

PRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DE TSUNAMIS: ESTRATEGIA DIDÁCTICA HECHA
PARA LA PREVENCIÓN

EDILSON FERNANDO SALAZAR MONROY

CÓDIGO: 2009146061

Proyecto de grado presentado para optar por el título de licenciado en física.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C

2013

PRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DE TSUNAMIS: ESTRATEGIA DIDÁCTICA HECHA
PARA LA PREVENCIÓN

EDILSON FERNANDO SALAZAR MONROY

CÓDIGO: 2009146061

ASESORES:

MARÍA CRISTINA DIMATÉ CASTELLANOS

(Universidad Nacional de Colombia)

NÉSTOR FERNANDO MÉNDEZ HINCPÍE

(Universidad Pedagógica Nacional)

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma de jurado

Firma de jurado

Ciudad

Día

Mes

Año

A María Monroy uno de mis principales motivos para llegar hasta aquí, gracias por brindarme la oportunidad de elegir este maravilloso mundo de conocimiento y alegrías, y por supuesto también a mi familia y a todas esas grandes personas que con gran esmero y cariño han luchado conmigo para que este gran sueño se haga realidad.

AGRADECIMIENTOS

A todos mis profesores del departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional, pues estos se encargaron darme la motivación necesaria para llegar a uno de los finales de este camino de conocimiento que un día empecé.

Al proyecto de “**Trabajo pedagógico con comunidades de alto riesgo**” Liderado por las profesoras Carmen Giraldo y Clara Chaparro, muchas gracias por demostrarme lo bello de la profesión docente, ya que esta no sólo se ciñe a un aula de clase, si no a un mundo inconmensurable de emociones y realidades las cuales el docente necesita conocer.

A la profesora María Cristina Dimaté quien desinteresadamente me dio la oportunidad de encaminarme por este mundo de conocimiento que desde niño ha sido una de mis más grandes pasiones LA SISMOLOGÍA.

A las líneas de profundización: la enseñanza de la física y la relación física – matemática y la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural, gracias por su gran colaboración.

A todos mis amigos y compañeros con los que compartí cada uno mis logros durante mi estancia en la universidad.

RESUMEN ANALITICO EN EDUCACIÓN – RAE -

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Producción y propagación de tsunamis, estrategia didáctica hecha para la prevención.
Autor(es)	Edilson Fernando Salazar Monroy
Director	María Cristina Dimaté Castellanos Néstor Fernando Méndez Hincapié
Publicación	Bogotá, 2013, 67 páginas
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	Producción y Producción de tsunamis, Guapi (Cauca), Prevención, Amplitud de onda, tsunami, Gestión del riesgo.

2. Descripción
<p>En el siguiente trabajo se muestra el análisis de vulnerabilidad realizado a la Normal Superior la “Inmaculada” de Guapi departamento del Cauca, allí se llevó a cabo una estrategia didáctica de prevención relacionada con el tsunami. Ya que esta población ha sido víctima de este fenómeno en dos ocasiones, en 1906 y 1979. Para ello se utilizó como referencia principal el plan local de emergencias del municipio, de donde se seleccionó este fenómeno natural debido al alto nivel de vulnerabilidad que presentan y las pocas campañas educativas que se realizan en torno a este, de allí se seleccionó a la Normal Superior la “Inmaculada” pues esta institución educativa alberga a gran cantidad de población y tiene un alto nivel de vulnerabilidad debido a su ubicación geográfico. Esto se logró por medio de una estrategia didáctica que se dividió en tres momentos específicos: conozcamos el fenómeno, interactuemos y juntos previniendo, los cuales analizaban aspectos fundamentales relacionados con: la propagación, la interacción y los mecanismos de prevención.</p>

3. Fuentes
<ul style="list-style-type: none">• Centro internacional de información sobre tsunamis. (s.f.). Glosario de Tsunamis. (2003) Honolulu, Hawái: centro internacional de información sobre tsunamis.• Centro internacional de información sobre tsunamis. (s.f.). Las grandes Olas. (2003) Honolulu, Hawai: Centro internacional de información sobre tsunamis.• Frisch W., Meschede M. & Blakey R. (2011). PLATES TECTONICS, Continental Drift and Mountain Building. Heidelberg. Springer.• Farreas S., (1997). Contribuciones a la Oceanografía Física en México, M.F. Lavín, Cap 4, pgs 73 – 96.• Restrepo J. & Otero L. (2007). MODELACIÓN NUMÉRICA DE EVENTOS TSUNAMIGÉNICOS EN LA CUENCA PACÍFICA COLOMBIANA - BAHÍA DE BUENAVENTURA, Rev. Acad. Colomb. Cienc. 31(120): 363 - 377.• Goto, C., Ogawa, Y., 1997. Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme. IUGG

/ IOC TIME Project. UNESCO. 28 p.

- Mansinha, L., Smylie, D., 1971. The displacement fields of inclined faults. Bulletin of the Seismological Society of America. 61, 1433-1440.
- Cardona Y., Toro M., Vélez J., & Otero Luis. (2005) Modelación de tsunamis en la costa Pacífica Colombiana: Caso Bahía de Tumaco, AVANCES EN RECURSOS HIDRAULICOS, N° 12, Sep. 2005. Medellín ISSN 0121 – 507.
- Rodríguez Peláez J.C; López Rodríguez, A.; Sierra-Correa, P.C.; Hernández Ortiz M.; Almario, G.; Prieto L.M.; Bolaños, J.; y H. Martínez. (2009). Ordenamiento ambiental de los manglares del municipio de Guapi, departamento del Cauca Pacífico colombiano. 149 pág. + 2 Anexos. Serie de documentos generales INVEMAR No 33.
- Ramírez J. (2004). Actualización de la Historia de los terremotos en Colombia. Págs. 126, 127 y 155. Instituto Geofísico Pontificia Universidad Javeriana.

4. Contenidos

Con el fin de tener un conocimiento específico acerca de este fenómeno y de sus implicaciones pedagógicas, el trabajo se dividió en cuatro capítulos, los cuales pretenden dar a conocer los cuatro ejes transversales del mismo, estos son: el teórico, geográfico, pedagógico y el preventivo, en cada uno de los cuatro capítulos siguientes, se muestran subtemas con relación a cada uno de estos aspectos.

Capitulo número uno, este constituye la parte disciplinar del proyecto; allí se muestra todo el contenido lógico y geofísico del *tsunami*, destacando de este, el fenómeno de subducción continental – oceánica, ya que es la principal causa de la actividad sísmica de la región. Para ello se hizo un análisis detallado del *tsunami*, donde se dan a conocer cada uno de los momentos que lo acontecen (producción, propagación e interacción) y también resaltando la parte física que lo constituye, mostrando las variaciones que tienen la amplitud, la velocidad, etc., por último se presenta interés en todos los hechos que esta amenaza puede ocasionar.

Capitulo número 2, allí se da a conocer la importancia que tienen las geociencias en la actualidad y la relevancia de estas en la gestión del riesgo de fenómenos geológicos y meteorológicos. De allí se destacan algunos conceptos de bastante importancia como: la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo, y se relacionan con los aspectos pedagógicos a tener en cuenta durante la implementación de estrategias de prevención. Por último se muestra el plan local de emergencias como una herramienta fundamental para el diagnóstico de amenazas y la implementación de mecanismos de acción.

