Carafitas	
Gasteropodos		s 🗆 Planta		Radioiarios	-	Caronitas	
Braquiopodos		s u vertebrado	os 🗆	Diatomeas	H		
Equinoideos		Iden	tificación	Taxonómica			
Nombre espe	cífico:	luci	anouoion	Tuxonomou	_		
	1 Moluscos ind	(fragmentos)					
	2 Pelecipodos i	ind.					
	3						
	4						
	Unidad Bioes	stratigráfica			G	eocronología	
					-		
Zona:				Edad:		gin	
Zona:			Fac	Edad: ies			
Zona:		Litofacies	Fac	Edad: ies		Biof	acies
Zona: Silici	clástica	Litofacies	Fac	Edad: ies Otros		Biof Nombre:	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac	Edad: ies Otros		Biof Nombre:	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros nbiente		Biof Nombre:	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros nbiente		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros nbiente		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros nbiente		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo: Observación	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo:	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo: Observación	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo: 	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros nbiente stratigráfica		Biof Nombre: Gráfico	acies
Zona: Silici Tipo: Observación Nombre:	clástica Arena	Litofacies Carbon Tipo: 	Fac atos Paleoan	Edad: ies Otros nbiente		Biof Nombre: Gráfico	acies

			Referencia:		014/D	GA/A18	
PMOTO-06B	Colector		C. Benavente		Fecha de envio	04/06/2007	
		Datos Ger	nerales				
GA-18				_			
	Mollendo		Hoja		34-1	R	
ca				-			
Motobomba							
		Provincia	a		Departamento	AREQUIPA	
rafica (Coorde	nadas UTM)			-			
192079	Este	8105204	Datum	~	Zona	18	
		Tipo de E	studio	-			
			Microfósiles				
Amonites	Alg:	as 🗆	Foramimiferos		Ostrácodos		
□ Trilobites	D Planta	as 🗆	Radiolarios		Carofitas		
□ Corales	U Vertebrade		Diatomeas		- aronido		
□ Otros			Otros				
	Ider	tificación '	Taxonómica				
ico:				-			
Pelecipodo inc							
electipe de lite							
				-			
Inidad Bioes	tratigráfica			Ge	ocronología		
onidad bioes	laugranca		Edad	00	ocronologia		
		Faci	ILUAU.				
	Litofacios	Tach	63	-	Piofa	line	
Setion	Carbon	ataa	Otras	-	Diolat	lies	
Arena	Carbor	latos	Otros		Nombre:		
Alena	TIPO.	Palaoam	hiente	-			
		Faleoalli	biente	_	Cráfico		
	[	-			Granco		
-		-					
		_					
	[						
	[						
	Litoral						
	Un	idad Litoes	stratigráfica				
		000000000000000000000000000000000000000					
	Amonites Amonites Amonites Amonites Corales Corales Corales Jnidad Bioest Arena	Amonites Alga Amonites Alga Amonites Alga Trilobites Planta Corales Vertebrada Otros Ider Ider Ico: Pelecipodo ind. Jnidad Bioestratigráfica Litofacies astica Carbor Arena Tipo:	Image: Second secon	Moliono-oos     Collector     C. benavente       Datos Generales       3A-18       Mollendo     Hoja       a     Mollendo       Motobomba       Provincia       rafica (Coordenadas UTM)       192079 Este     8105204 Datum       Tipo de Estudio       Microfósiles       Amonites     Algas       Foramimiferos       Radiolarios       Diatomeas       Otros       Corales       Vertebrados       Diatomeas       Otros       Identificación Taxonómica       ico:       Pelecipodo ind.         Joidad Bioestratigráfica         Edad:         Facies         Litofacies         istica       Carbonatos         Otros         Paleoambiente	Mol 0-06B     Colector     C. behavente       Datos Generales       3A-18       Mollendo     Hoja       2a     Mollendo     Hoja       2a     Provincia       Motobomba     Provincia       Image: Provincia <td cols<="" td=""><td>Molendo     Loector     C. benavente     Fecha de enviol       Datos Generales       GA-18       Mollendo     Hoja     34-       a     Mollendo     Hoja     34-       a     Provincia     Departamento       rafica (Coordenadas UTM)     192079[Este     8105204 [Datum]     Zona       192079[Este     8105204 [Datum]     Zona     Tipo de Estudio       Microfósiles       Amonites     Algas     Foramimiferos     Ostrácodos       Trilobites     Plantas     Radiolarios     Carofitas       Otros     Otros     Diatomeas     Otros       Otros     Identificación Taxonómica     Edad:     Facies       Inidad Bioestratigráfica     Geocronología     Edad:       Paleoambiente       Inidad Bioestratigráfica     Otros     Nombre:       Paleoambiente     Gráfico     Inidade</td></td>	<td>Molendo     Loector     C. benavente     Fecha de enviol       Datos Generales       GA-18       Mollendo     Hoja     34-       a     Mollendo     Hoja     34-       a     Provincia     Departamento       rafica (Coordenadas UTM)     192079[Este     8105204 [Datum]     Zona       192079[Este     8105204 [Datum]     Zona     Tipo de Estudio       Microfósiles       Amonites     Algas     Foramimiferos     Ostrácodos       Trilobites     Plantas     Radiolarios     Carofitas       Otros     Otros     Diatomeas     Otros       Otros     Identificación Taxonómica     Edad:     Facies       Inidad Bioestratigráfica     Geocronología     Edad:       Paleoambiente       Inidad Bioestratigráfica     Otros     Nombre:       Paleoambiente     Gráfico     Inidade</td>	Molendo     Loector     C. benavente     Fecha de enviol       Datos Generales       GA-18       Mollendo     Hoja     34-       a     Mollendo     Hoja     34-       a     Provincia     Departamento       rafica (Coordenadas UTM)     192079[Este     8105204 [Datum]     Zona       192079[Este     8105204 [Datum]     Zona     Tipo de Estudio       Microfósiles       Amonites     Algas     Foramimiferos     Ostrácodos       Trilobites     Plantas     Radiolarios     Carofitas       Otros     Otros     Diatomeas     Otros       Otros     Identificación Taxonómica     Edad:     Facies       Inidad Bioestratigráfica     Geocronología     Edad:       Paleoambiente       Inidad Bioestratigráfica     Otros     Nombre:       Paleoambiente     Gráfico     Inidade

		Referencia:	014/DGA/A1	8
VV-I-01B	Colector	C. Benavente	Fecha de envio 04/06	200
	Da	tos Generales		
GA-18				
	La Yarada	Hoja	37-U	_
са				_
Vila Vila				
	P	Provincia	Departamento TACI	A
arafica (Coorde	enadas UTM)			-
317327	Este 7	997084 Datum	Zona 19	
	Tij	po de Estudio		
		Microfósiles		
Amonites	Algas I	Foramimiferos	Ostrácodos 🗆	
	Plantas I	Radiolarios	Carofitas	
		Diatomeas		
Ouros			<u> </u>	_
fico:	laonana			-
Moluscos ind.	(fragmentos)			-
Equinoideos in	nd. (espinas)			_
Unidad Bioes	stratigráfica	In the second second	Geocronología	_
		Edad:		
	Litofacies	Facies	Biofacios	-
ástica	Carbonato	s Otros	Diolacies	
Arena	Tipo:		Nombre:	
	Pa	aleoambiente		
			Gráfico	
_	_			
	🗆			
_	_			
				_
-	Litoral	Liteestrationéfice		
_	Litoral Unidad	Litoestratigráfica		_
	VV-I-01B GA-18 Ca Vila Vila Grafica (Coorde 317327 C Amonites Corales Corales Corales Otros fico: Moluscos ind. Equinoideos in Unidad Bioes ástica Arena	VV-I-01B Colector Da GA-18 La Yarada ca Vila Vila ca Vila Vila Ca Vila Vila Ca Ca Vila Vila Ca Coordenadas UTM) 317327 Este 7 Tij Amonites Algas Plantas Plantas Corales Vertebrados Plantas Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales Vertebrados Corales	VV-I-01B         Colector         C. Benavente           Datos Generales         GA-18	VVI-I-01B     Colector     C. Benavente     Fecha de envio     04/06/ 04/06/       Datos Generales       GA-18     Hoja     37-U       ca     Vila Vila     0     0       Coordenadas UTM)       317327     Este     7997084     Departamento     TACN       grafica (Coordenadas UTM)     317327     Este     7997084     Datum     Zona     19       Tipo de Estudio       Microfósiles       Amonites     Algas     Foramimiferos     Ostrácodos     0       Corales     Plantas     Radiolarios     Carofitas     0       Otros     Otros       Otros     Otros       Otros       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Edad:       Facies       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Edad:       Facies       Biofacies       Arena       Tipo:       Otros       Biofacies       Arena       Paleoambiente

			Referencia:		014/DG	GA/A18
VV-I-03B	Colector		C. Benavente	Fech	a de envio	04/06/200
		Datos Ge	nerales			
GA-18						
	La Yarada		Hoja		37-U	)
са						-
Vila Vila						
		Provinci	a	Dep	bartamen	TACNA
grafica (Coorde	enadas UTM)					
317327	Este	799708	4 Datum	Zona		19
		Tipo de l	Estudio			
			Microfósiles			
□ Amonites	a 🗆 🛛 Alg	as 🗆	Foramimiferos	□ Ostrá	acodos [	
Trilobites	D Plant	as 🗆	Radiolarios	Caro	fitas [	
Corales	Vertebrad	os 🗆	Diatomeas			
Otros	<u> </u>		Otros			
	Ide	ntificación	Taxonómica			
lico:						
Moluscos ind.	(fragmentos)	_				
Unided Diese	1	_		-		
Unidad Bloes	tratigrafica			Geocro	nologia	
			Edad:			
	1.1. 6	Faci	es			
4 - 4 <sup>1</sup>	Litofacies				Biofaci	es
Arono	Carbo	natos	Otros	N	ombre:	
Arena		Dalagam	bionto			
		Faleball	ibiente	Crá	line	
				Gra	lico	
_						
	litoral					
	Litoral	idad Litoe	stratigráfica			
	Litoral Un	idad Litoe	stratigráfica			_
	GA-18 Ca Vila Vila Grafica (Coorde 317327 CAMONITES COrales Co	GA-18 La Yarada Ca Vila Vila Unidad Bioestratigráfica Litofacies Sastica Carbo Arena Tipo:	Datos Ge GA-18 La Yarada Ca Vila Vila Provinci Tipo de I Amonites Algas Tipo de I Amonites Algas Tipo de I Amonites Plantas Ca Corales Vertebrados Carbonatos Arena Tipo: Paleoam Paleoam Carbonatos	Datos Generales         GA-18         La Yarada       Hoja         ca         Vila Vila       Provincia         grafica (Coordenadas UTM)       317327 Este       7997084 Datum         317327 Este       7997084 Datum       Image: Coordenadas UTM)         317327 Este       17907084 Datum       Image: Coordenadas UTM)         317327 Este       17907084 Datum       Image: Coordenadas UTM)         317327 Este       17997084 Datum       Image: Coordenadas UTM)         317327 Este       17907084 Datum       Image: Coordenadas UTM)         317327 Este       Algas       Foraminiferos         Image: Corales       Plantas       Radiolarios         Image: Otros       Otros       Otros         Identificación Taxonómica       Edad:         Facies       Litofacies       Arena         Litofacies       Carbonatos       Otros         Arena       Tipo:       Paleoambiente         Image: Otros       Image: Otros	Datos Generales         GA-18         La Yarada       Hoja         Ca       Provincia       Dep         Vila Vila       Provincia       Dep         rafica (Coordenadas UTM)       Zona         317327       Este       7997084       Datum       Zona         Tipo de Estudio       Microfósiles       Ostrá         Amonites       Algas       Foramimíferos       Ostrá         Amonites       Algas       Foramimíferos       Ostrá         Corales       Vertebrados       Diatomeas       Caro         Otros       Otros       Otros       Otros       N         Identificación Taxonómica       Facies         Litofacies       N       Paleoambiente       Radio         Óstica       Carbonatos       Otros       N         Paleoambiente       Grát	Datos Generales         GA-18       La Yarada       Hoja       37-U         ca       Provincia       Departamen       Intervention         vila Vila       Provincia       Departamen       Intervention         rafica (Coordenadas UTM)       317327       Este       7997084       Datum       Zona       Intervention         attraction       Microfósiles       Intervention       Microfósiles       Intervention       Intervention       Intervention         attraction       Algas       Foramimiferos       Ostrácodos       Intervention       Intervention       Intervention         Corales       Vertebrados       Diatomeas       Intervention       Intervention       Intervention         Corales       Vertebrados       Diatomeas       Intervention       Intervention       Intervention         Identificación Taxonómica       Intervention       Intervention       Intervention       Intervention         Index Bioestratigráfica       Geocronología       Edad:       Edad:       Intervention       Intervention         Unidad Bioestratigráfica       Carbonatos       Otros       Nombre:       Nombre:       Paleoambiente         Intervention       Intervention       Intervention       Intervention

				Referencia:		014/DC	GA/A18
Muestra	VV-I-03B	Colector		C. Benavente		Fecha de envio	04/06/200
	0.1.10		Datos Ger	nerales			
Proyecto:	GA-18	1. 1.		1			
Cuadrangulo		La Yarada		Hoja		37-L	)
Ubicación Políti	са						
Sitio:	Vila Vila				_		
Distrito			Provincia	a	_	Departamen	TACNA
Ubicación Geog	rafica (Coord	enadas UTM)			-		-
Norte	31732	7 Este	7997084	Datum		Zona	19
			Tipo de E	studio			
Macrofósiles		Sector Contraction	1.2.1	Microfósiles			
Pelecipodos	□ Amonite	s 🗆 🛛 Alga	as 🗆	Foramimiferos		Ostrácodos I	
Gasterópodos	Trilobite	s 🗆 Planta	as 🗆	Radiolarios		Carofitas I	
Braquiópodos	□ Corale	s 🗆 Vertebrado	os 🗆	Diatomeas			
Equinoideos	□ Otros			Otros			
		Iden	tificación T	l'axonómica	_		
Nombre especif	ico:						
1	Moluscos ind	. (fragmentos)			_		
2							
3							
4							
	<b>Unidad Bioes</b>	stratigráfica			Ge	ocronología	
Zona:				Edad:			
			Facie	s			_
		Litofacies				Biofac	ies
Silicicla	ástica	Carbon	atos	Otros		Nombro	
Tipo:	Arena	Tipo:	andian		_	Nombre.	
			Paleoam	biente	_	O-fflag	
		E	-			Grafico	
		-	-				
			_				
		C					
		C					
Observación:		Litoral	-				
Observación:		Litoral Uni	dad Litoes	tratigráfica			
Observación: Nombre:		Litoral Uni	dad Litoes	tratigráfica			

				Referencia:		014/D	GA/A18
Muestra	VV-I-04B	Colector		C. Benavente	Fec	ha de envio	04/06/2007
			Datos Ge	nerales			
Proyecto:	GA-18			1			
Cuadrángulo		La Yarada		Hoja	_	37-1	U
Ubicación Polí	tica		-				
Sitio:	Vila Vila		10-10-				1.
Distrito			Provincia	a	De	partamento	TACNA
Ubicación Geo	grafica (Coord	denadas UTM)	-				
Norte	31732	27 Este	7997084	1 Datum	Zon	a	19
			Tipo de E	studio			
Macrofósiles				Microfósiles			_
Pelecipodos	🗆 Amonite	es 🗆 🛛 Alg	as 🗆	Foramimiferos	□ Ost	rácodos	
Gasterópodos	Trilobite	es 🗆 Plant	tas 🗆	Radiolarios	🗆 Car	ofitas	
Braquiópodos	Corale	es 🗆 Vertebrad	los 🗆	Diatomeas			
Equinoideos	Otros			Otros			
	141	ldei	ntificación	Taxonómica			
Nombre espec	cifico:						
	Moluscos ind	d. (fragmentos)					
4							
	5						
	Unidad Rice	otratigráfica			Casar	analogía	
Zana:	Unidad Bloe	stratigrafica		In deale	Geoch	onologia	
2011a.				Edad:			
			Eaci	~~			
		Litofacios	Faci	es	-	Piofor	nice
Silici	lástica	Litofacies	Faci	es Otros		Biofac	cies
Silicio	lástica Arena	Litofacies Carbo	Faci natos	Otros		Biofac Nombre:	cies
Silicio Tipo:	elástica Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	otros biente		Biofac Nombre:	sies
Silicio Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	sies
Silicio Tipo:	clástica Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	otros biente	Gr	Biofac Nombre: <b>áfico</b>	cies
Silicio Tipo:	Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	otros biente	Gr	Biofac Nombre: <b>áfico</b>	cies
Silicio Tipo:	Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	es Otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	cies
Silicio Tipo:	Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	es Otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	cies
Silicio Tipo:	Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	es Otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	cies
Silicio Tipo:	Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	es Otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	sies
Silicio Tipo:	Arena	Litofacies Carbo Tipo:	Faci natos Paleoam	es Otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	sies
Silicio Tipo: Observación:	Arena	Litofacies Carbo Tipo: Litoral	Faci natos Paleoam	es Otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	cies
Silicio Tipo: Observación: Nombre:	Arena	Litofacies Carbo Tipo: Litoral	Faci natos Paleoam	es Otros biente	Gr	Biofac Nombre: áfico	cies

GEMT

GEMMET

**INFORME PALEONTÓLOGICO** Ficha Nº: Referencia: 014/DGA/A18 Muestra VV-I-05B Colector C. Benavente Fecha de envio 04/06/2007 **Datos Generales** Proyecto: GA-18 Cuadrángulo La Yarada Hoja 37-U Ubicación Política Sitio: Vila Vila Distrito Provincia Departamento TACNA Ubicación Geografica (Coordenadas UTM) Norte 317327 Este 7997084 Datum Zona 19 Tipo de Estudio Macrofósiles Microfósiles Amonites Pelecipodos Algas 🗆 Ostrácodos Foramimiferos Gasterópodos Trilobites 🗆 Carofitas Plantas Radiolarios Braquiópodos Corales D Vertebrados D Diatomeas Equinoideos Otros Otros Identificación Taxonómica Nombre específico: 1 Concholepas peruviana J.B. Lamarck 1801 2 Mesodesma donacium Lamarck 1818 3 Oliva peruviana Lamarck 1810 4 Epistominella sp. Husezina y Maruhasi 1944 Unidad Bioestratigráfica Geocronología Zona: Edad: Facies Litofacies **Biofacies** Siliciclástica Carbonatos Otros Nombre: Tipo: Arena Tipo: Paleoambiente Gráfico ..... ..... 🗆 ..... Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación: Terrazas Marinas

Determinado por Ing Marladel Carmon a-Laboratorio de Palarci ING F



Miner 6 Dirección de Laboratorios 115 GEMME

Ge	Fecha de envio 37 Departamento Zona Ostrácodos Carofitas	04/06/20 7-U TACNA 19
Ge	Departamento Zona Ostrácodos Carofitas	7-U TACNA 19
Ge	Departamento Zona Ostrácodos Carofitas	7-U TACNA 19
Ge	20na Ostrácodos Carofitas	U TACNA 19
Ge	Departamento Zona Ostrácodos Carofitas	TACNA 19
Ge	Departamento Zona Ostrácodos Carofitas	TACNA 19
Ge	Departamento Zona Ostrácodos Carofitas	19
Ge	Zona Ostrácodos Carofitas	19
Ge	Zona Ostrácodos Carofitas	
Ge	Ostrácodos Carofitas	
G	Ostrácodos Carofitas	
Ge	Ostrácodos Carofitas	
Ge	Carofitas	
Ge	eocronología	
	Biof	acies
	Dion	20105
	Nombre:	
-		
	Gráfico	
	Granco	

WGEMMET

134



- 1.- Concholepas peruviana J.B Lamarck 1801
   a). Vista apical, b). Vista basal, c) Vista de perfil . Muestra: VV-I-05B.
   2.- Pelecipodo ind. a, b) Vistas valvares. Muestra: PMOT-I-06B



1.- Gasteropodo ind. a)Vista basal. b)Vista apical. 2.- Epistominella sp. Husezina & Maruhasi 1944 a)Vista ventral. b)Vista dorsal. c)Vista lateral. Muestra: VV-I-05B.