Capitulo número 3 se muestra el análisis geográfico humano y físico de la población, mencionando todos los aspectos relevantes de estos y la influencia que tienen con la producción de un *tsunami*, también se mencionan aspectos técnicos de la zona que podrían servir en el plan local de emergencias del municipio ya que pueden afectar parámetros como la amplitud y el run – up del *tsunami*.

Capitulo número 4 se da a conocer la estrategia didáctica aplicada en la normal, destacando los procesos de diseño y de selección de temáticas relevantes para la población. También se menciona el fin de cada uno de los momentos de la estrategia, por último se muestran la estrategia de recolección de información y los resultados obtenidos tras la implementación de la estrategia teniendo en cuenta cada momento diseñado.

5. Metodología

Tras un reconocimiento previo de la población gracias a la práctica pedagógica realizada el segundo semestre del 2011, se analizó el plan local de emergencias del municipio, allí se identificó la gran debilidad que tenía en cuanto a campañas de prevención relacionadas con *tsunamis*, posteriormente con el diagnóstico realizado se diseñó una estrategia didáctica donde se mostraba el *tsunami* de una manera analítica, descriptiva e interactiva, para ello se utilizó una cubeta de tsunamis la cual permitía observar el fenómeno a una escala pequeña y poder identificar las variaciones que tenían cada una de sus características. La estrategia se implementó con los estudiantes de grado once y semestres 2 y 4 del ciclo complementario de la Normal Superior la “Inmaculada”.

6. Conclusiones

El trabajar con docentes en formación representa un gran resultado para este proyecto, ya que este tipo de población constituye una herramienta de transmisión asertiva de los conocimientos proporcionados, que con relación al contexto sería la parte rural del municipio, ya que este es uno de los principales campos de acción que tiene la normal. Además estos individuos pueden darle trascendencia a la estrategia, implementando a la misma, procesos creativos e innovadores que pueden ayudar a fortalecer la estrategia planteada en algunos aspectos pedagógicos o lúdicos que pudieron no ser tenidos en cuenta; para tal fin se pueden hacer adecuaciones a nuevos rangos población o inclusive por medio de esta poder generar nuevas estrategias didácticas con otro fenómeno natural o meteorológico donde se contemple otro tipo de población más pequeña o mayor, todo esto con el fin de aumentar el alcance del plan local de emergencias del municipio y de la institución educativa.

Los conocimientos físicos relacionados con la propagación de un tsunami, permiten analizar la variación de la amplitud de la onda mecánica teniendo en cuenta la energía con la que se genera y la que se disipa por factores propios del entorno y además hacer un análisis de la fuerza con la que llega a la costa, tras la implementación de la estrategia se pudo inferir que estos son tenidos en cuenta de una manera parcial y se relacionan con la gestión del riesgo, puesto que los estudiantes resaltaron el cuidado que se debe tener del medio ambiente, por tal motivo se puede decir que estos son conscientes del cuidado que deben tener con las formaciones vegetales de la región, debido a la gran utilidad que prestan (barreras naturales) que para este caso serían las especies de manglar y bosque tropical, pues podrían ayudar en caso de presentarse un tsunami.

La necesidad de informar y dar a conocer los mecanismos de prevención acerca de un fenómeno natural como el tsunami es tan importante en esta región, debido a la amenaza sísmica tan alta que tiene la zona debido a su ubicación geográfica, por tal motivo fue muy importante la implementación de esta estrategia, pues dio a conocer la amenaza de una manera didáctica y analítica por medio del módulo de actividades y la implementación de un prototipo experimental, esto permite reducir a largo plazo el índice de vulnerabilidad que se tiene en la zona.

Los estudiantes en general destacan la importancia de los procesos de prevención y gestión del riesgo dado que relacionan las condiciones de vulnerabilidad del municipio, con la amenaza sísmica alta a la que se encuentran propensos, además identifican las falencias que se tienen en la normal superior la “Inmaculada” relacionadas con: los procesos estructurales, ubicación geográfica y salidas de emergencia, este proceso se

convierte a futuro, en una gran herramienta para la normal; ya que permite prever futuros desastres y además informar a las personas de la zona.

Elaborado por:	Edilson Fernando Salazar Monroy
Revisado por:	Néstor Fernando Méndez Hincapié

Fecha de elaboración del Resumen:	30	05	2013
--	----	----	------

LISTA DE FIGURAS

Figura número Uno. Tipos de bordes de placa y su representación.....	5
Figura número dos. Ejemplo de subducción Andina en la región de Perú-Chile.....	7
Figura número tres. Subducción asociada a una placa oceánica y continental.....	8
Figura número cuatro Tipos de sismos asociados a la zona de subducción.....	9
Figura número cinco. Mapa de propagación del Tsunami de origen lejano producido en la costa de Japón.....	11
Figura número seis. Parámetros necesarios para la simulación numérica de un tsunami... 	12
Figura número siete. Disminución de la velocidad (c) y la longitud de onda (λ) por asomeramiento de la profundidad oceánica.....	16
Figura número ocho. Cota máxima de inundación (run up) del tsunami en el límite de la costa.....	16
Figura número nueve. Ubicación geográfica del municipio de Guapi.....	30
Figura número diez. Mapa de rangos de sismicidad de los últimos 20 años en la región pacífica colombiana.....	33
Figura número once. Mapa del noroccidente de Sur América con la localización y área de ruptura aproximada del sismo de enero 31 de1906.....	34
Figura número doce. Partes de la animación mostrada a la población, representado las tres escalas de profundidad elegida.....	39
Figura número trece. Vista lateral de la Cubeta de Tsunamis creada para la segunda parte de la estrategia.....	40
Figura número catorce. Vista frontal de la cubeta de tsunamis dando a conocer los momentos claves mostrados en la animación previa.....	40
Figura número quince. Figura representativa de la última parte de la estrategia didáctica	41
Figura número dieciséis. Recreación de la producción y propagación del tsunami utilizando la cubeta de tsunamis.....	44
Figura número dieciocho. Implementación de la última parte de la estrategia didáctica... 	44
Figura número diecinueve. Representación gráfica del modelo numérico empleado.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla número uno. Escala de magnitud de tsunamis de Inamura – Lida.....	15
Tabla número dos. Descripción general de las amenazas sucedidas en el municipio de Guapi durante los últimos años.....	25
Tabla número tres. Propósitos de cada una de las fases de la estrategia didáctica diseñada.....	37
Tabla número cuatro. Orden de dificultad de las preguntas utilizadas en el módulo didáctico y sus características.....	41

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. PRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DE UN TSUNAMI.....	3
1.1. De la deriva continental a la tectónica de placas.....	3
1.2. Tipos de bordes entre placas.....	4
1.2.1. Borde Transformante (conservative margins).....	5
1.2.2. Borde Divergente (constructive margins).....	5
1.2.3. Borde Convergente (destructive margins).....	6
1.2.3.1. Tipos de bordes convergentes.....	6
Continental - Continental.....	6
Continental – Oceánica.....	6
Oceánica – Oceánica.....	8
1.3 Sismos asociados a la subducción.....	8
Terremotos poco profundos.....	9
Terremotos de profundidad intermedia.....	9
Terremotos profundos.....	9
1.4 Tsunami.....	9
1.4.1 Tipos de tsunami.....	10
1.4.1.1 Tsunami de origen cercano.....	10
1.4.1.2 Tsunami de origen lejano.....	10
1.4.2. Mecanismo de generación.....	11
1.4.3. Propagación de un tsunami.....	12
1.4.3.1. Periodo.....	13
1.4.3.2. Longitud de onda (λ).....	13
1.4.3.3. Amplitud de un tsunami.....	13
1.4.3.4. Magnitud e Intensidad de un tsunami.....	14
Intensidad.....	14
Magnitud (Mt)	15
1.4.3.5. Velocidades de propagación de las ondas de tsunami.....	15
1.4.3.6. Zona de impacto.....	15
1.4.3.7. Tratamiento analítico (ecuaciones de propagación).....	17

Modelo Numérico.....	17
1.4.4. Efectos de un tsunami.....	17
1.4.4.1. Efectos sociales y económicos.....	17
1.4.4.2. Efectos medio-ambientales.....	18
1.4.4.3. Geológicos y topográficos.....	18
CAPITULO DOS. GESTIÓN DEL RIESGO.....	19
2. 1 Importancia de la enseñanza de las Geociencias.....	20
2.2 Posibles procesos didácticos.....	21
2.1 Conceptos importantes.....	20
2.1.1 Amenaza.....	21
2.1.2 Vulnerabilidad.....	22
2.1.3 Riesgo.....	22
2.3 La educación para la gestión del riesgo.....	23
2.3.4 Contribución de la educación a la gestión del riesgo.....	24
2.4 Plan local de emergencias del municipio de Guapi.....	25
CAPITULO TRES. CARACTERISTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL	
MUNICIPIO DE GUAPI (CAUCA).	27
3.1 Geografía humana del municipio.....	28
3.1.1 Agroindustrial.....	28
3.1.2 Ecoturismo.....	28
3.1.3 Minería.....	28
3.2 Geografía física del municipio.....	29
3.2.1 Ubicación de la zona de estudio.....	29
3.2.2 Acceso.....	29
3.2.3 Hidrografía.....	30
3.2.4 Clima.....	31
3.2.5 Vegetación.....	31
3.3 Perfil tectónico y sísmico de la región.....	31
3.4 El tsunami de 1906.....	33
3.5 El tsunami de 1979.....	34

CAPITULO CUATRO. ESTRATEGIA DIDÁCTICA Y ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	36
4.1 La estrategia didáctica.....	36
4.1.2 Conozcamos el fenómeno.....	38
4.1.3 Interactuemos con el fenómeno.....	39
4.1.4 Juntos previniendo.....	40
4.2 Módulo didáctico.....	41
4.3 Aplicación de la estrategia.....	42
4.4 Resultados obtenidos.....	44
4.4. 1 Fase 1.....	44
4.4.2. Fase 2.....	45
4.4.3. Fase 3.....	47
CONCLUSIONES.....	49

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ve como los fenómenos naturales amenazan la existencia del hombre, debido al alto nivel de incertidumbre que poseen. Ahora esto combinado con el desconocimiento de la amenaza y la falta de medidas de prevención, puede llegar a ocasionar una gran cantidad de víctimas. Pero en sí, el fenómeno natural no es el que produce la gran catástrofe, sino por el contrario algunas acciones realizadas por el ser humano son las que pueden llegar a aumentar este nivel de daño, estas son: la ubicación de viviendas cerca volcanes, laderas, zonas de intensidad sísmica, etc. lo cual permite inferir que el factor de prevención es el que menos se tiene en cuenta al tomar este tipo de decisiones.

Nuestro país no está exento a la manifestación de algún fenómeno natural, por eso desde la educación se aportan herramientas conceptuales y metodológicas que permiten concientizar a las personas sobre dicha problemática y poder minimizar así cualquier hecho ligado con la producción de esta. A lo largo de este documento se dará a conocer uno de los muchos fenómenos naturales a los que encuentra propenso nuestro país, este es “*el tsunami*”, este fenómeno geológico ocasiona un alto nivel de daño a nivel general y muertes en las ciudades costeras a nivel mundial, para el caso de Colombia, afecta principalmente a la región del pacifico, debido a su cercanía con la zona de subducción del Ecuador. En esta zona se tiene una actividad sísmica intensa, lo cual ha generado en dos ocasiones (1906 y 1979) graves daños a los departamentos de Nariño, Cauca, Choco y Valle del Cauca.

Los grandes daños que ocasionaron estos dos hechos se encontraron ligados en su gran mayoría con irregularidades en el proceso de gestión y prevención del riesgo al interior de los municipios de Tumaco, Guapi, Iscuandé, etc. En el caso de Guapi departamento del Cauca, se tuvieron muchos errores antes, durante y después del tsunami de 1979, debido en gran parte al desconocimiento que se tiene en relación con las causas de producción y las acciones de prevención en torno al *tsunami*.

Adicional a esto se suman factores geográficos, geomorfológicos, etc. que pueden hacer de este municipio un gran afectado en caso de presentarse un tsunami de gran magnitud. Por tal motivo

se realizó una estrategia didáctica en la Normal Superior la “Inmaculada”, la cual tuvo como objetivo general, Generar un aporte conceptual y metodológico al contenido al plan local de emergencias del municipio en mención y también ayudar al plan de gestión y atención de desastres de la Normal. Y como objetivos específicos:

- Realizar un prototipo a escala con el cual se explique de manera fácil y efectiva la generación y propagación del *tsunami*.
- Mostrar los diferentes factores (geológicos, geográficos y geomorfológicos) y las acciones preventivas que se deben realizar y tener en cuenta en caso de presentarse un *tsunami*.
- Concientizar a la población frente a este hecho y darle un mayor nivel de relevancia en el municipio debido a la gran vulnerabilidad que tienen.

La estrategia didáctica creada tuvo tres ejes transversales, los cuales apuntaban al cumplimiento de los objetivos anteriormente planteados, primero se dio a conocer el tsunami desde un análisis geológico y físico, el cual pretendía resaltar las características ondulatorias del fenómeno y por medio estas poder generar posibles estrategias de prevención.

En la segunda, se hizo un análisis de la propagación del *tsunami* con ayuda del prototipo experimental creado el cual se llamó “Cubeta de tsunamis” en este se podía ver el fenómeno a una pequeña escala y poder interactuar con el mismo, allí también se hizo un análisis de las características de la onda, pero ahora analizando otras dos características: la distancia al foco de producción y el entorno donde podía llegar a ocurrir este hecho. Por último en la tercera parte se dieron a conocer todas las pautas preventivas que se deben tener en cuenta antes, durante y después de un *tsunami*, esto se realizó por medio de ayudas visuales y de un análisis global de la institución y del entorno que circunda a la Normal Superior “La inmaculada”, ya que este influye de manera radical en la variación de algunas magnitudes como: el run-up y la amplitud de la onda.

CAPITULO 1. PRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DE UN TSUNAMI

Las fuerzas de la naturaleza son de una magnitud inimaginable y se hacen visibles cuando ocurren fenómenos que causan gran destrucción, poniendo en evidencia la vulnerabilidad del ser humano frente a ellos. La gran mayoría de fenómenos naturales no tienen un período y por eso el pronóstico de su ocurrencia conlleva importante incertidumbre. Entre los fenómenos naturales que han afectado el territorio colombiano, se pueden mencionar: las tormentas tropicales, los deslizamientos, las inundaciones, los terremotos y los *tsunamis*. Entre estos últimos son memorables los que se presentaron asociados con los sismos de 1906 y 1979 por los grandes daños que causaron, especialmente en las poblaciones costeras de la costa Pacífica colombiana. Tratándose esta región de una zona sísmicamente muy activa es probable que un tsunami vuelva a presentarse.