16mm



1.- Oliva peruviana Lamarck 1818 a) Vista lateral. b) Vista apical. c) Vista basal.
 2.- Mesodesma donacium Lamarck 1818 a) Vista externa de la valva derecha, b) Vista interna de la valva derecha. Muestra: VV-I-05B








1.- Hemicypris sp. Sars 1903 a). Vista lateral de la valva derecha, b). Vista interna de la valva derecha. Muestra: BR-I-01b. 2.- Pelecipodo ind a,b). Vistas de las valvas. Muestra: BR-I-03B

	101 01	1					
Muestra	Playa Chaco 01	Colector	(	C. Benavente		Fecha de envio	04/09/200
Provecto:	GA 18	Da	atos Gene	erales			
Cuadrángulo		Pisco		Hoia		28-	K
oddarangalo		1 1300		Поја		204	N.
Ubicación Pol	ítica						
Sitio:	Puerto Chaco					Land Street	
Distrito			Provincia			Departamento	Ica
Ibicación Ge	ografica (Coorder	(MTI Jackson	_		_		
Norte	8470798	Este	365263	Datum	-	Zona	19
		T	ipo de Es	tudio	-	Lond	10
Macrofósiles				Microfósiles			
Pelecipodos	□ Amonites	□ Algas		Foramimiferos		Ostrácodos	
Gasterópodos	Trilobites	Plantas		Radiolarios		Carofitas	
Braquiópodos	Corales	Vertebrados		Diatomeas			
Equinoideos	Otros		-	Otros			
		ldentifi	cación Ta	axonómica			
Nombre espe	cifico:						
1	Plantas ind.	Energy and a share h					
2	Moluscos Ind. (	Fragmentos)					
	roraminitero inc	i.					
	Unidad Bioest	ratioráfica			Ge	ocronología	
Zona:	onidad Diotor	latigration		Edad:	00	ocronologia	
			Facies	i i			
	and so and	Litofacies				Biofac	cies
Silic	iclástica	Carbonat	tos	Otros		Nombro:	
Гіро:	Arena	Tipo:				Nombre.	
		P	Paleoambi	ente			
	_	_				Gráfico	
Observación:		□					
Observación:			d Litoestr	atigráfica			
Observación: Nombre:		Litoral	d Litoestr	atigráfica			

Ficha Nº:			Referen	ncia:	019/200	7/DGARG
Muestra	Base FAP 01	Colector	C. Benav	vente	Fecha de envio	04/09/200
		Da	atos Generales			
Proyecto:	GA-18					
Cuadrángulo		Pisco	Hoja		28-	<
Ubicación Polí	tica					
Sitio:	San Andres					
Distrito			Provincia		Departamento	lca
Ubicación Geo	grafica (Coorder	nadas UTM)				
Norte	8479044	1 Este	366907 Datum		Zona	10
	0110011	Ti	ipo de Estudio	1	20114	13
Macrofósiles			Microfo	ósiles		
Pelecipodos	□ Amonites	Algas	Forami	miferos 🗆	Ostrácodos	
Gasterópodos	Trilobites	Plantas	Radiola	rios 🗆	Carofitas	
Braquiópodos	□ Corales	Vertebrados	Diatom	eas 🗆	e en en la e	
Equinoideos	Otros		Otros			
		Identifi	cación Taxonóm	ica		
Nombre espec	ifico:					
1	Equinoideos inc	d (espinas)				
2	Costoronada in	d. (Copilido)				
3	Gasteropodo in	u.				_
3	Gasteropodo ini	u.				
3	Unidad Bioest	u. tratigráfica		Ge	ocronología	
3 4 Zona:	Unidad Bioest	tratigráfica	Edad	Ge	ocronología	
3 4 Zona:	Unidad Bioest	u. tratigráfica	Edad:	Ge	ocronología	
3 4 Zona:	Unidad Bioest	tratigráfica	Edad: Facies	Ge	ocronología	ios
3 4 Zona:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies	Edad: Facies	Ge	ocronología Biofac	ies
Zona: Silicio	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre:	ies
Zona: Silicia Tipo:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo:	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre:	ies
Zona: Silicio Tipo:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre:	ies
Zona: Silicia Tipo:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies
Zona: Silicia Tipo:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies
Zona: Silicio Tipo:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies
Zona: Silicio Tipo:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies
Zona: Silicio Tipo:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies
Zona: Silicio Tipo: Observación:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P Carbonat Litoral	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies
Zona: Zona: Silicia Tipo: Observación:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P C Litoral Litoral Unidad	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies
Zona: Zona: Silicia Tipo: Observación: Nombre:	Unidad Bioest	tratigráfica Litofacies Carbonat Tipo: P Litoral Litoral Unidae	Edad: Facies	Ge Otros	ocronología Biofac Nombre: Gráfico	ies

Mana al c Ano Geologico M CD.MIA Determinado por Binesción Dirección Dirección Laboratorios Ing Maria del Cermen Morales de Laboratorio da Palacontologia INGEMMET ١ NGEMMET GEMM

	and the second		_	a na ana ang ang	- Contraction	
Muestra	Base FAP 2	Colector	(	. Benavente	Fecha de envio	04/09/200
Drovoeta	CA 10	Da	itos Gene	rales		
Proyecto:	GA-18	Dises		11040		
Cuadrangulo		Pisco		Ноја	28-	(
Ubicación Políf	ica					
Sitio:	San Andres				Section and	
Distrito			Provincia		Departamento	lca
Ubicación Geo	grafica (Coorden	adas UTM)				
Norte	8479044	Este	366907	Datum	Zona	19
10.10	0110011	Ti	po de Est	udio	20114	15
Macrofósiles				Microfósiles		
Pelecipodos	Amonites			Foramimiferos	Ostrácodos	
Gasterópodos	Trilobites	D Plantas		Radiolarios	Carofitas	
Braquiónodos	Corales			Diatomeas	Caronias	
Fauinoideos						
Equilibideos	- 0103	Identifi	ación Ta	vonómica		
Nombre espec	ífico:	Identific		xononica		
1	Fauinoideos ind	(espinas)				
2	Quinqueloculina	en				
3	Pelecipodos ind	(Eragmontos)				
5	Braquiopodos ind.	(Fragmentos)				
4	Unidad Bioastr	atigráfica		C		
Zona	Unitad Bioesti	augranca		Ge	eocronologia	
2011a.			Facias	Edad		
		114-6-1	Facles			
Cillaid	léstica	Litofacies		01	Biofac	ies
Silicio	clastica	Carbonat	OS	Otros	Nombre:	
Tipo:		Tipo:		Arena bioclastica		
		Pa	aleoambi	ente		
					Gráfico	
		🗆				
		🗆				
Observación:		Litoral				
		Unidad	Litoestr	atigráfica		
Nombre:						

del Ched MG Determinado por Ing. Marfa del Carmen Morales Laboratorio de Paleentolegia INGEMMET



Sadbiso Minero A Batalling NGEMM

Ficha Nº:						Referencia:		019/200	7/DGARG
Muestra	Base FAP 3	3A	Colector		C	. Benavente		Fecha de envio	04/09/2007
-				Dato	s Gene	rales			
Proyecto:	GA-18	_		_					
Cuadrángulo		-	Pisco			Ноја		28-1	(
Ubicación Poli	tica						-		
Sitio:	San Andres	6			_				
Distrito		_		Pr	ovincia			Departamento	lca
Ubicación Geo	ografica (Coc	ordenad	as UTM)						
Norte	8480	0236 E	ste		67297	Datum		Zona	10
				Tipo	de Est	udio	-	2011a	15
Macrofósiles					10 23	Microfósiles			
Pelecipodos	Amo	nites [		das Г		Foramimiferos	-	Ostrácodos	
Gasterópodos	Trilol	bites D	] Plar	tas r		Radiolarios		Carofitas	
Braquiópodos	Cor	rales [	Vertebra	dos E		Diatomeas		Caronitas	_
Equinoideos		s r		405 L	-	Otros			
Equinolacoo	_ 010	5 L	lder	atificad	lón Ta	vonómica			
Nombre espec	cífico:		Idei	mineat		xononnea			
1	Enistominel	lla sn							
2	Carditopsis	sp.					-		
3	Caratopolo	<u>.</u>							
4							-		
	Unidad Bi	oestrat	igráfica				Ge	ocronología	
Zona:			granea			Edad.	00	ectonologia	
					Facies	Ludu.			
			Litofacies		i deles			Biofac	ioc
Silici	clástica	-	Carbo	natos		Otros	-	Diolac	les
Tipo:	Arena	Ti	00100	matos		01103		Nombre:	
ripo.	7 11 011 14	111	00.	Pale	oambi	ente			
				1 410	Junior		-	Gráfico	
								Granco	
				_					
	_								
Observación:			_itoral						
Observación:			_itoral Un	idad L	itoestra	itigráfica			
Observación: Nombre:			itoral Un	idad L	itoestra	itigráfica			

Determinado por Ing. María del Carmen Morates Laboratorio de Paleontología INGEMMET

Ficha Nº:				Referencia:		019/200	7/DGARG
Muestra	Base FAP 3B	Colector		C. Benavente	-	Fecha de envio	04/09/200
maoona		Di	atos Gen	erales			
Proyecto:	GA-18				_		
Cuadrángulo		Pisco		Hoja		28-	(
Ubicación Pol	ítica				-		
Sitio:	San Andres						
Distrito			Provincia	a		Departamento	lca
Ubicación Geo	ografica (Coorden	adas UTM)			_		
Norte	8480236	Este	367297	Datum		Zona	19
	1	Т	ipo de Es	tudio			
Macrofósiles	8			Microfósiles			
Pelecipodos	Amonites	□ Algas		Foramimiferos		Ostrácodos	
Gasterópodos	Trilobites	Plantas		Radiolarios		Carofitas	
Braquiópodos	□ Corales	Vertebrados		Diatomeas			
Equinoideos	Otros			Otros			
		Identifi	icación T	axonómica			
Nombre espe	cífico:						
1	Carditopsis sp.						
2	2						
3	3						
4	1	and the second second			_		
	Unidad Bioest	ratigráfica	-		Ge	ocronología	
Zona:				Edad:			
			Facie	S			
		Litofacies				Biofac	ies
Silic	iclástica	Carbona	tos	Otros		Manahara	
Tipo:	Arena	Tipo:				Nombre.	
		F	aleoamb	iente			
						Gráfico	
		🗆					
01		Literal		-			
Observacion:		Litoral	dlitoast	ratigráfica			
Nombrei		Uniua	IU LILUESI	latigratica			
Nombre:	Tr	Antonina					
Observacion.	16						
Mars	sudre ht	<b>NERCOMINER</b>			/		
Detern Ing. Marfa de Laboratorio	ninado por I Carmen Morales de Paleontología	Gabrie de Gabrie de Faleontología	METALURGICO	Bailbaica Minero L Directión Ede Laboratorios	Watality or		
INC	BEMMET	GEMME	9	WGEMMET	8		







1.- Epistominella sp. a)Vista dorsal. b)Vista ventral. C)Vista lateral. Muestra: Base FAP 3A. 2.- Cardiotis sp. a) Vista de la valva externa b) Vista de la valva interna. Muestra: Base FAP 3B



Foraminifero indeterminado; a) Vista dorsal, b) Vista lateral. Muestra: Playa Chaco 01
 Foraminifero indeterminado; a) Vista Dorsal b) Vista Ventral c) Vista lateral. Muestra: Base FAP4 3.- Planta indeterminada. Muestra: Playa Chaco 1





Quinqueloculina sp. ; a,b). Vistas laterales mostrando la disposición de las cámaras
 vista vista apertural . Muestra: Base FAP 2. 2.- Bolivina seminuda; Muestra: Base FAP 1
 Triloculina sp. ; Muestra: Base FAP 1

Ficha Nº: Muestra MPF Proyecto: GA- Cuadrángulo I		FORMATOS Versi Aprol INFORME PALEONTOLÓGICO Págii					
Muestra MPF Proyecto: GA- Cuadrángulo		Referencia:Solicitud N°	003-2008INGEMM	ET/DGAR			
Muestra MPP Proyecto: GA- Cuadrángulo	Datos Genera	ales					
Proyecto: GA-	2-01-A Colector	Carlos Benavente	Fecha de recepción 1	18 Set 2008			
Cuadrángulo	18						
	Chimbote	Hoja					
Ubiancián Dalítica							
Sitio: Punt	ta						
Distrito	Provincia	Ancash	Departamento	Ancash			
Ubicación Geografica (Coordei Norte	551272 Este: 9604714	Datum	Zona	17			
NOILE		(abrov.)		17			
Macrofósiles	Taxones abreviatura	Microfósiles					
Pelecipodos (Pcp) Brioz	coarios (Brz) Conularias (Cnl)	Foraminiferos (For)	Silicoflagelados	(Scf)			
Gasterópodos (Grp) Cora	les (Crl) Plantas (Pl)	Radiolarios (Rad)	Dinoflagelados	(Scf)			
Braquiópodos (Brp) Grap	nolitos (Grl) Algas (Alg)	Diatomeas (Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)			
Equinodermos (Eq) Naut	iloideo (Ntl) Icnofosiles (Inf)	Carofitas (Crf)	Micromoluscos	(Mmc)			
Artropodos (Atp) Amo	nites (Amm) Anelidos (And)	Conodontes (Cd)	Ichthyolithos	(Itl)			
Trilobites (Tril) Colo	idea (Cld) Otros	Cocolitoforidos (Dct)	Otros				
	Tawanan idantifian dan	and the second se					
Desistes interne	Taxones identificados o	en la muestra		ahaan			
Registro Interno	Nombre	específico		abrev.			
1 Don	ax peruvianus (Deshayes)		2 - 1	(Mpcp)			
2 Don	ax marincovichi (Coan)			(Mpcp)			
3 Equi	inoideo ind.(espinas)			(Eq)			
4 Micr 5	omoluscos ind. (fragmentos)			(IVITIC)			
6			-				
7							
8				-			
10							
Unidad	Bioestratigráfica	Ge	ocronología				
Zona:	Dicestratigranica	Edad:	Holoceno r	eciente			
	Litología		Biofac	ies			
Tipo:	Arena color gris grano me	edio a fino					
	Paleoambier	nte					

	MMET			FOR	MATO	5		Código : Versión : Aprobado por: D	DL- 00 )L	F-107
insinio declugion	Ministro y Mesalurgico.		INFO	ORME PA	LEONTO	DLÓGIC	0	Página :	3 ( 1 de	DCT. 200
Codigo ::::::::::::::::::::::::::::::::::::				ET/DGAR						
Muestra		MPP-01-B		Colector		Car	los Benavente	Fecha de recepció	n 18	Set 2008
Provecto:		GA-18			-				_	
Cuadrángulo	-		C	himbote		Hoja				
						1.			_	
Ubicación Poli	itica	Durate								
Sitto: Distrito		Punta	_	Provincia		Ancash	-	Departamento	Т	Ancash
Diodito				Trovincia		/ alouon		Departamento	-	Turousin
Ubicación Geo	ografica (C	oordenadas	UTM)						_	.d.s
Norte		551	272	Este:	9604714	Datum		Zona		17
			_	Taxones a	breviatura	s (abrev.)				
Macrofósiles Polosingdos	(Den)	Priorogrian	(P)	Conularia	(0-1)	Microfó	siles	Ciliandenaladar	_	10-0
Gasterópodos	(Pcp) (Grp)	Corales	(Brz) (Crl)	Plantas	(PI)	Radiolari	iteros (For)	Dinoflagelados		(Scf)
Braquiópodos	(Brp)	Graptolitos	(Grl)	Algas	(Alg)	Diatome	as (Dt)	Micropelecipodo	s	(Mpcp)
Equinoideos	(Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrad	os (Veb)	Ostrácoo	ios (Osc	) Microgasteropoo	los	(Mgrp)
Equinodermos	(Eqd)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles	s (Inf)	Carofitas	G (Crf	) Micromoluscos		(Mmc)
Artropodos	(Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos	(And)	Conodon	ntes (Cd)	Ichthyolithos		(Iti)
I rilobites	(Tril)	Coloidea	(Cld)	Otros		Cocolitof	oridos (Dct)	Otros		
			Та	xones ident	tificados e	n la mues	tra			
Registro	interno	1	10	2.100 Sectors 20	Nombre	específico	,		T	abrev.
	1	Mactromia	sp.	16					+	(Mpcp)
			scos ind.	(fragmentos	)				+	(Mmc)
	4	4							+	
	5	5							+	
	6	5								
	7								+	
	9		-						+	
	10								1	
	Ur	idad Bioes	tratigráfi	ca		-	(	Geocronología		
Zona:						Edad: R	eciente		_	
			Lit	ología				Biofa	cies	6
Tipo:Arena bio	clastica								_	
				Pal	eoambient	te			_	
Observació	n: Litoral		-	Inded	itooctroti	ráfica				-
Nombre:				Unidad I	Litoestrati	granca			_	
Observación:									_	
T	and de	and the	2				ico Miner			
(m)	Determin	ado por		-			010010	4 MA		
	Dotornan	ado por				6	DIRACION	etalú		
Ing Ma	rla del Carm	en Morales R.				1	LABORATORIC	Sic		
Labo	ratorio de Pa	aleontología					P. M. A	1		
	INGEMA	AET					GEMME			