Un *tsunami* se puede entender como el movimiento de un cuerpo de agua, que se desplaza a través del océano, generalmente debido al choque de dos placas tectónicas. A continuación se exponen los procesos de generación y propagación de los *tsunamis*, partiendo de la teoría de la tectónica de placas, fundamental en la explicación de la generación de este fenómeno.

1.1. De la deriva continental a la tectónica de placas

Una de las incógnitas que se planteaban en las Ciencias de la Tierra en el siglo XX, hacía referencia al movimiento relativo de los continentes. Respondiendo a este interrogante: los meteorólogos Alfred Wegener y Wladimir Köppen, formularon la teoría de la deriva de los continentes (*continental drift*), la cual establecía que todos los continentes alguna vez estuvieron unidos en el súper continente llamado PANGEA “toda la tierra”. Una de las observaciones que sustentaban esta teoría eran las similitudes que presentaban las formas de las costas del oeste de Suramérica y el este de África. Esta hipótesis encontró confirmación en argumentos y observaciones adicionales provenientes de: la geología, la geofísica, la paleontología, la geodesia y la paleoclimatología como los de De Toit en 1938 (Lowrie, 1997).

La teoría de la deriva de los continentes formulada por Wegener, poseía un componente empírico, ya que se basó en los parecidos que tenían algunas formaciones geológicas, líneas de costa, restos fósiles de plantas y animales parecidas en los continentes; esta última al parecer era una característica fundamental, puesto que los fósiles de los organismos encontrados no poseían

habilidades tan desarrolladas que le permitieran transportarse a grandes distancias, lo cual permite suponer que alguna vez los continentes sí estuvieron unidos. Pangea se fragmentó hasta llegar a los continentes que hoy conocemos.

Esta teoría fue recibida con escepticismo y generó controversia en el mundo científico de la época, pues parte de la credibilidad que tenía se basaba en la unión de los continentes y no explicaba de manera convincente el mecanismo para movimiento que tuvieron estos durante la expansión. Se planteaba, por ejemplo, que las fuerzas mareales fueron la causa de separación de los continentes. Sin embargo los cálculos de la energía que se genera a través de la fuerza de los mares mostraron que esta es demasiado débil para mover un cuerpo rocoso tan grande como un continente; además si dicha fuerza fuese tan potente el movimiento de rotación de la Tierra se vería afectado (Lowrie, 1997).

En 1960 Harry Hess y John Wilson junto con otros científicos como Robert Dietz, Bruce Heezen y Maurice Edwing proponen que el movimiento de los continentes es originado por las corrientes de convección ascendentes y convergentes en el manto terrestre y que la expansión del Pangea se debió también a la renovación continua del piso oceánico (teoría de la expansión del fondo oceánico), causado por la expansión de las fronteras de las placas, donde la generación del suelo se da a partir del ascenso de material del manto. Estas dos teorías en conjunto (la teoría de la deriva de los continentes y la expansión del fondo oceánico) y la explicación del movimiento relativo de los continentes constituyen la teoría de la Tectónica de placas, que es una de las teorías más robustas de las ciencias de la Tierra, ya que proporciona una descripción detallada del movimiento e interacción entre las grandes masas terrestres superficiales (Lutgens y Tarbuck, 2005).

1.2. Tipos de bordes entre placas

La teoría de la tectónica de placas establece la división de la litosfera en fragmentos rígidos; estas divisiones se conocen con el nombre de placas tectónicas. Por acción de las corrientes de convección en el manto las placas tectónicas tienen un movimiento constante con una velocidad promedio aproximada de 5 cm por año. . En la actualidad se conocen 15 placas mayores, sin

embargo, a consecuencia de los continuos choques se producen nuevas placas, que se denominan placas menores. (Lutgens y Tarbuck, 2005). Según el tipo de movimiento relativo entre las placas a lo largo de sus bordes, estos se han clasificado en bordes transformantes (no se crea ni se destruye corteza terrestre) bordes constructivos (dorsales oceánicas) y bordes destructivos (zonas de subducción), (Figura 1).

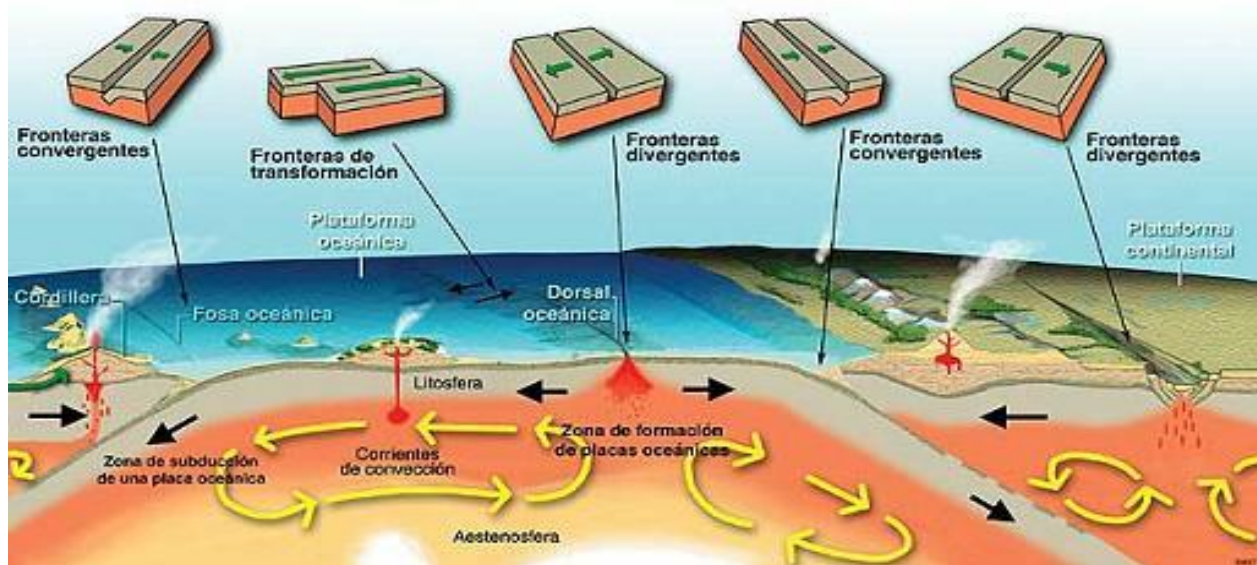


Figura 1. Tipos de bordes y zonas de ubicación (Anónimo, 2013).

1.2.1. Borde Transformante (*conservative margins*)

Son llamados también bordes de conservación, allí no se destruye ni se crea litosfera (Turcotte y Schubert, 1982), a lo largo de ellos una placa se desplaza paralelamente a lo largo de la otra. Los bordes transformantes fueron identificados primeramente, a través de los desplazamientos de los segmentos de las dorsales oceánicas; estas grandes fallas transformantes unen cinturones activos globales y registran una importante actividad sísmica (Lutgens y Tarbuck, 2005).

1.2.2. Borde Divergente (*constructive margins*)

Estos bordes tienen un movimiento de separación. A lo largo del borde emerge material desde el manto que permite la creación de nueva litosfera generando la expansión del fondo oceánico.

Algunos de estos bordes se pueden localizar en las dorsales oceánicas, por ejemplo las grandes dorsales oceánicas del Atlántico y el Pacífico.

1.2.3. Borde Convergente (*destructive margins*)

Los bordes de las placas tienen un movimiento relativo entre sí que puede ser perpendicular u oblicuo al borde. Cuando dos placas, una más antigua que la otra convergen, la placa más antigua y de mayor densidad se dobla en la parte de su borde y se desliza bajo la otra placa (subduce). Este proceso puede continuar hasta llegar al manto inferior donde es absorbida (Lutgens y Tarbuck , 2005). La expresión más clara de este proceso en superficie son las fosas submarinas, profundas y estrechas depresiones de los fondos oceánicos que demarcan las zonas de subducción. El proceso de convergencia es más complejo cuando las placas involucradas en la interacción no presentan un contraste alto de densidad, como es el caso de convergencia de placas donde ambas involucran corteza continental.

1.2.3.1. Tipos de bordes convergentes

Los bordes convergentes se clasifican dependiendo del tipo de placas que colisionan (continental u oceánica).

a) Continental - Continental

Tratándose de la interacción de dos placas de baja densidad el resultado del proceso de convergencia es una colisión, no subducción. Cuando las dos masas continentales colisionan la superficie continental se pliega dando origen a sistemas de cordilleras y en algunos casos a fragmentos de corteza oceánica. Este proceso de colisión es el que ha dado origen a grandes cadenas montañosas como: los Himalayas, los Alpes, los Apalaches y los Urales (Lutgens y Tarbuck, 2005).

b) Continental – Oceánica

En la convergencia de litosfera continental con litosfera oceánica, la litosfera continental permanecerá en la superficie debido a su baja densidad mientras que la oceánica descenderá hacia

el manto. Cuando la placa oceánica se encuentra aproximadamente a 100 km de profundidad comienza la fusión. La gran cantidad de agua que ha sido transportada por los poros de la placa en subducción es expulsada a medida que la presión y la temperatura aumentan cuando la placa se profundiza.

Los fluidos ricos en agua ascienden en la cálida cuña astenosférica, entre la placa subducente (suprayacente) y la placa subducida (subyacente), causando la fusión. El material fundido asciende a la superficie a través de la corteza y puede dar lugar a la formación de volcanes. Muchas veces esta roca fundida no alcanza a llegar a la superficie, antes de esto se solidifica y ayuda al aumento del grosor de la corteza. En este proceso se crean arcos de islas sobre la litosfera adyacente, ejemplos de este proceso son: los Andes, S.E. Alaska, Sumatra y Java (Frisch, Meschede & Blakey, 2011).

Este tipo de margen de subducción continental-oceánica es el característico de la zona de este estudio (Figura 2), la cual se localiza en el Pacífico Colombiano y la actividad sísmica que se produce es debida a la colisión que hay entre la placa Nazca y la Sudamericana. Esta zona del país se localiza sobre la zona de subducción que hay en el Pacífico, que ha dado origen a sismos en 1906 y 1979, los cuales han afectado al territorio Colombiano y se registran como unos de los sismos más destructores del siglo (Dimaté, Taboada & Fuenzalida, 1998).

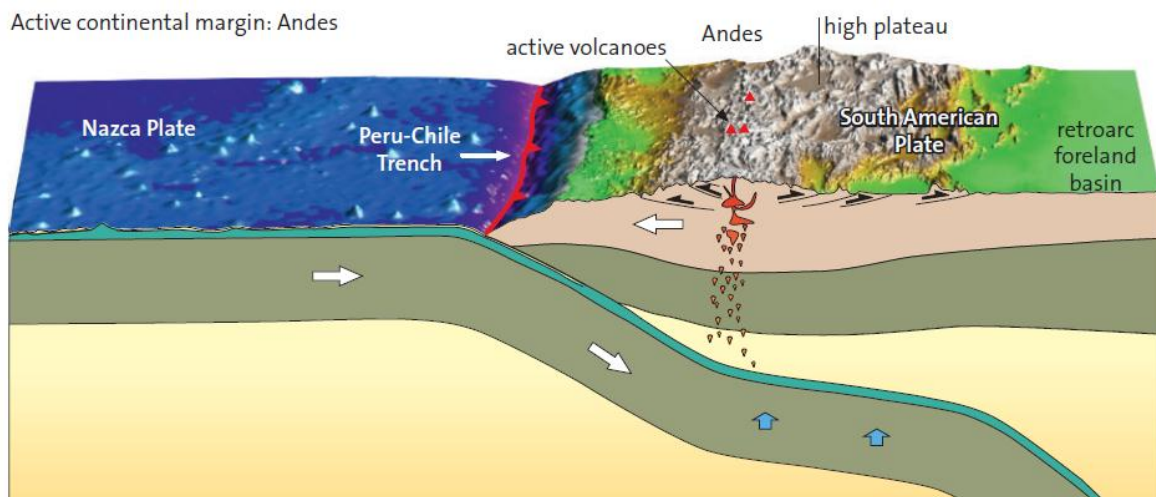


Figura 2 Ejemplo de subducción Andina en la región de Perú-Chile (Frisch, Meschede & Blakey, 2011).

c) Oceánica – Oceánica

Recibe el nombre de zona intra-oceánica de subducción, a partir de esta se crean arcos de islas volcánicas; ejemplos de esta pueden ser las islas Marianas en el Pacífico y las Antillas de Lesser en el Atlántico (Frisch, Meschede & Blakey, 2011). Tienen rasgos parecidos al anterior, sus diferencias se deben: al tipo de corteza que compone la placa suprayacente y al fluido que los circunda. Al igual que el caso anterior, la placa de mayor densidad desciende bajo la otra.

1.3 Sismos asociados a la subducción

Como se mencionó anteriormente la subducción es el proceso geológico mediante el cual la vieja litosfera oceánica comienza a hundirse gradualmente en la astenosfera por debajo de la litosfera continental. Las fosas oceánicas son el sitio donde se inicia este proceso de subducción. La longitud total de las zonas de subducción en el mundo suma más de 55.000 Km. En las regiones de subducción se localizan los sitios donde ocurren los más grandes terremotos en la Tierra (Figura 3).

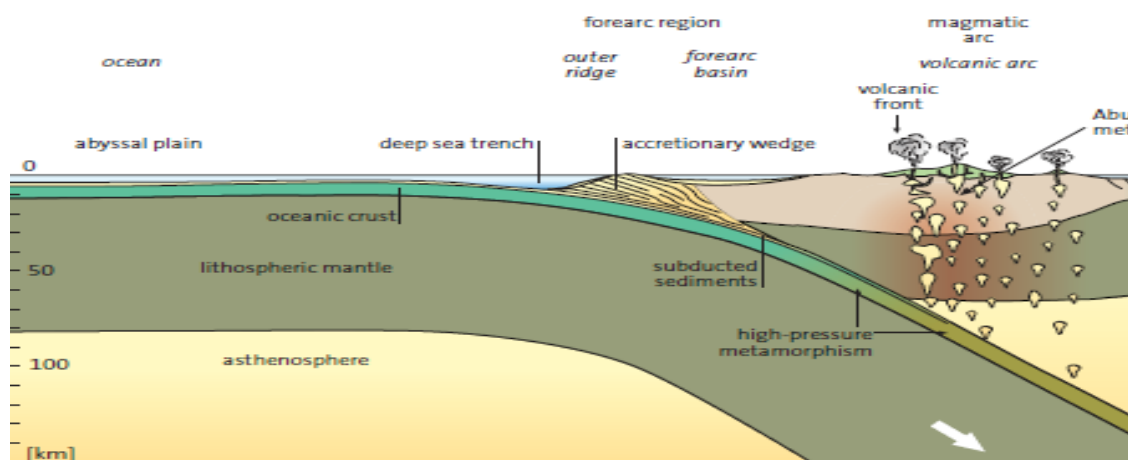


Figura 3. Subducción asociada a una placa oceánica y continental, (Frisch, Meschede & Blakey, 2011).