XINGEMMET			FORMATO	os		Código : DL Versión : 00 Aprobado por: DL	-F-107
instituto Geológico Minero y Metalúrgico		INFO	RME PALEON	rológico		Fecha aprob 23 Página :10	OCT. 20 de 1
Ficha Nº:			Datos Gener	Referencia:S	Solicitud N	° 003-2008INGEMM	IET/DGA
Muestra	MPP-01-C		Colector	Carlos Be	enavente	Fecha de recepción	18 Set 2008
Proyecto:	GA-18			he :		-	
Cuadrángulo		Ch	imbote	Hoja			
Ibicación Política							
Sitio:	Punta						
Distrito			Provincia	Ancash		Departamento	Ancas
Ubicación Geografica (C	oordenadas	UTM)		1		1	_
Norte	551:	272	Este: 9604714	Datum	_	Zona	17
			Taxones abreviatur	as (abrev.)			
Macrofósiles				Microfósile	S		
Pelecipodos (Pcp)	Briozoarios	(Brz)	Conularias (Cnl)	Foraminiferos	s (For)	Silicoflagelados	(Scf)
Gasterópodos (Grp)	Corales	(Crl)	Plantas (Pl)	Radiolarios	(Rad)	Dinoflagelados	(Scf)
Braquiopodos (Brp)	Graptolitos	(Gri)	Algas (Alg)	Diatomeas	(00)	Micropelecipodos	(Mpcp)
Equinoideos (Eq)	Crinoideo	(Cr)	vertebrados (veb)	Ostracodos	(Osc)	Microgasteropodo	s (Mgrp)
Equinodermos (Equ)	Nautiloideo	(NU)	Activities (IIII)	Carolitas	(01)	Interomotoscos	(WITHC)
Artropodos (Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos (And)	Conodontes	(Cd)	Ichthyolithos	(10)
Thiobites (Thi)	Coloidea	(Cid)	Otros	Cocolitoronad	os (DCI)	Otros	
		Та	xones identificados	en la muestra			
Registro interno	1		Nombr	e específico			abrev
	Semimytilu	is sp.					(Mpcp)
	2 Micromolus	scos ind.	(fragmentos)				(Mmc)
	3				-		
	4						
	5						
	3						
							-
	2						
11	5						
					-		
U	hidad Bioest	tratigráfie	ca	1	Ge	ocronologia	_
Zona:				Edad:Recier	nte		-
		Lit	ología		_	Biofaci	es
1 St							
Tipo: Arena cuarzosa co	n bioclastos.				_		_
Tipo: Arena cuarzosa co	n bioclastos.		Paleoambie	ente			
Tipo: Arena cuarzosa co	n bioclastos.		Paleoambie	ente			
Tipo: Arena cuarzosa co Observación:	n bioclastos.		Paleoambie itoral	ente			
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T	n bioclastos.		Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ente			
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación:	n bioclastos.	L	Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ente atigráfica			
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación:	n bioclastos.	L	Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ente atigráfica			
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación:	n bioclastos.		Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ente ntigráfica	Min		
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación:	n bioclastos.	tts P	Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ente ntigráfica	o Minero		
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación: Mone te Determin	n bioclastos.	torP	Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ntigráfica	o Minero		
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación: Mone te Determin	n bioclastos.	L.	Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ntigráfica	o Minero Handrey		
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación: Mone te Determin Ing. María del C	n bioclastos.	ل محمد 70 sH,	Paleoambie itoral Unidad Litoestra	atigráfica	o Minero A Manuello Manuello Manuello Manuello Manu		
Tipo: Arena cuarzosa co Observación: Nombre: T Observación: Mone & Determin Ing. María del O Laboratorio d	n bioclastos.	ta P sH.	Paleoambie itoral Unidad Litoestra	ente	o Minero 1 Mareno 1 M		

	MET ro y Metallingico			FORM	MATOS	6		Código : DL-F-10 Versión : 00 Aprobado por: DL Fecha aprob		
			INFO	ORME PAL	EONTO	LOGICO	_	Z 3 Página :1	() de	CT. 200 1
Ficha Nº:				Datos	s General	Referencia:So es	olicitud N	° 003-2008INGEM	ME	T/DGAF
Muestra		MPP-01-D		Colector		Carlos Ben	avente	Fecha de recepción	18	Set 2008
Provecto:		GA-18							-	
Cuadrángulo			CI	himbote		Hoja			-	-
Ubicación Polític	a	Dunta							_	
Distrito		Punta	_	Provincia		Ancash		Departamento		Ancash
Diouno	1.000		1.12	1.1.0.1.1.0.0						
Ubicación Geogr	rafica (Co	ordenadas	UTM)						_	
Norte	-	551	727	Este: 9	604714	Datum		Zona		17
	_			Taxones ab	reviaturas	(abrev.)				
Macrofósiles	Dent	Delanaria	(D-)	Ore to the	10-1	Microfósiles	(5.)	010-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	-	10-0
Gasterópodos (F	Grp)	Corales	(Brz)	Plantas	(Chl)	Radiolarios	(For)	Dinoflagelados		(Scf)
Braquiópodos (F	Brp)	Graptolitos	(Grl)	Algas	(Ala)	Diatomeas	(Dt)	Micropelecinodos		(Mpcp)
Equinoideos (I	Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados	(Veb)	Ostrácodos	(Osc)	Microgasteropode	os	(Mgrp)
Equinodermos (E	Eqd)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles	(Inf)	Carofitas	(Crf)	Micromoluscos	-	(Mmc)
Artropodos (	(Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos	(And)	Conodontes	(Cd)	Ichthyolithos		(11)
Trilobites (	(Tril)	Coloidea	(Cld)	Otros		Cocolitoforidos	(Dct)	Otros		
			Te	venes identif	Foodoo a	a la muinatura			-	-
Dealetre int	-		18	xones identi	licados el	n la muestra			-	-
Registro int	erno				Nombre	específico			+	aprev.
	1	Donax mai	ncorensis	Olson						(Mpcp)
	2	Mactromer	is sp.							(Mpcp)
	3	Moluscos i	nd. (fragr	mentados)						(Mmc)
	4								-	
	5								+	
	7		_						+	
	8								+	
	9	(								
	10		_							_
	Un	idad Bioest	tratigráfi	ca			Ge	ocronología		
Zona:						Edad: Recient	te			
T			Lit	ología				Biofac	ies	
Tipo: Arena cuar	zosa con	DICIASTOS	_						_	
	_		_	Pale	oambient	e	_			
				Pale	oambient	e				
Observació Nombre:	ón:			Unidad Li	toestratio	gráfica				
Observación:							_			_
M	one det	Chud	50	_		alogice alogice	Minero			
Ing. Mar	fa del Carr	nen Morales	ŝ			Omining LABO	TORIOS	aluron		
Labora	INGEM	MET				We	SEMME			

XINGEMMET	0	FORMATOS						Código : DL-F-107 Versión : 00 Aprobado por: DL	
instituto Geológico Minero y Metalúrgico		INFO	RME PALE	ONTO	LÓGICO	_	Página : 1 d	OCT. 2008 e 1	
Ficha Nº:			Datos	General	Referencia:Sol	icitud N°	003-2008INGEMM	ET/DGAR	
Muestra	MPP-01-F		Colector		Carlos Bena	vente	Fecha de recepción 1	8 Set 2008	
Provecto:	GA-18	-							
Cuadrángulo		Chi	mbote		Hoja			-	
Ubicación Política						_			
Sitio:	Punta		In the la	_	Asses		Departemente	Anosch	
Distrito	1		Provincia	-	Ancash		Departamento	Ancash	
Ubicación Geografica (	Coordenadas	UTM)	15-to: 000	1744	Datum		7000	47	
Norte	551	272	Este: 960	4/14	(obrow)		Zona	17	
Macrofósiles	_		Taxones abre	viaturas	Microfósiles				
Pelecipodos (Pcp)	Briozoarios	(Brz)	Conularias	(Cnl)	Foraminiferos	(For)	Silicoflagelados	(Scf)	
Gasterópodos (Grp)	Corales	(Crl)	Plantas	(PI)	Radiolarios	(Rad)	Dinoflagelados	(Scf)	
Braquiópodos (Brp)	Graptolitos	(Gr)	Algas	(Alg) (Veb)	Ostrácodos	(Dt)	Micropelecipodos	(Morp)	
Equinoideos (Eq)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles	(Inf)	Carofitas	(Crf)	Micromoluscos	(Mmc)	
Artropodos (Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos	(And)	Conodontes	(Cd)	Ichthyolithos	(Iti)	
Trilobites (Tril)	Coloidea	(Cld)	Otros		Cocolitoforidos	(Dct)	Otros		
		Тал	kones identific	cados e	n la muestra	-			
Registro interno			N	ombre e	específico			abrev.	
	1 Plantas inc	I. (fragmer	ntos de tallos)					(PI)	
	2								
	3								
	4								
	6								
	7								
	8								
	9							-	
	Jnidad Bioes	tratigráfic	ca			Ge	ocronología		
Zona:					Edad: Recient	0			
		Lite					Biofaci	299	
Tipo: Arena cuarzosa		Liu	ologia				Diotaci	~	
			Paleo	ambien	te				
Observación: Litoral						_			
		_	Unidad Lit	oestrati	gráfica				
Nembro									
Nombre: Observación:						-	_		
Nombre: Observación:						ALCO MI	0.0		
Nombre: Observación:	1 1 30	200			1	10910	oro L		
Nombre: Observación: Mane d	te Jord	300	_		10	DIESC	LON MACH		
Nombre: Observación: Mane d Determ	inado por	300	_		tuto 6.	DIBEC	A ARAUNILL'S		
Nombre: Observación: Mane J Determ	armen Morales	300	_		with to G	DIEBC	A MANUAL STREET		
Nombre: Observación: Mane J Determ Ing. Maríadel C Laboratoria d	armen Morales	300	-		with	LABOTAT	CON UNITED CON		

Escer Irega y Minas INGEMMET Institute Geológico Minere y Metalúngico			FORM	ATOS			Código : DL Versión : 00 Aprobado por: DL	-F-107
Instituto Geológico Minoro y Metalárgico		INFO	ORME PAL	EONTO	LÓGICO		Fecha aprob 23 Página :10	OCT. 200 le 1
Ficha Nº:			Datos	General	Referencia:Sol	icitud N°	003-2008INGEMM	IET/DGAR
Muestra	MPP-01-G		Colector		Carlos Bena	avente	Fecha de recepción *	18 Set 2008
Provecto:	GA-18							
Cuadrángulo		Ch	imbote		Hoja			
Ubicación Política	Dunta							
Distrito	Fund		Provincia		Ancash		Departamento	Ancash
Ubicación Geografica (Co	ordenadas	UTM)	1			_	12	
Norte	5512	272	Este: 96	04714	Datum		Zona	17
			Taxones abre	eviaturas	(abrev.)			
Pelecinodos (Pon)	Briozostion	(Brz)	Conulariae	(Cpl)	Foraminiferon	(For)	Silicoflagelados	(Scf)
Gasterópodos (Grp)	Corales	(Crl)	Plantas	(PI)	Radiolarios	(Rad)	Dinoflagelados	(Scf)
Braquiópodos (Brp)	Graptolitos	(Grl)	Algas	(Alg)	Diatomeas	(Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)
Equinoideos (Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados	(Veb)	Ostrácodos	(Osc)	Microgasteropodos	s (Mgrp)
Equinodermos (Eqd)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles	(Inf)	Carofitas	(Crf)	Micromoluscos	(Mmc)
Artropodos (Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos	(And)	Conodontes	(Cd)	Ichthyolithos	(Itl)
Trilobites (Tril)	Coloidea	(Cld)	Otros		Cocolitoforidos	(Dct)	Otros	
		Та	vones identifi	cados e	la muestra			
Registro interno	-	Tu	Nones Identifi	lombre e	specífico	-		abrev.
Registro interno				ionibi e t	opeoinee			
1	Plantas ind	. (raices)						(PI)
2								
3								
4								-
5								
7								
8	1							
9								
10	1							
Ur	idad Bioest	tratigráfi	ca	_	1000	Ge	ocronología	_
Zona:				_	Edad: Recient	е		
		Lit	ología				Biofaci	88
Tipo: Arena cuarzosa								
Tipo: Arena cuarzosa			Paleo	ambient	e			
Tipo: Arena cuarzosa			Paleo	ambien	e			
Tipo: Arena cuarzosa			Paleo	bambien	e			
Tipo: Arena cuarzosa			Palec	oambien	e			
Tipo: Arena cuarzosa			Palec	oambien	e			
Tipo: Arena cuarzosa			Palec	bambien	e			
Tipo: Arena cuarzosa			Palec	pambien	e			
Tipo: Arena cuarzosa Observación:			Paleo	Dambien	e reáfico			
Tipo: Arena cuarzosa Observación:			Paleo Litoral Unidad Lit	oambien	gráfica			
Tipo: Arena cuarzosa Observación: Nombre: Observación:			Paleo Litoral Unidad Lit	oestrati	gráfica			
Tipo: Arena cuarzosa Observación: Nombre: Observación:			Paleo Litoral Unidad Lit	oambient	gráfica			
Tipo: Arena cuarzosa Observación: Nombre: Observación:			Paleo Litoral Unidad Lit	toestrati	gráfica			
Tipo: Arena cuarzosa Observación: Nombre: Observación:	Dura	J	Paleo	toestrati	gráfica	Sico Minera		
Tipo: Arena cuarzosa Observación: Nombre: Observación: Monue do Determin	DAtta ado por	۱ ۍ	Paleo	toestrati	gráfica	Jico Miner	A MAGE	
Observación: Observación: Nombre: Observación: Determin	DAtta ado por	 ۍ	Palec	toestrati	gráfica	Jico Miner	Winter Mark	
Tipo: Arena cuarzosa Observación: Nombre: Observación: Determir Ing. Marfa del C	DArra ado por armen Morales	۲ ۶	Paleo	toestrati	gráfica	DIRECTOR	Mataling	

Sedar Frequery Mines	WMET Frere y Metallingico	FORMATOS Códig Versi Aprot							ódigo : DL-F-107 ersión : 00 probado por: DL echa aprob	
			INFO	ORME PAL	EONTO	LÓGICO		Z3 Página :1 d	OCT. 2004 le 1	
Ficha Nº:				Datos	General	Referencia:So	licitud N <sup>e</sup>	003-2008INGEMN	ET/DGAR	
Muestra		PY-02-A		Colector		Carlos Bena	avente	Fecha de recepción 1	8 Set 2008	
Provecto:		GA-18	-							
Cuadrángulo			F	Pisco		Hoja				
Ubicación Polít	tica									
Sitio:	-	Yumaque								
Distrito	-			Provincia		Ica		Departamento	lca	
Ubicación Geo	grafica (Co	ordenadas l	UTM)	1=		1-		1-		
Norte	_	361	587	Este: 846	51839	Datum		Zona	18	
				Taxones abre	eviaturas	(abrev.)				
Macrofósiles Polocinedos	(Pop)	Priozenies	(Ber)	Constantos	(Cal)	Microfósiles	(Ear)	Cilicoflagolador	1000	
Gasterónodos	(Pcp)	Corales	(Crl)	Plantas	(Chi)	Radiolarios	(For)	Dinoflagelados	(Scf)	
Braquiópodos	(Brp)	Graptolitos	(Grl)	Algas	(Ala)	Diatomeas	(Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)	
Equinoideos	(Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados	(Veb)	Ostrácodos	(Osc)	Microgasteropodos	(Mgrp)	
Equinodermos	(Eqd)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles	(Inf)	Carofitas	(Crf)	Micromoluscos	(Mmc)	
Artropodos	(Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos	(And)	Conodontes	(Cd)	Ichthyolithos	(11)	
Trilobites	(Tril)	Coloidea	(Cld)	Otros	()	Cocolitoforidos	(Dct)	Otros	(	
	-		Та	xones identifi	cados e	n la muestra	-			
Registro i	nterno			N	lombre e	específico			abrev.	
	1	Equipoidoo	a ind /ac	ninos)					(Ea)	
	2	Micropeleci	sind. (es	pinas)	\				(Eq)	
	3	Microgaste	ronodos i	nd (fragmentos	) (ar				(Marp)	
	4	Wilciogaster	i opodos i	nu. (nagmentu	15)				(wigip)	
	5									
	6									
	7								· · ·	
	8									
	9								-	
	Un	idad Bioest	ratioráfie	ca			Ge	ocronología		
Zona:			a ang ang			Edad: Recient	0			
			1.24					Piefeei		
Tipo: Arena bio	oclastica		LR	ologia				Bioracie	es	
				Paleo	ambient	e				
Observa	ción:		L	litoral	_					
				Unidad Lit	oestratig	gráfica			_	
Nombre: Observación:										
		-								
	Mane de	Pertons (	5				ologico M	Minero		
-	Determin	ado por					DIRE	ISON TO		
						(	tute 4	Dilus		
Ing. M	aría del Car	men Morales					SE LABOR	IORIOS E		
Lab	oratorio de	Paleontología					WGEN	MAE		
	INGEM	MET								

INFORME PALEONTOLÓGICO         Z 3 0C1, 200           Pigina         : 1 de 1           Ficha N°:         Referencia: Solicitud N° 003-2008/INGEMMET/DGAF           Muestra         PY-02-B         Colector         Carios Benaverite         Fecha da recepción 18 Set 2008           Proyecto:         GA-18         Cuadrángulo         Pisco         Hoja		MMET Arren y Metallingico			FORM	ATOS			Código : DL Versión : 00 Aprobado por: DL Fecha aprob	-F-107	
Referencia: Solicitud N° 003-2008INGEMMET/DGAF         Datos Generales         Muestra       PY-02-B       Colector       Carlos Benavente       Fecha de recepción 18 Set 2009         Proyecto:       GA-18       Coladrángulo       Pisco       Hoja       Image: Carlos Benavente       Fecha de recepción 18 Set 2009         Ubicación Política       Sific:       Yumaque       Pisco       Hoja       Image: Carlos Benavente       Fecha de recepción 18 Set 2009         Ubicación Política       Sific:       Yumaque       Pisco       Hoja       Image: Carlos Benavente       Departamento       Ica         Ubicación Ceografica (Coordenadas UTM)       Taxones abreviaturas (abrev.)       Taxones abreviaturas (abrev.)       Macrofósiles       Microfósiles         Macrofósiles       Microfósiles       Microfósiles (Scf)       Radiolarios (Far)       Diatomess (Par)       Diatomess (Sca)       Ontriagelados (Scf)         Gasterópodos (Eq)       Graptolitos (Srf)       Algas (Alg)       Diatomess (Dri)       Microfosiles (Marc)       Condition (Marc)         Equinoideos (Eq)       Conide (Cri)       Paratidos (Alg)       Carlos (Alg)       Amenites (Arm)       Anelidos (Alg)       Carlos (Cri)       Microfosiles (Marc)         Equinoideos (Eq)       Amonites (Arm)       Anelidos (Alg)       Cond				INFO	ORME PALI	EONTO	LÓGICO		Z3 Página :1 d	OCT, 2008 le 1	
Muestra         PY-02-B         Colector         Carlos Benavente         Fecha de recepción 18 Set 2008           Proyecto:         GA-18         Cuadrángulo         Prisco         Hoja         Image: Construction of the set of the	Ficha Nº:				Datos	General	Referencia:So	licitud N	° 003-2008INGEMM	ET/DGAR	
Proyecto:       GA-18         Cuadrángulo       Pisco       Hoja         Ubicación Política       Sitio:       Yumaque         Distrito       Provincia       Ica       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Ica       Departamento       Ica         Norte       Softs87       Este:       8461839       Datum       Zona       18         Macrofósiles         Macrofósiles         Macrofósiles         Macrofósiles         Pelecipodos (Pcp)       Briozoarios (Brz)       Conularias (Cri)       Foraminiferos (For)       Silicoflagelados (Scf)         Braquiópodos (Grp)       Graptolitos (Gri)       Algas       (Alg)       Diatomeas       (D)       Microrofosiles       (Mpr)         Equinodermos (Ecq)       Nautiloideo (INI)       tonfosiles (Inf)       Carofitas (Cri)       Microfosiles (Inf)       Carofitas (Cri)       Microroluscos (Mmr)         Artropodos       (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Condontes (Cd)       Cithyoithos (Iti)         Taxones identificados en la muestra       Images identificados en la muestra       Images identificados en la muestra         Registro interno       Nombre especifico	Muestra		PY-02-B		Colector		Carlos Ben	avente	Fecha de recepción 1	8 Set 2008	
Indjektion       Discrition         Cuadrángulo       Pisco       Hoja         Ubicación Política       Sitio:       Yumaque         Distritio       Ica       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Taxones abreviaturas (abrev.)       Zona       18         Macrofósiles       Microfósiles       Microfósiles       Silicoffagelados       (Scf)         Pelecipodos       (Grap Carles       Crit)       Plantas       (Pr)       Silicoffagelados       (Scf)         Braquiópodos       (Brp)       Graptolitos (Gri)       Algas       (Alg)       Diatomeas       (Dr)       Micropelecipodos       (Mpcp)         Equinodermos (Ecq)       Natilioideo (Nth)       Inortosies (tri)       Carofitas       Cri       Micropelecipodos       (Mpcp)         Artropodos       (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos       (And)       Condontes       (Cd)       Ichthyolithos       (Itt)         Taxones identificados en la muestra       Taxones identificados en la muestra       Mecrofosiles       (Mpcp)       2       Prisogaster niger (Wood)       (Mpcp)       2       (Mpcp)       1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       10       10       10       10       10       10	Drovocto:		GA-18								
Ubicación Política         Sitio:       Yumaque         Distrito       IProvincia       Ica       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Norte       361587       Este:       8461839       Datum       Zona       18         Macrofósiles         Pelecipodos       (Pcp)       Briozoarios (Brz)       Conularias (Cni)       Foraminiferos (For)       Silicoflagelados       (Scf)         Braquiópdos (Brp)       Graptolitos (Gri)       Algas (Alg)       Diatomeas (De)       Micropelecipodos (Mpcp)         Equinoideos (Eq)       Crinoideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Ostrácodos (Cec)       Micropelecipodos (Mmc)         Equinoideos (Eq)       Crinoideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Carofitas (Cri)       Micropatecipodos (Mmc)         Equinoideos (Eq)       Crinoideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Carofitas (Cri)       Micropatecipodos (Mmc)         Attropodos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Condontes (Cd)       Ichthyolithos (Itt)         Triobites (Tri)       Coloidea (Cid)       Otros       Condontes (Cd)       Ichthyolithos (Itt)         1       Donex mancorensis Olson       (Mpcp)       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mpcp)	Cuadrángulo		GA-10		Pisco		Hoia				
Ubicación Política         Sitic:       Yumaque         Distrito       IProvincia       Ica       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Norte       361587       Este:       8461839       Datum       Zona       18         Macrofósiles         Macrofósiles         Macrofósiles         Macrofósiles         Gasterópodos (Pcp)       Brizoarios (Brz)       Conularias (Cni)       Radiolarios       Rad       Dinoflagelados       (Scf)         Braquiópodos (Brp)       Graptolitos (Grt)       Algas       (Alg)       Diatomeas       Din       Microgateropodos       (Mgrp)         Equinodermos (Eqd)       Nautiloideo (Nt)       Lonosiles (Inf)       Carofitas       Crt)       Microgateropodos       (Mgrp)         Artropodos       (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Condontes       Col       Ichthyolithos       (Itt)         Thiobites       (Tril)       Colidea       (Cid)       Otros       Condontes       Carl Interno       Microgasteropodos       Mgrp)         Atropodos       (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Condontes       Col       Ithyolithos       (Itt) <td>ouunungulo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td>	ouunungulo						1				
Sitic:       Yumaque         Distrito       Provincia       Ica       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Taxones abreviaturas (abrev.)       Ita       Ita         Macrofósiles       Taxones abreviaturas (abrev.)       Ita       Ita         Macrofósiles       Microfósiles       Microfósiles       Ital         Pelecipodos       (Brp)       Briozoarios (Brz)       Conularias (Chi)       Foraminiferos (For)       Silicoflagelados (Scf)         Gasterópodos (Grp)       Grates (Cri P Plantas (PI)       Radiolarios (Rad)       Dinoflagelados (Scf)       Biaguiópodos (Brp)         Equinodermos (Eqd)       Nautiloideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Ostrácodos (Occ)       Micropalsetropodos (Myrp)         Equinodermos (Eqd)       Nautiloideo (Nth)       Icnofeiles (Inf)       Canofintes (Cd)       Ichthyolithosos (Mmc)         Artropodos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Condontes (Cd)       Otros         Tribibites       (Trin)       Colidea (Cld)       Otros       Conodontes (Cd)       Otros         Taxones identificados en la muestra       Italicono (Mmc)       Microgaster pada (Mgr)       Gasterápolas (Mmc)       Microgaster pada (Mgr)         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       (Mgrp) </td <td>Ubicación Polí</td> <td>tica</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	Ubicación Polí	tica									
Distrito Provincia Ica Departamento Ica Provincia Ica Departamento Ica Ubicación Geografica (Coordenadas UTM) Norte 361587 Este: 8461839 Datum Zona 18 Taxones abreviaturas (abrev.) Microfósiles Pelecipodos (Pcp) Briozoarios (Brz) Conularias (Cni) Foraminiferos (For) Silicoflagelados (Scf) Gasterópodos (Grp) Corales (Cni) Piantas (Pi) Radiolarios (Rad) Dinoflagelados (Scf) Braquiópodos (Eq) Crinoldeo (Cr) Vertebrados (Veb) Ostrácodos (Osc) Micropalecipodos (Mgrp) Equinoldermos (Eqd) Nautiloideo (Nti) Icnofosiles (Inf) Carofitas (Cri) Micropelecipodos (Mgrp) Equinodermos (Eqd) Nautiloideo (Nti) Icnofosiles (Inf) Carofitas (Cri) Micropelecipodos (Mgrp) Trilobites (Trii) Coloidea (Cid) Otros Condontes (Cd) Ichthyolithos (Iti) Trilobites (Trii) Coloidea (Cid) Otros Costitoforidos (Dct) Otros Taxones identificados en la muestra Registro interno Nombre específico abrev. 1 Donex mencorensis Olson (Mpcp) 2 Prisogaster niger (Wood) (Mgrp) 3 Ostreidee ind. (Mpcp) 4 6 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	Sitio:		Yumaque		1				1		
Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Zona       18         Norte       361587       Este:       8461839       Datum       Zona       18         Taxones abreviaturas (abrev.)         Macrofósiles       Microfósiles         Pelecipodos       (Pop)       Briozoarios (Brz)       Conularias (CnI)       Foraminiferos (For)       Silicoflagelados (Scf)         Braquiópodos       (Brp)       Grapholitos (GrI)       Algas       (Alg)       Diatomeas       (DN       Micropelecipodos (Mpcp)         Equinodermos (Eqd)       Nautiloideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Ostrácodos (Osc)       Micropelecipodos (Mgrp)         Artropodos       (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos       (Itt)         Trilobites       (Tril)       Coloidea       Cid)       Otros       Corolitoforidos (Dct)       Otros         Taxones identificados en la muestra         Mecrofísiles         Meterodos (Mgrp)         Otros         Totos (Edd)       Nombre específico       abrev.         Coloidea (Cid)       Otros       Condontes       (Cd)       (Mpcp)         Otros       Nombre específico <td>Distrito</td> <td></td> <td></td> <td>_</td> <td>Provincia</td> <td></td> <td>lca</td> <td></td> <td>Departamento</td> <td>Ica</td>	Distrito			_	Provincia		lca		Departamento	Ica	
Discision recognizional (contratado or final)     Este:     8461839     Datum     Zona     18       Taxones abreviaturas (abrev.)       Macrofósiles     Microfósiles       Pelecipodos (Pcp)     Briozoarios (Brz)     Conularias (Cni)     Foraminiferos (For)     Silicoflagelados (Scf)       Braquiópodos (Grp)     Corales (Cri)     Plantas (P)     Radiolarios (Rad)     Dinoflagelados (Scf)       Braquiópodos (Brp)     Graptolitos (Gri)     Algas (Alg)     Diatomeas (Dt)     Microgoasteropodos (Mpcp)       Equinodermos (Eqd)     Nautiloideo (Nti)     Icnofosiles (Inf)     Carofitas (Cri/)     Microgoasteropodos (Mgcp)       Artropodos (App)     Amonites (Amm)     Anelidos (And)     Conodontes (Cd)     Ichthyolithos (Iti)       Trilobites (Trii)     Coloidea (Cld)     Otros     Cocolitoforidos (Dct)     Otros       Taxones identificados en la muestra       Registro interno     Microfósiles       1     Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       2       Dista (P)       2       1       Donax mancorensis Olson       1       0       1        Geeocronología <td c<="" td=""><td>I Ibicación Ger</td><td>arafica (C</td><td>ordenadas</td><td>UTM)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td>	<td>I Ibicación Ger</td> <td>arafica (C</td> <td>ordenadas</td> <td>UTM)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	I Ibicación Ger	arafica (C	ordenadas	UTM)						
Taxones abreviaturas (abrev.)         Macrofósiles       Microfósiles         Pelecipodos (Pcp)       Briozoarios (Brz)       Conularias (Cnl)       Foraminiferos (For)       Silicoflagelados (Scf)         Gasterópodos (Brp)       Grapulóbodos (Gr)       Grapulóbodos (Gr)       Algas (Alg)       Dinoflagelados (Scf)         Equinoideos (Eq)       Crinoideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Distómeas (Dt)       Microgasteropodos (Mgcp)         Equinoidermos (Eqd)       Nautiloideo (Nt)       Icnofosiles (Inf)       Carofitas (Crf)       Microgasteropodos (Mmc)         Artropodos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos (Iti)         Trilobites (Trii)       Coloidea (Cld)       Otros       Cocolitoforidos (Dct)       Otros         Taxones identificados en la muestra         Registro interno       Nombre específico       abrev.         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mpcp)       (Mpcp)         4	Norte	granca (Ci	361	587	Este: 84	61839	Datum		Zona	18	
Macrofósiles         Microfósiles           Pelecipodos (Pcp)         Briozoarios (Brz)         Conularias (Cnl)         Foraminiferos (For)         Silicoflagelados (Scf)           Gasterópodos (Grp)         Graptolitos (Grf)         Algas (Alg)         Diatomeas (Dt)         Microgelecipodos (Mgrp)           Braquiópodos (Eq)         Crínoideo (Cr)         Vertebrados (Veb)         Ostrácodos (Osc)         Microgasteropodos (Mgrp)           Equinoideos (Eq)         Crínoideo (Cr)         Vertebrados (Veb)         Ostrácodos (Osc)         Microgasteropodos (Mgrp)           Equinoideos (Eq)         Nautiloideo (Nt)         Icnofosiles (Inf)         Carofitas (Crf)         Microgasteropodos (Mgrp)           Artropodos (Atp)         Amonites (Amm)         Anelidos (And)         Conodontes (Cd)         Ichthyolithos (Iti)           Trilobites (Tril)         Coloidea (Cid)         Otros         Cocolitoforidos (Dct)         Otros           Taxones identificados en la muestra           Registro interno         Microgaster niger           1         Donax mancorensis Olson         (Mpcp)         (Mpcp)           2         Prisogaster niger (Wood)         (Mpcp)         (Mpcp)         1           3         Ostreidae ind.         Image: Streidae ind.         Image: Streidae ind.         Image: Streidae ind					Taxones abre	eviatura	(abrev.)				
Pelecipodos       (Pcp)       Briozoarios       (Brz)       Conularias       (Cni)       Foraminiferos       (For)       Silicoflagelados       (Scf)         Gasterópodos       (Grp)       Corales       (Cri)       Plantas       (Pl)       Radiolarios       (Rad)       Dinoflagelados       (Scf)         Braquiópodos       (Eq)       Crincideo       (Cr)       Vertebrados       (Vet)       Diatóneas       (Di)       Micropelecipodos       (Mpcp)         Equinoideos       (Eq)       Nautiloideo       (Nti)       Icnofosiles       (Inf)       Carofitas       (Cri)       Micropasteropodos       (Mgrn)         Artropodos       (Atp)       Amonites       (Amm)       Anelidos       (And)       Condontes       (Cd)       Ichthyolithos       (Itt)         Tribobites       (Trii)       Colidea       (Cid)       Otros       Condontes       (Cd)       Ichthyolithos       (Itt)         Tribobites       (Trii)       Colidea       Nombre específico       abrev.       abrev.         1       Donax mancorensis       Olson       (Mgcp)       (Mgcp)       (Mgcp)       4       (Mgcp)       4       10       10       10       10       10       10       10       10	Macrofósiles				Tuxoneo upre	- riucui u	Microfósiles	-		-	
Gasterópodos (Grp)       Corales (Crl)       Plantas (Pl)       Radiolarios (Rad)       Dinoflagelados (Scf)       (Mpcp)         Braquiópodos (Brp)       Crinoideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Diatomeas (Dt)       Micropelecipodos (Mpcp)         Equinodernos (Eq)       Nautilioideo (Ntl)       Incronelecipodos (Mgrp)       Carofitas (Crl)       Micropelecipodos (Mgrp)         Artropodos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Corolitoforidos (Dct)       Otros         Trilobites (Tril)       Coloidea (Cld)       Otros       Corolitoforidos (Dct)       Otros         Taxones identificados en la muestra         Registro interno       Nombre específico       abrev.         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mpcp)       (Mpcp)         4	Pelecipodos	(Pcp)	Briozoarios	(Brz)	Conularias	(Cnl)	Foraminiferos	(For)	Silicoflagelados	(Scf)	
Braquiópodos (Brp)       Graptolitos (Grl)       Algas       (Alg)       Diatomeas       (Dt)       Micropelecipodos       (Mpcp)         Equinodermos (Eqd)       Nautiloideo (Nti)       Icnofosiles (Inf)       Carofitas       (Crf)       Micropelecipodos       (Mgrp)         Artropodos       (Atp)       Amonites       (Amm)       Anelidos       (And)       Condontes       (Carofitas       (Crf)       Micropelecipodos       (Mgrp)         Artropodos       (Atp)       Amonites       (Amm)       Anelidos       (And)       Condontes       (Cd)       Ichthyolithos       (Iti)         Tribobites       (Tri)       Coloidea       (Cld)       Otros       Condontes       (Cd)       Ichthyolithos       (Iti)         Taxones identificados en la muestra         Mombre específico       abrev.         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mpcp)       (Mpcp)       (Mpcp)         4	Gasterópodos	(Grp)	Corales	(Crl)	Plantas	(PI)	Radiolarios	(Rad)	Dinoflagelados	(Scf)	
Equinoideos (Eq)       Crinoideo (Cr)       Vertebrados (Veb)       Ostrácodos (Osc)       Microgasteropodos (Mgrp)         Equinodermos (Eqd)       Nautilioideo (Ntl)       Icnofosiles (Inf)       Carofitas (Crf)       Micromoluscos (Mmc)         Artropodos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos (Itl)         Trilobites (Trii)       Coloidea (Cld)       Otros       Condontes (Cd)       Ichthyolithos (Itl)         Taxones identificados en la muestra         Taxones identificados en la muestra         Mombre específico       abrev.         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mgrp)       (Mpcp)         4	Braquiópodos	(Brp)	Graptolitos	(Grl)	Algas	(Alg)	Diatomeas	(Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)	
Equinodermos (Eqd)       Nautilioideo (Nti)       Icnofosiles (Inf)       Carofitas (Crf)       Micromoluscos (Minc)         Artropodos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos (Iti)         Trilobites (Trii)       Coloidea (Cld)       Otros       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos (Iti)         Taxones identificados en la muestra         Taxones identificados en la muestra         Mombre específico       abrev.         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mpcp)         4        (Mpcp)         4           5           6           7           8           9           10           Unidad Bioestratigráfica         Geocronología         Zona:          Litología       Biofacies         Tipo:Arena bioclastica	Equinoideos	(Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados	(Veb)	Ostrácodos	(Osc)	Microgasteropodos	s (Mgrp)	
Artropodos       (Atp)       Amonites       (Amm)       Aneildos       (And)       Condonites       (Ca)       Ichthypolithos       (III)         Trilobites       (Tril)       Coloidea       (Cid)       Otros       Cocolitoforidos (Dct)       Otros       (III)         Taxones identificados en la muestra         Taxones identificados en la muestra         Registro interno       Nombre específico       abrev.         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mpcp)       (Mpcp)         3       Ostreidae ind.       (Mpcp)       (Mpcp)         4	Equinodermos	(Eqd)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles	(Inf)	Carofitas	(Crf)	Micromoluscos	(Mmc)	
Trace     Construints     Construints       Taxones identificados en la muestra       Registro interno     Nombre específico     abrev.       1     Donax mancorensis Olson     (Mpcp)       2     Prisogaster niger (Wood)     (Mgrp)       3     Ostreidae ind.     (Mpcp)       4     (Mpcp)       5     (Mpcp)       6     (Mpcp)       10     (Mpcp)       110     (Mpcp)       120     (Mpcp)       130     (Mpcp)       140     (Mpcp)       150     (Mpcp)       160     (Mpcp)       170     (Mpcp)	Artropodos	(Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos	(And)	Cocolitoforidos	(Cd) (Dct)	Otros	(iu)	
Taxones identificados en la muestra         Registro interno       Nombre específico       abrev.         1       Donax mancorensis Olson       (Mpcp)         2       Prisogaster niger (Wood)       (Mgrp)         3       Ostreidae ind.       (Mpcp)         4       (Mpcp)         5       (Mpcp)         6       (Mpcp)         7       (Mpcp)         8       (Mpcp)         9       (Mpcp)         10       (Mpcp)         Unidad Bioestratigráfica         Cona:       Edad: Reciente         Litología       Biofacies         Tipo: Arena bioclastica       Paleoamblente	Triobites	(110)	Coloidea	(Cid)	Otros	_	Cocontorondos	(DCI)	0105	_	
Registro interno     Nombre específico     abrev.       1     Donax mancorensis Olson     (Mpcp)       2     Prisogaster niger (Wood)     (Mgrp)       3     Ostreidae ind.     (Mpcp)       4     (Mpcp)       5     (Mpcp)       6     1       7     1       8     1       9     1       10     1       Unidad Bioestratigráfica     Geocronología       Zona:     Edad: Reciente				Та	axones identifi	cados e	n la muestra				
1     Donax mancorensis Olson     (Mpcp)       2     Prisogaster niger (Wood)     (Mpcp)       3     Ostreidae ind.     (Mpcp)       4     (Mpcp)       5     (Mpcp)       6     (Mpcp)       7     (Mpcp)       8     (Mpcp)       9     (Mpcp)       10     (Mpcp)       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Zona:     Edad: Reciente	Registro	interno	1		N	lombre	específico			abrev.	
1     Donax mancorensis Olson     (Mpcp)       2     Prisogaster niger (Wood)     (Mpcp)       3     Ostreidae ind.     (Mpcp)       4     (Mpcp)       5     (Mpcp)       6     (Mpcp)       7     (Mpcp)       8     (Mpcp)       9     (Mpcp)       10     (Mpcp)       Unidad Bioestratigráfica     Geocronología       Zona:     Edad: Reciente											
2     Prisogaster niger (Wood)     (Mgrp)       3     Ostreidae ind.     (Mpcp)       4     (Mpcp)       5     (Mpcp)       6     (Mpcp)       7     (Mpcp)       8     (Mpcp)       9     (Mpcp)       10     (Mpcp)       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Zona:     Edad: Reciente		1	Donax ma	ncorensis	s Olson					(Mpcp)	
3     Ostreidae Inc.     (MpC)       4     1       5     1       6     1       7     1       8     1       9     1       10     1       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología     Biofacies       Tipo: Arena bioclastica     Paleoamblente			2 Prisogaste	er niger (	Wood)					(Mgrp)	
5       6       7       8       9       10       Geocronología       Zona:       Edad: Reciente			Ostreidae	ina.						(Mpcp)	
6			5								
7     8       9     10       10     10       Geocronología       Zona:       Edad: Reciente       Litología       Biofacies       Paleoamblente		6	3								
8     9       10     10       Unidad Bioestratigráfica Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología     Biofacies       Tipo:Arena bioclastica     Paleoamblente		7	7								
S     Geocronología       Unidad Bioestratigráfica     Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología     Biofacies       Tipo:Arena bioclastica     Paleoamblente		8	3								
Unidad Bioestratigráfica     Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología     Biofacies       Tipo:Arena bioclastica     Paleoamblente		10									
Zona: Edad: Reciente  Litología Biofacies  Tipo:Arena bioclastica Paleoamblente			-ided Diese					Ca	aaranalagía		
Litología Biofacies Tipo:Arena bioclastica Paleoamblente	Zona	U	nidad Bioes	traugran	ica		Edad Becien	Ge	ocronologia		
Litología Biofacies Tipo:Arena bioclastica Paleoambiente	2011a.						Luau. Nocion				
Tipo:Arena bioclastica Paleoambiente				11	itología				Biofaci	85	
Paleoambiente	Tipo:Arena bio	oclastica			ltologia				Dividu		
					Paleo	oambien	te				
										_	
	Observa	ación:			Litoral						
Observación: Lítoral					Unidad Li	toestrati	gráfica				
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica	Nombre:										
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre:	Observación:										
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación:											
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación:		Maria	C lue	5				100	Mines		
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación:		Determin	nado por		_			ologica	43		
Observación:     Litoral       Unidad Litoestratigráfica       Nombre:     Observación:       Observación:     Determinado por			and has					O DIR	ETCON BE		
Observación:     Litoral       Unidad Litoestratigráfica       Nombre:     Observación:       Observación:     Image: Color of the second s	Ing.	María del C	armen Morale	sR				LABOR	TORIOS		
Observación:     Litoral       Unidad Litoestratigráfica       Nombre:     Observación:       Observación:     Determinado por       Ing. María del Carmen Morales R     Ing. María del Carmen Morales R	1	Laboratorio di	e Paleontología					13.	1.0/		
Observación:     Litoral       Unidad Litoestratigráfica       Nombre:     Observación:       Observación:     Determinado por       Ing. María del Carmen Morales R Laboratorio de Paleentología     Determinado por		INGE	MMET					WGE	MME		