Las zonas de subducción se caracterizan por una alta actividad sísmica, la cual ocasiona terremotos y, eventualmente, tsunamis, dependiendo del tipo de placa con la que se produzca la colisión. El efecto de estos terremotos depende de la profundidad a la que se produzcan. Según su profundidad los sismos asociados a la subducción se pueden clasificar en (Frisch, Meschede & Blakey, 2011):

- a) **Terremotos poco profundos:** localizados entre 0 km y 70 km, para un grosor “normal” de la litosfera.
- b) **Terremotos de profundidad intermedia:** profundidades entre 70 y 400 km.
- c) **Terremotos profundos:** tienen profundidades entre 350 km y 700 km.

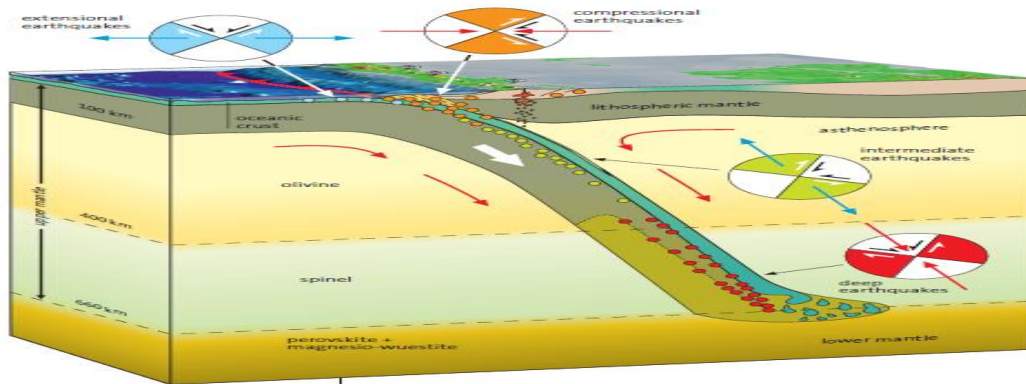


Figura 4. Tipos de sismos asociados a la zona de subducción, Naranja: sismos superficiales, verde: sismos de profundidad intermedia, rojo: sismos profundos. (Frisch, Meschede & Blakey, 2011).

1.4 Tsunami

La palabra *tsunami* proviene del japonés (*tsu* = puerto y *nami* =ola) y es una adaptación hecha desde 1963 al fenómeno natural conocido como maremoto o sacudón, que puede ser ocasionado por: un sismo submarino (Chile, 1960), erupciones volcánicas (Krakatoa, 1883), deslizamientos (Bahía de Lituya, Alaska 1958) y rara vez por el choque de un cuerpo celeste sobre el océano; el movimiento del cuerpo rocoso, que se genera sobre la superficie o sobre el piso oceánico, ocasiona el desplazamiento de un cuerpo de agua que genera un tren de ondas que se propaga en todas las direcciones y viaja a una velocidad aproximada de 800 Km/h, longitud de onda de 100 Km, periodo entre 10 min hasta 1 h, amplitud de 15 a 20 cm, en aguas profundas. Cuando arriban a la costa debido a la variación de la profundidad alcanzan amplitudes de hasta 30 m y su periodo, velocidad y longitud de onda disminuyen considerablemente. El mecanismo de generación escogido para este trabajo es el tectónico, pues es el tipo de mecanismo esperado para un tsunami probable en la Costa Pacífica Colombiana. No todos los sismos generan *tsunamis*; para que se genere un *tsunami* el sismo debe generar un movimiento vertical de varios metros

sobre el piso oceánico (arriba y abajo), y la deformación generada debe afectar una extensa área en la zona de subducción y el área de ruptura del sismo debe ser muy extensa (involucrar hasta unos 70 km de profundidad). La deformación se transmite al cuerpo de agua que rodea la falla y asciende hasta la superficie del océano donde se generan las ondas de *tsunami* que se propagan en todas las direcciones, arribando a las costas de los territorios circundantes al hipocentro con diferentes características físicas (altura, amplitud, frecuencia, etc.), según las características del suelo oceánico cercano a la costa (C. I. D. I. S. T., 2003).

1.4.1 Tipos de tsunami

Dependiendo de la distancia entre la costa y el epicentro (distancia al sismo de origen), los *tsunamis* se pueden clasificar en: cercanos y lejanos.

1.4.1.1 Tsunami de origen cercano

Se generan a consecuencia de un sismo de magnitud 7 o más en la escala de Richter producido cerca a la costa; tiene una zona de impacto ligada a no más de 100 Km del foco; en este tipo de *tsunami* el tiempo de acción es corto, de 10 a 20 min. Pueden ser muy desastrosos puesto que las ondas oceánicas arriban a la costa pocos minutos (20 a 30 min) después del sismo. En este caso una señal indicativa de la llegada del *tsunami* es el ascenso anormal de la amplitud de las olas que llegan a la costa; para este tipo de *tsunami* la evacuación debe ser inmediata.

1.4.1.2 Tsunami de origen lejano

Su zona de impacto llega a más de los 1000 Km y se genera a causa de un sismo de gran magnitud (mayor a 7); un ejemplo de este tipo de *tsunami* fue el producido el 22 de mayo de 1960 en Chile donde hubo alrededor de 2000 personas muertas, y afecto a otras regiones como el Japón (100 víctimas) y Hawái. Para este tipo de *tsunami* se puede predecir el tiempo de arribo a la costa y las posibles zonas que afectará; esto permite evacuar a las poblaciones de las zonas potencialmente impactadas (Figura 6). Un tipo de señal que se presenta por lo general para este

tipo de *tsunami* es el recogimiento del agua de la costa, donde se puede observar parte del piso oceánico.

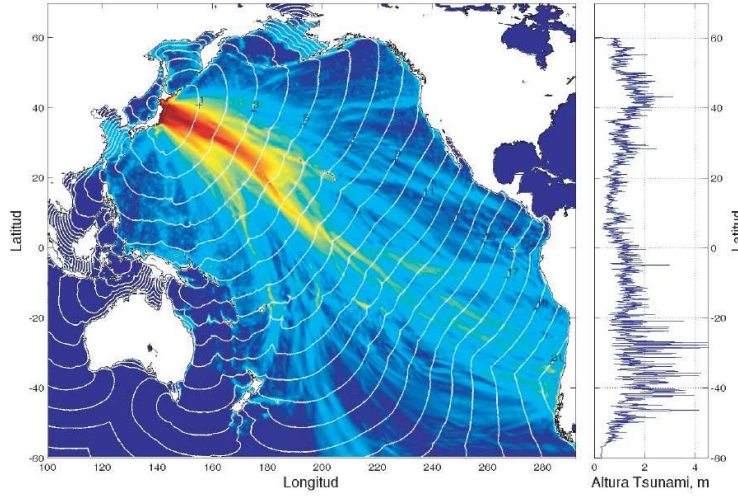


Figura 5. Mapa de propagación del Tsunami de origen lejano producido en la costa de Japón (Secretaría Marina de México, 2012).