Ficha Nº: Muestra Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	PY-02-C GA-18 Yumaque oordenadas UTN 361587 Briozoarios (B	Datos Colector Pisco Provincia M) Este: 844 Taxones abre	Referencia:S Generales   Carlos Be  Hoja  Ica  Ica	P. olicitud N° 00: navente Fe	ágina : 1 d 3-2008INGEMM scha de recepción 1 epartamento	IET/DGAR 8 Set 2008
Ficha Nº: Muestra Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	PY-02-C GA-18 Yumaque oordenadas UTN 361587 Briozoarios (Bl	Datos Colector Pisco Provincia M) Este: 844 Taxones abre	Referencia:S Generales Carlos Be Hoja ICa	olicitud N° 00; navente Fe	3-2008INGEMM echa de recepción 1 epartamento	IET/DGAR 8 Set 2008
Muestra Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	PY-02-C GA-18 Yumaque oordenadas UTN 361587 Briozoarios (B	Colector Pisco Provincia M) Este: 844 Taxones abre	Carlos Be  Hoja  Ica  Ica	navente Fe	echa de recepción 1	8 Set 2008
Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoideos (Eqd)	GA-18 Yumaque oordenadas UTN 361587 Briozoarios (B	Pisco Provincia M) Este: 844 Taxones abre	Hoja Ica 31839 Datum	D	epartamento	lca
Cuadrángulo Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	Yumaque oordenadas UTN 361587 Briozoarios (B	Pisco Provincia M) Este: 840 Taxones abre	Hoja Ica 31839 Datum	[D	epartamento	lca
Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Brp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	Yumaque oordenadas UTN 361587 Briozoarios (Br	Provincia M) Este: 840 Taxones abre	Ica )1839  Datum	[D	epartamento	lca
Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Brp) Braquiópodos (Eq) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Edd)	Yumaque oordenadas UTN 361587 Briozoarios (Br	Provincia M) Este: 844 Taxones abre	Ica 1839  Datum	D	epartamento	lca
Distrito Distrito Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	oordenadas UTN 361587 Briozoarios (Br	Provincia M) Este: 844 Taxones abre	Ica 1839  Datum	D	epartamento	lca
Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	oordenadas UTI 361587 Briozoarios (Bi	M) Este: 844 Taxones abre	31839 Datum	1-		
Ubicación Geografica (C Norte Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	Briozoarios (Br	M) Este: 840 Taxones abre	31839 Datum	1=		
Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	Briozoarios (Br	Taxones abre	51839 Datum	17		
Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	Briozoarios (Br	Taxones abre		20	ona	18
Pelecipodos (Pcp) Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd)	Briozoarios (Br		viaturas (abrev.)			
Gasterópodos (Grp) Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinodermos (Eqd)	Caralas (C	rz) Conularias	(Cnl) Foraminiferos	(For) Si	ilicoflagelados	(Scf)
Braquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinodermos (Eqd)	Corales (CI	rl) Plantas	(PI) Radiolarios	(Rad) D	inoflagelados	(Scf)
Equinoideos (Eq)	Graptolitos (Gi	rl) Algas	(Alg) Diatomeas	(Dt) M	icropelecipodos	(Mpcp)
	Nautiloideo (Ch	<ul> <li>d) lcnofosiles</li> </ul>	(Inf) Carofitas	(Osc) M (Crf) M	licrogasteropodos	(Mgrp) (Mmc)
Artropodos (Atp)	Amonites (Ar	nm) Anelidos	(And) Conodontes	(Cd) Ic	hthyolithos	(iti)
Trilobites (Tril)	Coloidea (Cl	d) Otros	Cocolitoforidos	s (Dct) O	tros	
		Tenenes Identifi	adas as la musates			
Pagistra Interna	1	Taxones Identition	ados en la muestra			abrou
Registro Interno		N	ombre específico			abrev.
1	1 Calyptraea sp.					(Mgrp)
	2 Micropelecipo	dos ind.				(Mpcp)
	Equinoideos in	id.(espinas)				(Eq)
	5					
	6					
	7					
	9					
1	D					
U	nidad Bioestrat	igráfica		Geocra	onología	
Zona:			Edad: Recien	nte		
		Litología			Biofacie	s
Tipo:Arena bioclastica						
		Paleo	ambiente			_

Kingemn	NET			FORM	ATOS	5			Código : D Versión : O Aprobado por: DL	0 0
insaturo Geológico Minero y I	netalurgico		INFO	ORME PAL	EONTO	LÓGIC	0		Página : 1	OCT. 200 de 1
Ficha Nº:				Datos	General	Referen	ncia:So	licitud N	° 003-2008INGEM	MET/DGAR
Muestra		PCB-03-A		Colector	Contra	Car	rlos Bena	avente	Fecha de recepción	18 Set 2008
Description		04.40								
Proyecto: Cuadrángulo	-	GA-18	-	Pisco		Hoia			1	
oddarangalo	-			1000		Trioja				
Ubicación Política	_	Tamba da I								
Distrito	-		viora	Provincia	_	Pisco			Departamento	Ica
Ubicación Geograf	ica (Co	ordenadas l	JTM)	IT-to: 05		Instan	-		2	1
Norte	-	371	278	Este: 85	11102	Datum	1		Zona	18
Macrofósilos				Taxones abr	eviaturas	Microf	heiloe			
Pelecipodos (Pc	p)	Briozoarios	(Brz)	Conularias	(Cnl)	Foramin	iferos	(For)	Silicoflagelados	(Scf)
Gasterópodos (Gr	p)	Corales	(Crl)	Plantas	(PI)	Radiolar	ios	(Rad)	Dinoflagelados	(Scf)
Braquiópodos (Br	))	Graptolitos	(Grl)	Algas	(Alg)	Diatome	as	(Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)
Equinoideos (Eq	)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados	(Veb)	Ostráco	dos	(Osc)	Microgasteropodo	os (Mgrp)
Equinodermos (Eq	d)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles	(Inf)	Carofita	s	(Crf)	Micromoluscos	(Mmc)
Artropodos (Al	in)	Coloideo	(Amm)	Aneiidos	(And)	Conodo	forider	(Cd)	Otros	(111)
Thooles (11	")	Coloidea		Ouos	-	Coconto	iondos	(Det)	Otros	
			Та	xones identif	icados el	n la mues	itra			
Registro inter	no	(C		1	lombre e	específico	D			abrev.
	1	Donax man	corensis	Olson		_	-			(Mpcp)
	2									(mpop)
	3									
	4									
	6									
	7									
	8									
	10		-			_				
	lin	idad Bioest	ratioráfi	ca				Ge	ocronología	-
Zona:	UI	liudu Divest	lauyian	ua		Edad: F	Recient	e	ocronologia	
			Lit	ología					Biofac	ies
Tipo:Arena cuarzo	sa									
				Paleo	ambient	te				
Observación				itoral						
Observacion				Unided Life	o o c fro ti	ráfica				
Nombre:				Uniuau Li	Oesuau	Jianca				
Observación:										
								-		
	200	Martin	-					abgico !	Minero	
Moree	termin	ado por		-				B DIN	CION E	
De		and hos					1	uto	ATORIOS	
Ing. María	del Carr	nen Morales H.						STIL LABOR	3	
Laborato	rio de l	Paleontologia						WGE	MME	
1	NGEM	MET								

Home bouges where y manuface	INF	ORME PALEONTO		Fecha aprob	
		on the PALEON TO	DLOGICO	LJ Página ∶1 d	OCT. 20 le 1
Ficha Nº:		Datos Genera	Referencia:Solicitud N les	1° 003-2008INGEMM	ET/DGA
Muestra	PCB-03-B	Colector	Carlos Benavente	Fecha de recepción 1	18 Set 2008
Provecto:	GA-18			a.a	_
Cuadrángulo		Pisco	Hoja		
Ibianaián Dalítica					
Sitio:	Tambo de Mora				
Distrito		Provincia	Pisco	Departamento	lca
Ibiancián Constantion //					
Ubicación Geografica (C Norte	371278	Este: 8511102	Datum	Zona	18
		Taxones abreviatura	s (abrev.)		
Macrofósiles			Microfósiles		
Pelecipodos (Pcp)	Briozoarios (Brz)	Conularias (Cnl)	Foraminiferos (For)	Silicoflagelados	(Scf)
Gasterópodos (Grp)	Corales (Crl)	Plantas (Pl)	Radiolarios (Rad)	Dinoflagelados	(Scf)
Braquiópodos (Brp)	Graptolitos (Grl)	Algas (Alg)	Diatomeas (Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)
Equinoideos (Eq)	Crinoideo (Cr)	Vertebrados (Veb)	Ostrácodos (Osc)	Microgasteropodos	(Mgrp)
Equinodermos (Eqd)	Nautiloideo (Ntl)	Icnofosiles (Inf)	Carofitas (Crf)	Micromoluscos	(Mmc)
Artropodos (Atn)	Amonites (Amm)	Anelidos (And)	Conodontes (Cd)	Ichthyolithos	(Itt)
Trilobites (Tril)	Coloidea (Cld)	Otros	Cocolitoforidos (Dct)	Otros	(iu)
	<u></u>			the state	
Pagistro Interno	Ta	axones identificados e	n la muestra		abrou
Registro Interno		Nombre	especifico		abrev
	1 Ampullina grossa (	Deshayes)			(Mgrp)
	2 Mactromeris sp.				(Mpcp)
	4				
	5				
	6				
	8				
	9				
1	0				
U	nidad Bioestratigráf	ica	Ge	eocronología	
20118.			Luau. Neclente		
	Li	tología		Biofaci	86
Tipo:Arena cuarzosa					-
		Paleoambien	te		
Observación:		Litoral			_
Nombre:		Unidad Litoestrati	gráfica		
Observación:				~	
Marco del C Determi	nado por	-	ologico Mi	nerous	
			29 DIRU	NON BILL	

Intercongenetivery Margee         INFORME PALEONTOLÓGICO         Fecha apròb 2 3 0.C1. 20 Página 2 1 de 1           Ficha N°:         Referencia: Solicitud N° 003-2008INGEMMET/DGAI           Muestra         PCB-03-C         Colector         Carlos Benaverile         Fecha apròb 2         3 0.C1. 20 Página 2 1 de 1           Muestra         PCB-03-C         Colector         Carlos Benaverile         Fecha de recepción 18 Set 2008           Proyecto:         GA-18	NINGE	MMET			FORMATO	S			Código : DL Versión : 00 Aprobado por: DL	-F-107
Referencia: Solicitud N° 003-2008INGEMMET/DGA/         Datos Generales         Muestra       PCB-03-C       Colector       Carlos Benavente       Fecha de recepción 18 Set 2008         Proyecto:       GA-18       Cuadrángulo       Pisco       Hoja         Ubicación Política       Tambo de Mora       Pisco       Departamento       Ica         Distrito       Imanbo de Mora       Pisco       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Taxones abreviaturas (abrev.)       Macrofósiles       Microfósiles       Silicoffageiados       (Scf)         Bastorópodos (Pop)       Brizozarios (Brz)       Conularías (Cni)       Foraminificos (For)       Silicoffageiados (Scf)       Scleatorópodos (Pop)       Graptolitos (Gri)       Algas (Alg)       Diatomeas (D)       Microfosiles (Mgrz)         Barquiópodos (Pop)       Graptolitos (Gri)       Algas (Alg)       Diatomeas (D)       Microfosiles (Mgrz)       Scleatorópodos (Mgrz)       Scleatorópodos (Cop)       Coriogeastoropodos (Mgrz)       Equinodermos (Cor)       Microfitas (Cri)       Microfitas (Cri)       Microfitas (Mgrz)         Equinodermos (Eqd)       Namitolido (NiII)       Londosis (And)       Conodontes (Cd)       Otros       (Mgrz)         Initiotites (Tri)       Coledea (Cki)       Otros	<ul> <li>Instituto Geológico M</li> </ul>	ilinero y Metalúrgico		INFC	ORME PALEONT	OLÓGIC	0		Fecha aprob 23 Página :1 d	OCT. 200 le 1
Muestra         PCB-03-C         Colector         Carlos Benavente         Fecha de recepción 18 Set 2005           Proyecto:         GA-18	Ficha Nº:				Datos Genera	Referen	cia:Soli	citud N	° 003-2008INGEMM	ET/DGAR
Proyecto:       GA-18         Cuadrángulo       Pisco       Hoja         Ubicación Política       Sito:       Tambo de Mora         Distrito       Provincia       Pisco       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Norte       371278       Este:       8511102       Datum       Zona       18         Taxones abreviaturas (abrev.)         Macrofósilles         Pelecipodos (Pcp)       Briozoarios (Br2)       Conularias (Cril)       Foraminíferos (For)       Silicoflagelados (Scf)         Braquipodos (Brp)       Grapholitos (Gril)       Agaloarios (Pcp)       Braquipodos (Mapp)       Distordeset (Marphices (Marphices (Pril))         Equinoideos (Eq)       Grapholitos (Gril)       Agas (Ag)       Diatomesa (De)       Microfósilos (Marphices (Marphices (Pril))       Corofitas (Cril)       Microfosilos (Marphices (Marphices (Pril))       Corofitas (Cril)       Micromoluscos (Marphices (Marphices (Pril))       Corolotitas (Cril)       Microfosilos (Marphices (Pril))       Corolitoforidos (Det)       Otros       Microfosilos (Det)       Otros         Triobites       (Tril)       Coloidea (Cld)       Otros       Cocolitoforidos (Det)       Otros       Microfosilos (Det)       Otros         Unidad Bioestratigráfica       Geocronología<	Muestra		PCB-03-C		Colector	Car	los Bena	vente	Fecha de recepción 1	8 Set 2008
Induction       Disco       Hoja         Ubicación Política       Sitio:       Tambo de Mora         Sitio:       Tambo de Mora       Pisco       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Norte       371278       Este:       8511102       Datum       Zona       18         Taxones abreviaturas (abrev.)         Macrofósiles         Polecipodos (Pop)       Briozoarios (Brz)       Conularias (Cri)       Foraminiferos (For)       Silicoftagelados (Scf)         Gastarópodos (Erp)       Grapiciotos (Orr)       Vertebrados (Veb)       Diatomesa (Dr)       Micropelecipodos (Morp)         Equinodermos (Eqd)       Nauticideo (Nti)       Ienofosiles (Inf)       Carofitas (Crf)       Microneluscos (Mmrc)         Artropodos (Rtp)       Granites (Amm)       Anelidos (Anf)       Carofitas (Crf)       Microneluscos (Mmrc)         Attropodos (Eqd)       Nauticideo (Nti)       Ienofosiles (Inf)       Conditoridos (Dot)       Otros       Citalityoititos         Triboites (Tri)       Coloidea (Cld)       Otros       Microroluscos (Mmrc)       Conditoridos (Dot)       Otros       Micropolecipodos (Mmrc)         2       Intointer (Interno       Nombre especifico       abrev.       abrev.       Interver       abrev. </td <td>Dravacto:</td> <td></td> <td>CA 19</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	Dravacto:		CA 19							
Ubicación Política         Sitio:       Tambo de Mora         Distrito       Provincia       Pisco       Departamento       Ica         Ubicación Geografica (Coordenadas UTM)       Norte       371278       Este:       8511102       Datum       Zona       18         Taxones abreviaturas (abrev.)         Microfósiles         Pelecipodos (Pcp)       Briozoarios (Brz)       Conularias (Cni)       Foraminiferos (Ref)       Dinoftagelados       (Scf)         Gasterópodos (Brp)       Corales (Cri)       Plantas (Pi)       Diadomesa (Di)       Microfósiles         Pelecipodos (Brp)       Coralos (Cri)       Vertebrados (Veb)       Diadomesa (Di)       Micropalecipodos (Morp)         Equinodermos (Eqd)       Nautiloideo (Nti)       Ienofosiles (Inf)       Araso (Cri)       Carofitas (Cri)       Microfosiles (Mmc)         Artopodos       (Ap)       Aronites (Amm)       Aneitos (And)       Cocolitoforidos (Det)       Otros         Taxones identificados en la muestra         Texones identificados en la muestra         Microfísics (Inf)         A	Cuadrángulo		GA-10	F	Pisco	Hoia			1	
Ubicación Política Sitio: Tambo de Mora Distrito Tambo de Mora Distrito Provincia Pisco Departamento Ica Ubicación Geografica (Coordenadas UTM) Norte 371278 Este: 8511102 Datum Zona 18 Taxones abreviaturas (abrev.) Macrofósiles Macrofósiles Pelecipodos (Grp) Corales (Crf) Plantas (Pl) Foraminiferos (For) Silicoflagelados (Scf) Gastarópodos (Grp) Graptolitos (Grf) Algas (Alg) Diatomeas (Dv) Micropelecipodos (Mpcp) Equinoldeor (Eq) Conidea (Crl) Plantas (Pl) Garítas (Crf) Micropolecipodos (Mpcp) Equinodermos (Eq) Nautiloideo (Nti) Icnofesiles (Inf) Coroider (Cd) Ichthyolithos (Iti) Foraminotos (Cd) Nautiloideo (Nti) Icnofesiles (Inf) Coloidea (Cld) Otros Taxones identificados en la muestra Registro Interno Nombre específico abrev. 1 Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas) (Mmc) 2 3 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5						1				
Silio: Tambo de Mora Distrito Provincia Provincia Provincia Pisco Departamento Ica Distrito Ubicación Geografica (Coordenadas UTM) Norte 371278 Este: 8511102 Datum Zona 18 Taxones abreviaturas (abrev.) Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Briozoarios (Brz) Conularias (Cri) Prantia (Pisco Micropásiles Pelecipodos (Grp) Corales (Cr) Piantas (Pi) Radiolarios (Rad) Dindlagelados (Scf) Braquiópodos (Brp) Graptolitos (Gri) Algas (Alg) Diatomeas (Dt) Micropelecipodos (Mgrp) Graptolitos (Gri) Algas (Alg) Diatomeas (Dt) Micropelecipodos (Mgrp) Graptolitos (Gri) Algas (Alg) Diatomeas (Dt) Micropelecipodos (Mgrp) Graptolitos (Gri) Algas (Alg) Condontes (Cd) Lichthyolithos (Mmc) Condontes (Cd) Lichthyolithos (Iti) Coclidea (Cid) Otros  Taxones identificados en la muestra  Registro interno Nombre específico abrev. (Mmc)  Condontes (Cd) Lichthyolithos (Iti) Lichodsiles (Inf) Coclider (Cd) Otros (Iti) Coclider	Ubicación Polí	tica								
Ubicación Geografica (Coordenadas UTM) Norte 371278 Este: 8511102 Datum Zona 18 Taxones abreviaturas (abrev.) Macrofósiles Interno Korp Briczoarios (Brz) Conularias (Cni) Foraminiferos (For) Silicoflagelados (Sci) Gasterópodos (Grp) Corales (Cri) Plantas (Pl) Radiolarios (Rad) Dinoflagelados (Sci) Braquiópodos (Brp) Graptolitos (Gri) Algas (Alg) Diatomeas (Dt) Micropelecipodos (Mpcp) Equinodermos (Eqd) Nautiloideo (Nti) Icnofosiles (Inf) Carofitas (Cri) Micropelecipodos (Mprp) Equinodermos (Eqd) Nautiloideo (Nti) Icnofosiles (Inf) Carofitas (Cri) Micropelecipodos (Mprp) Trilobites (Tril) Coloidea (Cld) Otros (Corolontes (Cd) Ichthyolithos (Iti) Trilobites (Tril) Coloidea (Cld) Otros (Corolontes (Cd) Ichthyolithos (Iti) Trilobites (Tril) Coloidea (Cld) Otros (Corolontes (Cd) Ichthyolithos (Iti) Trilobites (Inf) Amenites (Amm) Anelidos (And) Conodontes (Cd) Ichthyolithos (Iti) Trilobites (Tril) Coloidea (Cld) Otros (Corolontes (Cd) Ichthyolithos (Iti) Taxones identificados en la muestra Registro interno Nombre específico abrev. 1 Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas) (Mmc) 4 5 6 7 8 9 10 Unidad Bioestratigráfica Geocronología Zona: Etdad: Reciente Paleoambiente	Sitio:		Tambo de N	lora	Provincia	Pisco			Departamento	Ica
Ubicación Geografica (Coordenadas UTM) Norte 371278 Este: 8511102 Datum Zona 18 Taxones abreviaturas (abrev.) Macrofósiles Macrofósiles Pelecipodos (Pcp) Briozoarios (Brz) Conularias (Cnl) Foraminiferos (For) Silicoflagelados (Scf) Gasterópodos (Grp) Graptolitos (Grl) Algas (Alg) Diatomeas (Dt) Micropelecipodos (Mpcp) Equinoidocos (Eq) Crinoideo (Cr) Vertebrados (Veb) Ostrácodos (Osc) Micropelecipodos (Mgrp) Equinoidos (Atp) Amonites (Amm) Anelidos (And) Condontes (Cd) Ichthyolithos (Itt) Trilobites (Tril) Coloidea (Cld) Otros Cocolitoforidos (Dct) Otros (Itt) Traxones identificados en la muestra Registro interno Nombre específico abrev. 1 Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas) (Mmc) 2 1 1 Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas) (Mmc) 2 3 4 4 5 6 6 7 10 Unidad Bioestratigráfica Geocronología Zona: Etitología Biofacies Tipo:Arena Paleoambiente	Disulto		-		TIOVINCIA	1 1300			Dopartamento	iva
Norte     371278     Este:     8511102     Datum     Zona     18       Taxones abreviaturas (abrev.)       Macrofósiles     Microfósiles       Pelecipodos     (Pcp)     Briozoarios (Brz)     Conularias (Cnl)     Foraminiferos (For)     Silicoflagelados (Scf)       Braquiópodos     (Frp)     Caratelicos (Grr)     Plantas     (P)     Radiolarios (Rad)     Micropelecipodos (Mpcp)       Equinoideos     (Eq)     Crinoideo (Cr)     Vertebrados (Veb)     Ostrácodos (Osc)     Micromoluscos (Mmc)       Equinoideor     (Fq)     Nautilioideo (Ntl)     Icnofosiles (Inf)     Carofitas     (Cr)     Micromoluscos (Mmc)       Equinoideormos     (Eqd)     Nautilioideo (Ntl)     Icnofosiles (Inf)     Carofitas     (Cr)     Micromoluscos (Mmc)       Coloidea     (Cld)     Otros     Condontes (Cod)     Ichthyolithos (It)     (It)       Trikoites     (Trii)     Coloidea     (Cld)     Otros     Condontes (Cod)     Ichthyolithos (It)       Trikoites     (Trii)     Coloidea     (Cld)     Otros     Ichthyolithos     (It)       Trikoites     (Ithicomoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     (Mmc)     Ichthyolithos     Ithicomoluscos       1     Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     Ichthyolithos     Ichthyolithos <t< td=""><td>Ubicación Geo</td><td>grafica (Co</td><td>ordenadas U</td><td>JTM)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>	Ubicación Geo	grafica (Co	ordenadas U	JTM)						
Taxones abreviaturas (abrev.)         Macrofósiles       Microfósiles         Macrofósiles       Microfósiles         Pelecipodos (Grp)       Briozoarios (Brz)       Conularias (Cril)       Praminiferos (For)       Silicoflagelados (Scf)         Gasterópodos (Brp)       Graptolitos (Grl)       Algas (Alg)       Diatomeas (Dt)       Micropelecipodos (Mpcp)         Equinoideos (Eq)       Nautiloideo (Ntil)       Icnofosiles (Inf)       Carofitas (Crif)       Micropelecipodos (Mgrp)         Equinoideos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos (Itt)         Artropodos (Atp)       Amonites (Cid)       Otros       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos (Itt)         Trilobites (Tril)       Coloidea (Cid)       Otros       Cocolitoforidos (Det)       Otros         Taxones identificados en la muestra         Registro interno       Nombre específico       abrev.         1       Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)       (Mmc)       (Mmc)         2       1       1       1       1         4       1       1       1       1       1         5       1       1       1       1       1         6       1       1	Norte	_	3712	.78	Este: 8511102	Datum			Zona	18
Macronosiles     Micronosiles       Pelecipodos (Pcp)     Briozoarios (Brz)     Conularias (Cni)       Gasterópodos (Grp)     Corales (Cr)     Plantae (P)       Braquiópodos (Brp)     Graptolitos (Gri)     Agas       Gasterópodos (Eq)     Crinoideo (Cr)     Vertebrados (Veb)       Equinodermos (Eqd)     Nautioideo (Nti)     Lienofosiles (Inf)       Carolítas (Cri)     Nautioideo (Nti)     Lienofosiles (Inf)       Carolítas (Cri)     Nautioideo (Nti)     Lienofosiles (Inf)       Carolítas (Cri)     Nautioideo (Nti)     Condontes (Cd)       Initioma (Crino) (Loco)     Otros       Coloidea (Cld)     Otros       Interno     Nombre específico       1     Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)       2					Taxones abreviatura	s (abrev.)				_
Artopolos     (Gr)     Corales (Cr)     Plantas (Cri)     Plantas (Cri)     Plantas (Cri)     Dinoflagelados (Cr)       Braquiópodos (Brp)     Graptolitos (Gri)     Algas (Alg)     Diatomeas (Dt)     Micropelecipodos (Mgp)       Equinodermos (Eq)     Crinoideo (Cr)     Vertebrados (Veb)     Datadas (Cri)     Micropaletos (Mgp)       Equinodermos (Eq)     Nautiloideo (Nti)     Icnofosiles (Inf)     Carofitas (Cri)     Micropaletopods (Mgp)       Carofitas (Trii)     Amonites (Amm)     Anelidos (And)     Condontes (Cd)     Dinoflagelados (Mgp)       Trilobites (Trii)     Coloidea (Cld)     Otros     Corolidos (Dc)     Dirothypelthos (Iti)       Taxones identificados en la muestra       Registro interno     Nombre específico       Abrev.       1       Micropaluscos ind. (Valvas fragmentadas)     (Mmc)       Quindad Bioestratigráfica       Geocronología       Dinoflagelados (Scr)       Microgasteropodos (Mgr)       Coloidea (Cld)       Otros       Taxones identificados en la muestra       Microgasteropodos (Mmc)       Abrev.       1       Microgasteropodos (Mmc)       Otros <td>Macrofosiles Pelecipodos</td> <td>(Pcn)</td> <td>Briozoarios</td> <td>(Brz)</td> <td>Conularias (Col)</td> <td>Foramin</td> <td>siles</td> <td>(For)</td> <td>Silicoflagelados</td> <td>(Scf)</td>	Macrofosiles Pelecipodos	(Pcn)	Briozoarios	(Brz)	Conularias (Col)	Foramin	siles	(For)	Silicoflagelados	(Scf)
Braquiópodos (Brp)     Graptolitos (Grl)     Algas     (Alg)     Diatomeas     (Dt)     Micropelecipodos     (Mpcp)       Equinoideos (Eq)     Nautiloideo (Nt)     Ienofosiles (Inf)     Ostrácodos (Osc)     Micropelecipodos (Mgrp)       Artropodos (Atp)     Amonites (Amm)     Anelidos (And)     Cocolitoforidos (Dct)     Micropelecipodos (Mgrp)       Trilobites (Tril)     Coloidea (Cld)     Otros     Cocolitoforidos (Dct)     Micropelecipodos (Mgrp)       Taxones identificados en la muestra       Registro interno     Nombre específico     abrev.       1     Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     (Mmc)       2     1     4       5     1     6       6     1     1       9     10     Indicomoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     1       9     10     Indicomoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     1       9     10     Indicomoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     1       10     Indicomoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     1     Indicomoluscos ind. (Valvas fragmentadas)       6     1     1     1     1       10     1     1     1     1       10     1     1     1     1       10     1     1     1     1	Gasterópodos	(Grp)	Corales	(Crl)	Plantas (Pl)	Radiolari	os	(Rad)	Dinoflagelados	(Scf)
Equinoideos (Eq) Crinoideo (Cr) Vertebrados (Veb) Carofitas (Cr) Microgasteropodos (Mgrp) Artropodos (Atp) Amonites (Amm) Anelidos (And) Cocolitoforidos (Dct) Otros (itt) Ichthyolithos (itt) Cocolitoforidos (Dct) Otros (itt) Cocolitoforidos (Dct) Cocolitoforidos (Dct) Otros (itt) Cocolitoforidos (Dct) Otros (it	Braquiópodos	(Brp)	Graptolitos	(Grl)	Algas (Alg)	Diatome	as	(Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)
Equinodermos (Eqd)       Nautilioideo (Nti)       Icnofosiles (Inf)       Carofitas (Crf)       Micromoluscos (Mmc)         Artropodos (Atp)       Amonites (Amm)       Anelidos (And)       Conodontes (Cd)       Ichthyolithos (Iti)         Trilobites (Trii)       Coloidea (Cld)       Otros       Conodintes (Cd)       Ichthyolithos (Iti)         Taxones identificados en la muestra         Taxones identificados en la muestra         Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)         1       Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)       (Mmc)         2	Equinoideos	(Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados (Veb)	Ostrácoo	los	(Osc)	Microgasteropodos	(Mgrp)
Artropodos (Ap) Amonites (Amm) Aneidos (And) Condonites (Cd) Ichthyolithos (Iti) Trilobites (Tril) Coloidea (Cld) Otros Cocolitoforidos (Dct) Otros (Iti) Taxones identificados en la muestra Registro interno Nombre específico abrev. 1 Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas) (Mmc) 2	Equinodermos	(Eqd)	Nautiloideo (	(Ntl)	Icnofosiles (Inf)	Carofitas	3	(Crf)	Micromoluscos	(Mmc)
Taxones identificados en la muestra       Registro interno     Nombre específico     abrev.       1     Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     (Mmc)       2	Artropodos	(Atp)	Amonites (	(Amm)	Anelidos (And)	Conodor	ites	(Cd)	Ichthyolithos	(11)
Taxones identificados en la muestra         Registro interno       Nombre específico       abrev.         1       Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)       (Mmc)         2	Thobites	(110)	Coloidea		Olios	Cocontor	ondos	(DCI)	Ollos	_
Registro interno     Nombre específico     abrev.       1     Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     (Mmc)       2				Та	xones identificados (	en la mues	tra			
1     Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     (Mmc)       2     4       3     5       4     5       6     6       7     6       9     6       10     6       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología       Tipo:Arena     Biofacies	Registro i	nterno	1.00	_	Nombre	especifico	)			abrev.
1     Micromoluscos ind. (Valvas fragmentadas)     (Mimc)       2     3										
3     1       4     1       5     1       6     1       7     1       8     1       9     1       10     1       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología       Tipo:Arena     Biofacies       Paleoambiente		1	Micromolus	cos ind. (	Valvas fragmentadas	)				(Mmc)
4     5       5     6       7     6       7     6       8     6       9     6       10     10       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Zona:       Litología       Biofacies       Tipo:Arena       Paleoambiente		3								
5     6       7     6       7     6       8     6       9     6       10     6       Unidad Bioestratigráfica       Geocronología       Zona:       Litología       Biofacies       Tipo:Arena       Paleoambiente		4								
6     7       7     8       9     10       10     10       Geocronología       Zona:       Litología       Biofacies       Tipo:Arena       Paleoambiente		5						_		
8 9 10 Unidad Bioestratigráfica Geocronología Zona: Edad: Reciente Litología Biofacies Tipo:Arena Paleoambiente		6					_	_		
9 10 Unidad Bioestratigráfica Geocronología Zona: Edad: Reciente Litología Biofacies Tipo:Arena Paleoambiente		8								
10     Geocronología       Unidad Bioestratigráfica     Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología     Biofacies       Tipo:Arena     Paleoambiente		9								
Unidad Bioestratigráfica     Geocronología       Zona:     Edad: Reciente       Litología     Biofacies       Tipo:Arena     Paleoambiente		10								
Zona: Edad: Reciente Litología Biofacies Tipo:Arena Paleoambiente		Un	idad Bioestr	ratigráfic	ca			Ge	ocronología	
Litología Biofacies Tipo:Arena Paleoambiente	Zona:					Edad: R	eciente			
Litología Biofacies Tipo:Arena Paleoambiente				-						
Tipo:Arena Paleoambiente	T			Lite	ología				Biofacie	s
Paleoambiente	Tipo:Arena									-
					Paleoambier	ite				
Observación: Litoral	Observa	ción:		L	itoral					
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica	Observa	ción:		L	itoral Unidad Litoestrat	igráfica				
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre:	Observa Nombre:	ción:		L	itoral Unidad Litoestrat	igráfica				
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación:	Observa Nombre: Observación:	ción:		L	itoral Unidad Litoestrat	igráfica				
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación:	Observa Nombre: Observación:	ción:		L	itoral Unidad Litoestrat	igráfica	Lat	Mina		
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación: Observación:	Observa Nombre: Observación:	ción:	R. Land	L	itoral Unidad Litoestrat	igráfica	abgier and a second	Miner of	a)	
Observación: Litoral Unidad Litoestratigráfica Nombre: Observación: Observación:	Observa Nombre: Observación:	ción: Mane du Determina	R. Lundo Ido por	E	itoral Unidad Litoestrat	igráfica	log a bi	Miner of	Malaria	
Observación:     Litoral       Unidad Litoestratigráfica       Nombre:     Observación:       Observación:     Observación:       Determinado por     Determinado por	Observa Nombre: Observación:	ción: Marce du Determina	Re Lionals	6 6	itoral Unidad Litoestrat	igráfica	1000 DI	Minera-	All Martin Back	
Observación:     Litoral       Unidad Litoestratigráfica       Nombre:     Observación:       Observación:     Observación:       Determinado por     Determinado por       Ing. María del Carmen Morales 8, María del Carm	Observa Nombre: Observación:	ción: Mance cu Determina Varía del Ca	Ro por	E e	itoral Unidad Litoestrat	igráfica	Contraction of the second seco	Miner	Michallinger	