1.4.2. Mecanismo de generación

El problema de la generación de un *tsunami* es complejo y se encuentra íntimamente relacionado con la geometría del escenario sísmico a analizar. Modelar el escenario sísmico implica hacer hipótesis sobre el rumbo, la dirección de buzamiento, el ángulo de buzamiento, la dislocación, el área de ruptura y el hipocentro de la ruptura probable, para un modelo simple de falla rectangular. (Figura 5). Esta información se requiere para calcular las deformaciones causadas en el lecho marino por el desplazamiento sísmico. Para este modelo la deformación u_i puede expresarse como (Restrepo & Otero, 2007) :

$$u_i = KU_i \int_{\Sigma} \left[\left(\frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_2} - \frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_1} \right) \text{sen}(\delta) - \left(\frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_3} - \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_1} \right) \text{cos}(\delta) \right] dS \quad [1]$$

Esta ecuación toma diferentes formas, dependiendo del tipo de falla que se analice, por ejemplo para una falla con movimiento en la dirección de buzamiento (dip - slip), con una dislocación U , esta queda en términos de:

$$u_i = KU \int_{\Sigma} \left[\left(\frac{\partial u_i^2}{\partial \xi_2} - \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_3} \right) \text{sen}(2\delta) - \left(\frac{\partial u_i^1}{\partial \xi_3} - \frac{\partial u_i^3}{\partial \xi_2} \right) \text{cos}(2\delta) \right] dS \quad [2]$$

Siendo U_i el desplazamiento del fondo del mar en el punto i , evaluado por la integración de todos los puntos fuente que contribuyen al movimiento vertical del plano de la falla, δ el ángulo de

inclinación de la falla, Σ corresponde a la superficie de la falla, K es la constante elástica de Lamé (5×10^{11} dinas cm^{-2}) y u_i^2 es el i -ésimo componente de desplazamiento en (X_1, X_2, X_3) , ocasionada por una fuerza de magnitud (ξ_1, ξ_2, ξ_3) . El campo de deformación obtenido sirve de base para el modelo de propagación de las ondas de *tsunami* (Restrepo & Otero, 2007).

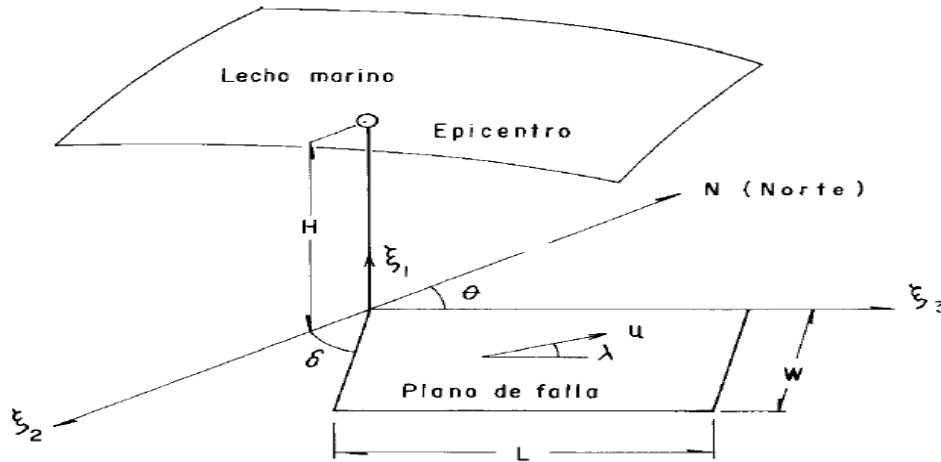


Figura 6. Parámetros necesarios para la simulación numérica de un tsunami (Farreas, 1997).

1.4.3. Propagación de un *tsunami*

Algunos aspectos de la propagación de un *tsunami* se pueden modelar con una gran cubeta de ondas con una profundidad variable. El volumen de agua de la cubeta se perturba con una rápida impulso mecánico y se puede observar el cambio en las amplitudes de la onda al llegar a los bordes de la cubeta cuando disminuye la profundidad de la cubeta. Un modelo realista de tsunami es más complejo debido a las variaciones en la profundidad del piso oceánico, a la gran cantidad de obstáculos y las complejidades en el mecanismo de generación (ruptura sísmica). A continuación se muestran las características de la propagación de las ondas de *tsunami* y los cambios debido al asomeramiento del océano para un modelo del fondo oceánico de topografía suave.

1.4.3.1. Periodo

Es el tiempo que transcurre en el paso de dos ondas de *tsunami* sucesivas por un punto observación. Debido a su forma de producción el *tsunami* involucra una gama de periodos,

puesto que la profundidad no es uniforme, por lo que se define un periodo dominante para esta sucesión de ondas. El periodo del *tsunami* varía entre 7 y 20 min para los *tsunamis* cercanos y entre 40 y 70 min para los lejanos. Este es un factor bastante importante en los planes de evacuación, ya que este tipo de ondas no tienen un periodo uniforme, aun incidiendo sobre la misma costa, por eso se recomienda a la población que se encuentra en zonas amenazadas retirarse durante un lapso de tiempo considerable.

1.4.3.2. Longitud de onda (λ)

Es la distancia existente entre las dos crestas o valles sucesivos de una onda; para las ondas de *tsunami* esta es mucho mayor que la profundidad (h) en aguas profundas; la longitud de onda inicial es igual a la distancia mayor del área dislocada, esta se encuentra entre los 20 a 300 Km (C. I. D. I. S. T., 2003). La longitud de onda en aguas profundas se puede obtener por medio de la expresión:

$$\lambda = V T \quad [3]$$

Donde V es la velocidad en m/s y T el periodo en segundos, cuando un *tsunami* arriba a la costa se produce una disminución de la longitud de onda a causa del asomeramiento, que ocasiona un frenado repentino y un aumento de amplitud. También ocurre que el *tsunami* pierda energía como consecuencia del choque con islotes de gran dimensión que hacen que la onda incidente se difracte (Farreas, 1997).

1.4.3.3. Amplitud de un *tsunami*

La topografía de la costa y su configuración (línea de costa), influyen significativamente en la amplitud de la onda de *tsunami*, porque dependiendo de la forma, hay algunos puntos donde se pueden presentar acumulaciones de energía debido a las convergencias en la costa, (aquellas regiones “cerradas”, por lo general tienen forma de U o de V, un ejemplo visible de esto pueden ser las bocanías) al incidir la ola en este tipo de costa se frena bruscamente lo que ocasiona un aumento en el nivel del agua en ese punto y como la profundidad del agua es baja se puede llegar a generar una ola de gran magnitud provocando posiblemente una zona de impacto mayor (Lorca & Recabarren, 1994). En estas zonas se presentan efectos de resonancia, que aumentan la fuerza

del *tsunami*, y de refracción, que ocasionan un aumento súbito de la amplitud de la ola en el punto de la convergencia, dándole al *tsunami* un carácter más destructivo en estas zonas.