Ficha Nº:			PAI	FONTO			Fecha aprob	3 0	CT 200
Ficha Nº:				LONTO	200100		Página :	1 de	1
1.4. contraction			Datos	General	Referencia:So	licitud N <sup>e</sup>	003-2008INGEN	IME	T/DGAR
Muestra	PCB-03-D	Cole	ector		Carlos Ben	avente	Fecha de recepció	n 18	Set 2008
Proyecto:	GA-18							_	
Cuadrángulo		Pisco			Hoja				
		1							
Obicación Política	Tambo de Mo	ora							
Distrito		Prov	vincia		Pisco		Departamento		lca
								-	
Ubicación Geografica (	Coordenadas UT	FM)			Detur		12	-	12
Norte	37127	8 Este	9: 8	511102	Datum		Zona	_	18
Magrafágilag		Taxor	nes abr	eviaturas	(abrev.)			_	
Pelecipodos (Pcn)	Briozoarios (	Brz) Con	ularias	(Cnl)	Foraminiferoe	(For)	Silicoflagelados	-	(Scf)
Gasterópodos (Grp)	Corales (C	Crl) Plan	tas	(PI)	Radiolarios	(Rad)	Dinoflagelados		(Scf)
Braquiópodos (Brp)	Graptolitos (C	Grl) Alga	s	(Alg)	Diatomeas	(Dt)	Micropelecipodo	s	(Mpcp)
Equinoideos (Eq)	Crinoideo (C	Cr) Vert	ebrados	(Veb)	Ostrácodos	(Osc)	Microgasteropod	los	(Mgrp)
Equinodermos (Eqd)	Nautiloideo (N	Icno	fosiles	(Inf)	Carofitas	(Crf)	Micromoluscos		(Mmc)
Artropodos (Atp) Trilobites (Tril)	Amonites (A	Amm) Ane	Idos	(And)	Conodontes	(Cd)	Otros		(10)
mobiles (m)	Coloidea (C		5		Cocontorondos	(DCI)	Ouos	_	_
		Taxones	identif	icados er	la muestra				
Registro interno			1	Nombre e	specífico				abrev.
	10	: 01						-	
	1 Donax mance	orensis Olsor	1						(pcp)
	3	sp.						10	ipcp)
	4							+	
	5								
	6							+	
	8					_		+	
	9							+	
	10								
	Inidad Bioestra	atigráfica				Geo	ocronología		
Zona:					Edad: Recient	e			
					and the second second				
and the second		Litología					Biofa	cies	
Tipo:Arena cuarzosa				_					
			Pale	oambient	e				
Tipo:Arena cuarzosa			Pale	oambient	e				
Observación:		Litoral Un	idad Li	toestratiç	Iráfica			_	
Observación:								_	-
Determ Ing. Marfa del ( Laboratorio	inado por Garmen Morales H. Je Paleontología	ſ~			LAB LAG	O Minero DIRECCON BORATORIOS	Malalingico		

KINGEN	IMET			FORM	ATOS	;		Código : D Versión : 00 Aprobado por: DL	L-F-107 )
instituto Geológico Min	aro y Metalúrgico		INFO	RME PAL	EONTO	LÓGICO		Página : 1	OCT. 20 de 1
Ficha Nº;				Datos	General	Referencia:So es	plicitud N	° 003-2008INGEM	MET/DGA
Muestra		PJ-04-A		Colector		Carlos Ber	navente	Fecha de recepción	18 Set 2008
Drougata		CA 19							_
Cuadrángulo		GA-10	P	lisco		Hoia		1	
ouuurungulo				1000		Inoja			
Ubicación Polític	ca								
Sitio:		Jahuay		Dravinaia		Diese		Desertamente	l las
Distrito				Provincia		PISCO		Departamento	Ica
Ubicación Geog	rafica (Co	ordenadas U	(MTI						
Norte		3705	50	Este: 85	15782	Datum		Zona	18
				Taxones abro	eviaturas	(abrev.)			
Macrofósiles						Microfósiles			
Pelecipodos (	Pcp)	Briozoarios	(Brz)	Conularias	(Cnl)	Foraminiferos	(For)	Silicoflagelados	(Scf)
Gasterópodos (	Grp) Brn)	Grantoliton	(Crl) (Grl)	Plantas	(PI) (Ala)	Radiolarios	(Rad)	Dinoflagelados	(Scf)
Equinoideos	(Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados	(Veb)	Ostrácodos	(Osc)	Microgasteropodo	s (Mgrp)
Equinodermos (	Eqd)	Nautiloideo (	(Nti)	Icnofosiles	(Inf)	Carofitas	(Crf)	Micromoluscos	(Mmc)
Artropodos	(Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos	(And)	Conodontes	(Cd)	Ichthyolithos	(Iti)
Trilobites	(Tril)	Coloidea (	(Cld)	Otros		Cocolitoforidos	(Dct)	Otros	
			Ter	one Hantis	ondos s	la musetre			
Registro in	terno		1d)	Nones menum	lombro d	specífico	_		abrev
regiano in	ino			r	Since (	opeoneo			abrev.
1000	1	Micromolus	cos ind.						(Mmc)
	2								
	3								
	4								
	6								
	7								
	8								
	9		_				-		
			ationia				-	an an at a star	
Zona:	Un	idad Bloestr	augrafic	a		Edad: Dealer	Ge	ocronologia	
ZVIId.						Ledad. Recien	10		
			1.2	einole				Disf	ee
Tipo:Arena cuar	zosa		Lito	Jogia				Biotac	105
- por a ona odal				Palor	amhiont	e		-	
Observac	ión:		Li	itoral					_
Nombro:				Unidad Lit	oestratig	grafica			
Observación:									
			-						
5		1	-				bgico Mine,	0.	
M	are dit	Charles	-	- 0.		(eeo	DIPACA	Ma	
	Determin	ado por				uto	- ty	alin	
Ing M	laría del Ce	Irmen Morales	R			titen	LABORATORI	105 6	
Lal	boratorio de	Palaontología				1	WGEMME	5	
		ALACT							

XINGE	MMET			FORMATO	os	Código : [ Versión : C Aprobado por: Dí	DL-F-107 00 L
institute Geologico M	linero y Metalúngico		INFO	ORME PALEONT	TOLÓGICO	Fecha aprob Página :	0CT. 20 de 1
Ficha Nº:				Datos Gener	Referencia:Solicitu	d N° 003-2008INGEM	IMET/DGA
Muestra		PJ-04-B		Colector	Carlos Benavent	e Fecha de recepción	n 18 Set 200
Proyecto:	_	GA-18		Diana	hu-t-		
Cuadrangulo				PISCO	Hoja		
Ubicación Polít	tica						
Sitio:		Jahuay					
Distrito				Provincia	Pisco	Departamento	lca
Ilbionción Con	arofica (Ca	ordonadae					
Norte	granca (CC	370	0550	Este: 8516782	Datum	Zona	18
				Taxones abreviatur	as (abrev.)		
Macrofósiles				Tuxones un criatai	Microfósiles		
Pelecipodos	(Pcp)	Briozoarios	(Brz)	Conularias (Cnl)	Foraminiferos (Fo	r) Silicoflagelados	(Scf)
Gasterópodos	(Grp)	Corales	(Crl)	Plantas (Pl)	Radiolarios (Ra	d) Dinoflagelados	(Scf)
Braquiópodos	(Brp)	Graptolitos	(Grl)	Algas (Alg)	Diatomeas (Dt)	Micropelecipodos	Mpcp)
Equinoideos	(Eq)	Crinoideo	(Cr)	Vertebrados (Veb)	Ostrácodos (Os	c) Microgasteropod	os (Mgrp)
Equinodermos	(Eqd)	Nautiloideo	(Ntl)	Icnofosiles (Inf)	Carofitas (C	rf) Micromoluscos	(Mmc)
Artropodos	(Atp)	Amonites	(Amm)	Anelidos (And)	Conodontes (Cd	) Ichthyolithos	(Iti)
Trilobites	(Tril)	Coloidea	(Cld)	Otros	Cocolitoforidos (Dcl	t) Otros	
		-	To	venes identificados	on la muastra		
Deviates I			1a	xones identificados	en la muestra		1 observe
Registro	nterno			Nombre	e específico		abrev
	1	Donax ma	ncorensis	Olson			(Mpcp)
	2	Equinoided	os ind.	0.0011			(Eq)
	3	Micromolu	scos ind.				(Mpcp)
	4						
	5						
	6						-
	7						-
	9						-
	10						
		idad Biooc	tratiaráfi	<b>C</b> 2		Gaograpología	
	IIm	iuau Dives	uauyran	ua	Edad: Reciente	Geoci onologia	
Zona:	Un				Luad. Reciente		
Zona:	Un						
Zona:	Un		1.14	alagía		Biofo	
Zona: Tipo:Arena cua	Un		Lit	ología		Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un arzosa		Lit	ología		Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un arzosa		Lit	ología Paleoambie	ente	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un arzosa		Lit	ología Paleoambie	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un arzosa		Lit	ología Paleoambie	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un arzosa		Lit	ología Paleoambie	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un arzosa		Lit	ología Paleoambie	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un		Lit	ología Paleoambie	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un		Lit	ología Paleoambie	ente	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un		Lit	ología Paleoambie	ente	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua	Un arzosa		Lit	ología Paleoambie	ente	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua Observa	Un arzosa		Lit	ología Paleoambie _itoral	ente	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua Observa	Un arzosa			ología Paleoambie .itoral Unidad Litoestra	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua Observa Nombre:	Un arzosa			ología Paleoambie .itoral Unidad Litoestra	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua Observa Nombre: Observación:	Un arzosa			ologia Paleoambie .itoral Unidad Litoestra	nte	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua Observa Nombre: Observación:	Un arzosa			ologia Paleoambie 	nte tigráfica	Biofa	cies
Zona: Tipo: Arena cua Observa Nombre: Observación:	Un arzosa ción:	benton	Lit	Dologia Paleoambie Litoral Unidad Litoestra	nte tigráfica	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua Observa Nombre: Observación:	un arzosa ción:		Lit	rologia Paleoambie 	nte tigráfica	Biofa	cies
Zona: Tipo: Arena cua Observa Nombre: Observación:	ción:	benton ado por	Li 	nología Paleoambie Litoral Unidad Litoestra	nte tigráfica	Biofa	cies
Zona: Tipo:Arena cua Observa Nombre: Observación:	ción: Determin g. María del	ado por Cermen Mora	Lit	rología Paleoambie 	nte tigráfica	Biofa	cies
Zona: Tipo: Arena cua Observa Nombre: Observación: In	ción: Determin Ig. María del Laboratorio	ado por Cermen Mora de Peleontolog	Lit	rología Paleoambie 	nte tigráfica	Biofa Biofa	cies

XINGEMMET		FORMATOS	5	Código : DI Versión : 00 Aprobado por: DL	-F-107
ersauro Geológico Minero y Metalàrgico	INF	ORME PALEONTO	DLÓGICO	Página :10	OCT. 200 de 1
Ficha Nº:		Datos Genera	Referencia:Solicitud N les	° 003-2008INGEMN	IET/DGAR
Muestra	PJ-04-C	Colector	Carlos Benavente	Fecha de recepción	18 Set 2008
Description	04.40				
Proyecto: Cuadrángulo	GA-18	Pisco	Hoia	1	
oudurariguio		11300	Поја		
Ubicación Política					
Sitio:	Jahuay	Provincia	Disco	Departamento	Ica
Distrito		Frovincia	11300	Departamento	ica
Ubicación Geografica (C	oordenadas UTM)				
Norte	370550	Este: 8516782	Datum	Zona	18
		Taxones abreviatura	s (abrev.)		_
Macrofósiles	Priozoarias (Prz)	Copulation (Cpl)	Microfósiles	Silicoflagolados	(200)
Gasterópodos (Grp)	Corales (Crl)	Plantas (Pl)	Radiolarios (Rad)	Dinoflagelados	(Scf)
Braquiópodos (Brp)	Graptolitos (Grl)	Algas (Alg)	Diatomeas (Dt)	Micropelecipodos	(Mpcp)
Equinoideos (Eq)	Crinoideo (Cr)	Vertebrados (Veb)	Ostrácodos (Osc)	Microgasteropodos	s (Mgrp)
Equinodermos (Eqd)	Nautiloideo (Ntl)	Icnofosiles (Inf)	Carofitas (Crf)	Micromoluscos	(Mmc)
Trilohites (Tril)	Coloidea (Cld)	Arielidos (Arid) Otros	Cocolitoforidos (Dct)	Otros	(iu)
(111)	colorada (ola)	0100	Cooling (Boly	0000	_
and the second	T	axones identificados e	n la muestra		
Registro interno		Nombre	específico		abrev.
		in Olean			(Mpop)
	2 Micromoluscos ind	SOISON			(Mmc)
	3				(
	4				
	5				
	7				
	8				
	9				
1					
U	nidad Bioestratigráf	lica	Ge	ocronología	
Zona:			Edad: Reciente		-
		itología		Biofaci	00
Tipo: Arena cuarzosa		itologia		Diolaci	00
		Paleoambien	te		
		T ulcoumbien			
					-
Observación:		Litoral			
		Unidad Litoestrati	gráfica		
Nombre:					-
Observacion:					
			aico Miner		
Maree dill	- Auros		000		
Determi	nado por		OT DIREGOION	ralti	
Ing Marladal Co	rmen Morales B		LABOR TORIOS	/	
Laboratorio de	Paleentolegia		WGEMME		
INCE	MMET				

Ficha Nº: Ficha Nº: Muestra Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (Co Norte Macrofósiles	INFC PJ-04-D GA-18 Jahuay ordenadas UTM) 370550	Datos General Colector Pisco	PLÓGICO Referencia:Solicitud N' es Carlos Benavente Hoja Pisco	Página 23 Página 10 Pólina 23 Página 2008INGEMM Fecha de recepción 1	Ica
Ficha Nº: Muestra Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (Co Norte <b>Macrofósiles</b>	PJ-04-D GA-18 Jahuay ordenadas UTM) 370550	Datos General Colector Pisco Provincia	Referencia:Solicitud N es Carlos Benavente Hoja	P 003-2008INGEMM	IET/DGA
Muestra Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (Co Norte <b>Macrofósiles</b>	PJ-04-D GA-18 Jahuay ordenadas UTM) 370550	Colector Pisco Provincia	Carlos Benavente Hoja Pisco	Fecha de recepción 1	I8 Set 200
Proyecto: Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (Co Norte <b>Macrofósiles</b>	GA-18 Jahuay ordenadas UTM) 370550	Pisco	Hoja Pisco	Departamento	lca
Cuadrángulo Ubicación Política Sitio: Distrito Ubicación Geografica (Co Norte <b>Macrofósiles</b>	Jahuay ordenadas UTM) 370550	Pisco Provincia	Hoja Pisco	Departamento	lca
Ubicación Política Sitio: Distrito Jbicación Geografica (Co Norte <b>Macrofósiles</b>	Jahuay ordenadas UTM) 370550	Provincia	Pisco	Departamento	Ica
Sitio: Distrito Ubicación Geografica (Co Norte Macrofósiles	Jahuay ordenadas UTM) 370550	Provincia	Pisco	Departamento	lca
Distrito Ubicación Geografica (Co Norte <b>Macrofósiles</b>	ordenadas UTM) 370550	Provincia	Pisco	Departamento	lca
Ubicación Geografica (Co Norte <b>Macrofósiles</b>	ordenadas UTM) 370550				
Norte Macrofósiles	370550				
Macrofósiles		Este: 8516782	Datum	Zona	18
Macrofósiles		Taxones abreviatura:	s (abrev.)		
Delesinedes (Dec)	Delementary (Dee)	Considering (Col)	Microfósiles	Cilia Banaladaa	(0-0
Gasterópodos (Grp) Gasterópodos (Grp) Eraquiópodos (Brp) Equinoideos (Eq) Equinoidermos (Eqd) Artropodos (Atp) Trilobites (Tril)	Corales (Crl) Graptolitos (Grl) Crinoideo (Cr) Nautiloideo (Ntl) Amonites (Amm) Coloidea (Cld)	Plantas (Pl) Algas (Alg) Vertebrados (Veb) Icnofosiles (Inf) Anelidos (And) Otros	Radiolarios (Rad) Diatomeas (Dt) Ostrácodos (Osc) Carofitas (Crf) Conodontes (Cd) Cocolitoforidos (Dct)	Dinoflagelados Micropelecipodos Microgasteropodos Micromoluscos Ichthyolithos Otros	(Scf) (Mpcp) s (Mgrp) (Mmc) (Itl)
1011001 X-104	Ta	vones identificados e	n la muestra		-
Registro interno	1a	Nombre	específico		abrev
1	Donax mancorensis	s Olson			(Mmc) (Marp)
3	culyphaca op.				(mgrp)
4					
6					
7					
8					-
10					
Un	idad Bioestratigráfi	ca	Ge	ocronología	
Zona:			Edad: Reciente		
And the second states	Lit	ología		Biofaci	es
Tipo:Arena cuarzosa					
		Paleoambien	te		

### Lamina 1



1.- Gasteropodo ind. 2. Equinoideo ind. (Espina). 3.- Donax mancorensis Olson. Muestra: PY-02-D., 4.- Dyonax mancorensis Olson. Muestra: MPP-01-D



1 Mactromeris sp. Muestra:PCB-03-D, 2. *Donax peruvianus* (Deshayes), 3. *Donax marincovichi* (Coan), .4a,b. *Equinoideos ind.* (espinas) Muestra: MPP-01-A.

## Lamina 3



1.- *Mactromeris sp.* Muestra: MPP-01-D, 2.-Semimytilus sp. Muestra: MPP-01-C, 3.- *Prisogaster niger* (Wood). Muestra: PY-02-B, 4.- Ostreidae ind., 5.- Calyptraea sp. Muestra: PY-02-C.

# **RELACIÓN DE ILUSTRACIONES**

#### **Figuras**

Figura 1.1 Imagen de Google Earth que muestra el área de estudio a lo largo del litoral peruano.

- Figura 1.2 La figura muestra el *run-up* de tsunami y distancias de inundaciones a lo largo de la zona de ruptura del sismo de febrero de 1996. Los valores son desde el nivel del mar en el momento de la llegada del tsunami. Las barras verticales representan valores medidos; la línea continua y el símbolo representado por un círculo «G» representan la simulación numérica, valores de una malla de resolución fina. El modelo del desplazamiento en alta mar es de 1.8 metros y 0.7 metros. (Modificado de Bourgeois et al., 1999).
- Figura 1.3 Mecanismos focales procesados en Harvard CMT, la atenuación de las letras que indican la fecha de cada mecanismo focal se debe a que los colores tenues muestran los acontecimientos históricos. Los acontecimientos más importantes se identifican por sus fechas más aparentes. Además esta figura muestra la fractura de Mendaña y la zona de subducción. Modificado de Okal & Newman (2001). El tamaño de los mecanismos indican magnitudes elevadas.
- Figura 1.4 Distribución de los *run-up* de los tsunamis a lo largo de las costas del Perú y el norte de Chile. Modificado de Kulikov et al. (2005).
- Figura 1.5 Mapa de ubicación de epicentros que generaron tsunamis (puntos rojos) y tsunamis históricos (puntos amarillos)
- Figura 2.1 Proceso de generación de un tsunami en zonas de subducción (Fuente: USGS).
- Figura 2.2 Explosión volcánica; en a) el colapso violento de una parte del edificio volcánico que al ingresar al mar genera la ola de tsunami. En b) una explosión volcánica submarina provoca una descompensación en el mar y se generan las olas de tsunami.
- Figura 2.3 Generación de olas de tsunami a partir de un deslizamiento submarino (DGPCE, 2011).
- Figura 2.4 Etapas de un tsunami generado por causas tectónicas (Modificado de INOCAR)
- Figura 2.5 Propagación de un tsunami en altamar y cerca de la costa. Se observa que a mayor profundidad mayor es la velocidad de la ola; al acercarse a la costa la velocidad desciende pero las olas aumentan ya que la profundidad disminuye (Fuente: DHN, 2011).
- Figura 2.6 Velocidad de propagación de las ondas del tsunami con intervalos cada 30 minutos (Fuente NOAA, 11/03/2011. http://www.youtube.com/user/NOAAPMEL?feature=mhum#p/c/4/Lo5uH1UJF4A).
- Figura 2.7 Parámetros físicos y geométricos de la onda de tsunami (Fuente Ramírez, 1986).
- Figura 2.8 En la figura a) nos muestra el tsunami en mar adentro con una velocidad de propagación alta y en b) se observa que el tsunami al llegar a la costa disminuye su velocidad de propagación, pero se incrementa la altura de la ola.
- Figura 2.9 Las figuras muestran el comportamiento en mar adentro. En a) la onda generada por el viento presenta una longitud de onda pequeña y una velocidad baja; en cambio en b) el comportamiento del tsunami en mar adentro presenta una amplitud en kilómetros y esta viaja a grandes velocidades.
- Figura 2.10 En la figura a) se ve las olas que van y vienen como un flujo en círculos sin inundar áreas altas y en b) el tsunami es un flujo derecho que llega rápidamente a tierra como una muralla de agua.
- Figura 2.11 La altura de la ola H corresponde a la diferencia de nivel entre cresta y valle. Por otra parte, la cota máxima de inundación R, corresponde al lugar de la costa donde los efectos del tsunami son máximos.
- Figura 3.1 Tomada de Spiske & Bahlburg (2011), información general de las evidencias sedimentarias de la inundación del tsunami en Bucalemu. (A) arena que cubre la vegetación, (B) bloques de material limoso pardo depositado en puntos topográficos bajos (hacia tierra), (C) ondulitas actuales alineadas en dirección del run up y marcas de erosión hacia

el mar, (D) marcas de erosión hacia el mar; guijarros, cantos rodados y grietas de desecación en la capa de sedimentos, (E) hacia el norte del Grupo II y la zona de transición I, (F) vista hacia tierra de la zona de transición II desde el final del grupo III donde la mayoría cantos rodado están hacia tierra, y (G) vista hacia el sur del grupo III.

- Figura 3.2 Epicentro del terremoto de Chile, febrero de 2010 (modificado de USGS 2010)
- Figura 3.3 Mapa de alerta de tsunami para el Pacífico a partir del sismo y tsunami en Chile, el 27 de febrero de 2010, donde se muestra el tiempo de viaje proyectado y la altura de la ola de tsunami en centímetros. Fuente NOAA, 2010
- Figura 3.4 Mapa de ubicación del sismo del 11/03/2011. Fuente IPGP (2011)
- Figura 3.5 Las imágenes muestran Torinoumi en la costa oriental de Japón antes del desastre, el 5 de setiembre de 2010 y tras el tsunami el 12 de marzo de 2011. Imágenes adquiridas por la alemana RapidEye óptica y satélites de radar TerraSAR-X. Derechos de autor Rapid Eye AG, DLR, Google Earth. Mapa elaborado por ZKI N°. 04 (DLR, 2011).
- Figura 3.6 Las imágenes se centran en la ciudad de Soma y la región circundante, que se vio gravemente afectada por el tsunami. Las imágenes muestran el antes del desastre (5 de septiembre de 2010) y el después del tsunami (12 de marzo de 2011). Imágenes adquiridas por la alemana RapidEye óptica y satélites de radar TerraSAR-X. Derechos de autor RapidEye AG, DLR, Google Earth. Mapa elaborado por ZKI N°. 05 (DLR, 2011).
- Figura 3.7 Mapa de alerta de tsunami para el Pacífico a partir del sismo y tsunami en Japón, el 11 de marzo de 2011, donde se muestra el tiempo de viaje proyectado y la altura de la ola de tsunami. Fuente NOAA, 2011.
- Figura 3.8 Zonas afectadas por la inundación cerca al muelle Pescadores-Ancón. Modificado de la Dirección de Hidrografía y Navegación.
- Figura 3.9 Zonas afectadas por inundación en la playa Los Delfines. Modificado de la Dirección de Hidrografía y Navegación.
- Figura 3.10 Ubicación del epicentro del sismo del 23-06-2001, donde se muestran las líneas de intensidad del movimiento sísmico.
- Figura 3.11 Se observa en color celeste el área de inundación del último tsunami del 23 de junio de 2001, donde la ola presentó una altura de 6 metros llegando a alcanzar hasta una máxima línea de inundación de 1 kilómetro (área color celeste). El área de color amarillo muestra la zona de máxima inundación por tsunamis anteriores (Modificado de Proyecto INDECI-PENUD, 2003)
- Figura 3.12 Efectos del tsunami del 15-08-2007. El color celeste determina el área de inundación de la ola de tsunami. Los lugares más afectados fueron la playa Barranquillo, Camacho, San Andrés, la bahía de Paracas y la playa Lagunillas
- Figura 4.1 Localización global de las principales investigaciones de depósitos de tsunami. Elaborado por los autores en base a literatura revisada hasta mayo de 2004.
- Figura 4.2 Illustración esquemática de las vías principales de transporte y depositación de sedimentos de tsunami (Modificado de Einsele et al., 1996)
- Figura 4.3 Esquema de las diferencias sedimentológicas entre los sedimentos depositados por el tsunami y los sedimentos depositados por procesos de inundación (por ejemplo, fenómeno de El Niño) (Tomado de Spiske 2013)
- Figura 4.4: Se puede observar la intensidad normalizada del cuarzo ideal con respecto al tiempo, calibrada en las dunas al sudeste de la India. Kunz et al., 2010b hace una comparación con el cuarzo muestreado en las costas peruanas (Puerto Casma y Boca de Río).
- Figura 4.5 Lugares donde se encontraron evidencias de depósitos de paleotsunamis
- Figura 4.6
   Depósito de tsunami histórico y distribuciones del tamaño de grano en Puerto Casma datada en 0.36± 0.03 ka (1641 ± 26 yrs A.D.). El afloramiento se encuentra a 60 metros de la costa actual y a una profundidad de 0.60 metros con respecto a la superficie.
- Figura 4.7 Depósitos históricos de tsunamis y las distribuciones granulométricas en Boca del Río, datada en 1.98±0.23 y 2.25 ±0.37 ka. El afloramiento se encuentra a 460 metros de la costa actual.
- Figura 4.8 Depósito histórico de tsunami y distribuciones granulométricas en Vila Vila datado en 0.17 ± 0.04 ka. El afloramiento se encuentra a 80 metros de la costa actual.

Figura 4.9	Composición sedimentológica detallada de la unidad de tsunami en Vila Vila. a) Fragmentos de caparazones imbricados
	con ángulos de inclinación de 30-45° hacia la costa, b) Fragmentos de rocas, algunos de ellos con barnaclas y
	vermétidos adheridos, c) Caparazones y fragmentos de caparazones incorporados en la capa del evento, d)
	Foraminíferos encontrados en la capa del evento y en la arena de playa circundante

- Figura 4.10 Puerto Santa al norte de Chimbote. (A) Un levantamiento cosísmico provocó un desplazamiento de 60 m. aproximadamente. de la línea de costa en dirección al mar. El agua se retiró 500 metros aproximadamente antes de la llegada de la primera ola a la orilla. El tsunami se detuvo al pie de una colina a una distancia de 300 metros de la orilla. (B) Afloramiento mostrando un cambio de facies de marisma a depósitos de playa (Tomado de Spiske et al., 2013).
- Figura 4.11 Múltiples depósitos de niveles del tsunami Camaná. a) Depósito de tsunami que recubre las arenas de playa y consta de tres unidades con minerales pesados en la base, b) Depósito cerca de La Bajada en 2007 que consta de dos unidades gradadas con minerales pesados en la base (ca. 80 m de la costa). El espesor de los sedimentos post-tsunami en 2007 fue de 30 cm playa (Modificdo de Spiske et al., 2013).
- Figura 4.12Clastos desgarrados del tsunami Camaná. a) clastos incorporados en el sedimento en Punta de Bombón en 2007 (ca.<br/>70 m de la costa). b) clastos en la superficie de la playa (aprox. 140 m de la costa) La Quinta en 2001 (Jaffe et al.,<br/>2003, fig. 2). c) clastos en la superficie de la playa, cerca de la playa Las Cuevas en 2007 (Tomado de Spiske et al.,<br/>2013).
- Figura 4.13 Vista general de la playa principal de Pisco. (A) En marzo del 2007, chozas (círculo) todavía presentes en la playa, (B) Después del tsunami, en septiembre de 2008, las chozas y una pista fueron destruidas. La flecha indica la localización de la trinchera de estudio (ver figura 7C, figura 7D). (C) Depósitos de playa pre-tsunami. (D) Depósitos de tsunami, que consta de varias unidades, tal como se encuentran en la playa, septiembre de 2008 (tomado de Spiske et al., 2013).
- Figura 4.14 Depósitos de tsunami en playa Yumaque. (a) Arena de tsunami con una capa de grava y estructuras de *ondulitas* hacia el tope (b) *ondulitas de run up* en la superficie de playa (Tomado de Spiske et al., 2013).
- Figura 4.15 Depósitos de tsunami en playa Jahuay. (a) Depósito de tsunami con clastos desgarrados impactados en la capa *run-up* subyacente. (b) Vista de la playa mostrando clastos desgarrados del suelo de los campos agrícolas que se encuentran en la parte posterior de la playa y que fueron transportados hacia el mar durante el retrolavado (tomado de Spiske et al., 2013).
- Figura 4.16 Estructuras producidas por erosión de las olas de tsunami Pisco-Paracas. (a) Erosión de superficie en Lagunillas. (b) Canal de retrolavado en la playa Chaco producto del retroceso de la ola de tsunami playa (tomado de Spiske et al., 2013).
- Figura 4.17 Resumen esquemático de cambios postdeposicionales de depósitos de tsunamis
- Figura 5.1 Mapa de las áreas de inundación entre el Puerto Casma y la ciudad de Chimbote, usando los resultados obtenidos por el método de TsuSedMod, se observa en color celeste las zonas inundadas.
- Figura 5.2 Mapa de la altura mínima de inundación para el primer evento (A) que tiene una altura de 5.1 metros, se observa en color celeste el área inundada por debajo de la línea de la base de la inundación.
- Figura 5.3 Mapa de la altura mínima de inundación para el segundo evento (B) que tiene una altura de 6.1 metros, se observa en color celeste el área inundada por debajo de la línea de la base de la inundación.
- Figura 5.4 Superposición de los eventos A y B, donde las líneas de la base de la inundación cubren parte de las ciudades de Boca del Río y Vila Vila.

### Fotografías

Fotografía 1.1	Utilización de retroexcavadora para la excavación de trincheras
Fotografía 3.1	Vista de vivienda de material noble destruida por el tsunami, al sur de Camaná

Fotografía 3.2	Zanja en donde se encontró material de construcción (yeso) a 0.40 metros de profundidad con relación a la superficie.
	El material de construcción fue transportado varios cientos de metros de su origen.

- Fotografía 3.3 La línea de inundación en playa la Chira está marcada por una línea de escombros y un cambio de color en la ladera por encima de la playa. El más alto nivel medido se encuentra a 8.2 m y fue a lo largo de este tramo de la playa (fotografía tomada de Jaffe et al., 2003).
- Fotografía 3.4 Depósito Tsunami que cubre capa de barro en Pampa Grande (Tomada de Jaffe et al., 2003)
- Fotografía 3.5 La línea punteada de color negro indica el nivel alcanzado por la ola de tsunami, se estima una altura de 2.30 metros. Las flechas rojas indican el socavamiento causado al ingreso y retorno de la ola de tsunami. Bahía la Aguada, Paracas.
- Fotografía 3.6 Se observa color celeste el área invadida por las olas de tsunami y la destrucción de viviendas en la bahía de Paracas.
- Fotografía 3.7 Barcos arrastrados por la ola de tsunami, bahía de Paracas
- Fotografía 3.8 Evidencia de erosión del litoral por ingreso del mar, sector Chincha
- Fotografía 4.1 Trincheras transversales a la línea de costa en Puerto Casma
- Fotografía 4.2 Ubicación de las zanjas y de la variación granulométrica de los depósitos de tsunamis
- Fotografía 4.3 Depósito de tsunami en la parte inferior de la zanja. El depósito se caracteriza por tener un color más claro (beige) y tiene 3 centímetros de espesor, el espesor varía de acuerdo a la distancia de la línea de costa.
- Fotografía 4.4 Detalle del depósito de tsunami. Llama la atención el cambio brusco de la granulometría y la acumulación de minerales pesados hacia la base.
- Fotografía 4.5 Ubicación de una de las trincheras realizadas en Boca de Río y donde encontramos depósitos de tsunamis. La distancia con relación a la línea de costa es de aproximadamente 460 metros.
- Fotografía 4.6 La fotografía muestra la exploración de los depósitos de tsunami en Puerto Casma después de 11 años en los lugares que Bourgeois et al. (1999) los describe.



Av. Canadá 1470 - San Borja, Lima 41, Perú Teléfono: 051 - 1- 618 9800 Fax: 051-1-225-3063 | 051-1-225-4540 www.ingemmet.gob.pe comunicacion@ingemmet.gob.pe