1.4.3.4. Magnitud e Intensidad de un *tsunami*

Cada una de estas magnitudes se basa en características que tiene el fenómeno al interactuar con la costa, como por ejemplo: el poder destructivo de las ondas, el aumento del run up (dominio máximo de la inundación), la amplitud de la onda al llegar a la costa y la energía disipada. A continuación se dan a conocer cada uno de estos conceptos.

a) Intensidad

Al igual que a los sismos, a los *tsunamis* se pueden asociar varios valores de Intensidad según el grado de daño que hayan ocasionado en diferentes localidades. La asignación de intensidad es un tanto subjetiva, ya que se basa en observaciones cualitativas usadas conjuntamente con observaciones topográficas y no en una variable física medible directamente. Una de las escalas utilizadas es la de Imamura Soloviev en 1972, esta permite hallar la intensidad del tsunami a partir de amplitud máxima que puede llegar a tener el *tsunami*:

$$I = \frac{1}{2} + \log_2 H \quad [4]$$

Aquí H se refiere a amplitud e I la intensidad del *tsunami* respectivamente.

b) Magnitud (Mt)

El tamaño del tsunami se calcula según la ecuación de Wiegel (1970) que combina dos escalas, la de energía del tsunami y la cota máxima de inundación, que relacionan a la amplitud de la ola al llegar a la costa y los daños causados. Esta escala permite determinar la magnitud en términos de la amplitud y del *run-up*, mediante la expresión:

$$M_t = \log_{10} \left[\frac{H * R}{3} \right] \quad [5]$$

siendo H la amplitud de la onda y R el *run-up*, la escala de Inamura – Lida se muestra a continuación:

Grado de Tsunami	Altura de la ola H (m)	Cota máxima de inundación (Run - up)	Descripción de los daños
0	1 – 2	1 – 1,5	No produce daños
1	2 – 5	2 – 3	Son arrastrados las casas inundadas y los botes destruidos
2	5 – 10	4 – 6	son barridos Hombres, barcos y casas
3	10 – 20	8 – 12	Daños extendidos a los largo de 400 Km de la costa
4	Mayor a 30	16 – 24	Daños extendidos sobre más de 500 Km a lo largo de la línea costera.

Tabla 1. Escala de magnitud de tsunamis de Inamura – Lida (Castro, 2000).

1.4.3.5. Velocidades de propagación de las ondas de tsunami

Tratándose de una onda oceánica la velocidad del *tsunami* depende en todo punto de la profundidad; es así que se pueden hacer dos clasificaciones a lo largo de su trayectoria de propagación: propagación en aguas profundas (*deep water*) y propagación en aguas someras (*shallow water*). Para la propagación en aguas profundas la velocidad (c) depende de la longitud de onda y se puede calcular a través de la expresión (C. I. D. I. S. T., 2003):

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \left[\tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \right]} \quad [6]$$

Siendo g la gravedad, λ la longitud de onda y h la profundidad, en este caso h es menor que λ . Para aguas poco profundas la velocidad no depende de la longitud de onda. Suponiendo que la viscosidad del fluido es nula, que no hay rotación de las partículas a lo largo de todo el trayecto, que la presión en la superficie es nula y que la pendiente del fondo no presenta cambios bruscos, se puede calcular la velocidad de propagación del *tsunami* usando la expresión (Helal y Mehanna, 2008):

$$c = \sqrt{gh} \quad [7]$$

Cuando las ondas llegan a la costa y debido a la forma del piso oceánico se genera una deformación o curvatura en la onda producto de la refracción, aumentando su amplitud y disminuyendo su velocidad de propagación y longitud de onda, transformando su energía cinética en potencial (Lorca y Recabarren, 1994).

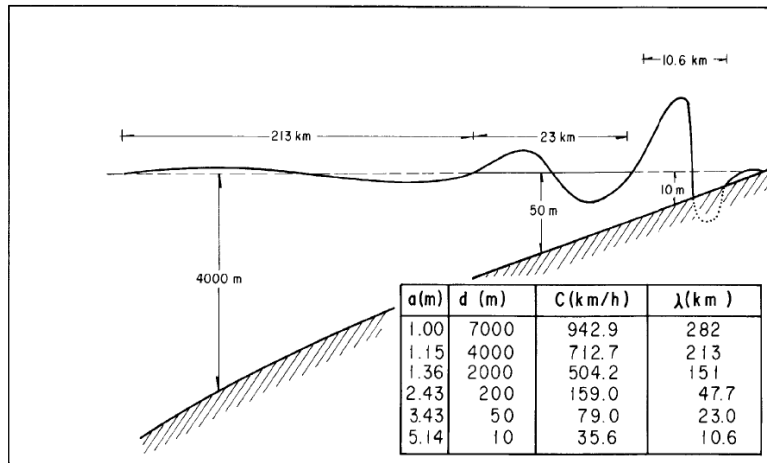


Figura 7. Disminución de la velocidad (c) y la longitud de onda (λ) por asomeramiento de la profundidad oceánica. Aquí a representa el incremento de la amplitud de la onda y d la profundidad (Farreas, 1997).

1.4.3.6. Zona de impacto

En mar abierto un *tsunami* tiene una altura de unas décimas de metro (20 a 30 cm aprox.) pero cuando la onda arriba a la costa hay un aumento abrupto en su amplitud que depende principalmente de: la batimetría (profundidad) y de la pendiente de la costa. Estos factores ocasionan una gran variabilidad en la zona de impacto y en la gama de amplitudes a lo largo de las costas (C.O.I., 2008). Por ello la cota máxima de inundación (*run-up*) tiene una puede tener diferentes valores a lo largo de la costa.

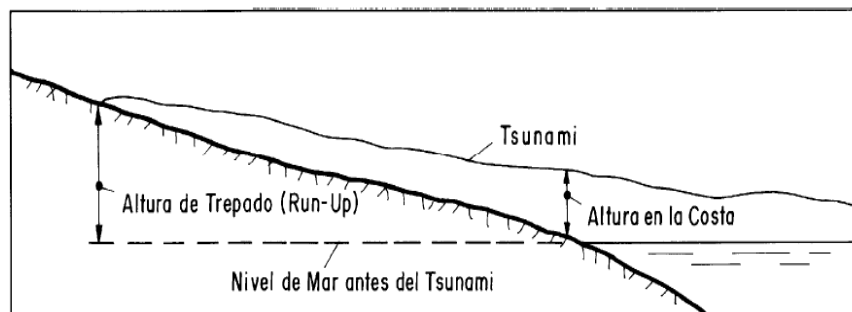


Figura 8. Cota máxima de inundación (*run up*) del tsunami en el límite de la costa (Farreas, 1997).

1.4.3.7. Tratamiento analítico (ecuaciones de propagación)

El modelo de aguas someras (the shallow water) que se presenta enseguida permite visualizar el tratamiento analítico básico de la propagación de los *tsunamis*.

a) Modelo Numérico

Se utilizan las ecuaciones de propagación para ondas largas en aguas someras donde el movimiento de las partículas de agua se modela con las ecuaciones de propagación para ondas largas en aguas someras (Goto & Ogawa, 1997), que resultan de las ecuaciones de conservación del momentum y de la masa, en la aproximación de aguas someras se supone que la aceleración vertical de las partículas del agua es despreciable en relación con la gravitacional, por esto el movimiento vertical del fluido no influye de manera significativa en la distribución de presiones a través de él y la velocidad horizontal permanece constante en esta dirección, debido a la condición anterior (Anexo 1).

1.4.4. Efectos de un tsunami

El tamaño del *tsunami* depende de la magnitud del sismo, la topografía de la costa, de la amplitud y de la energía de las ondas. Sus efectos pueden ser muy diversos, dependiendo no sólo del tamaño, sino de la vulnerabilidad de la zona de impacto. En general representa una amenaza natural de muchos alcances, ya que no solo se afecta a la población directamente, sino también el medio ambiente, el suelo, la economía, etc.

1.4.4.1. Efectos sociales y económicos

El impacto del *tsunami* puede causar afectación como:

- a) Deterioros y destrozos a viviendas (dependiendo de la estructura de la edificación) y a la infraestructura portuaria.
- b) Migración de la población a causa de las inundaciones y pérdidas humanas (dependiendo de las medidas de prevención tenidas en cuenta).
- c) Pérdida de recursos debido a la inundación, la pérdida en las cosechas y el turismo.

- d) Daño a embarcaciones, vías de acceso al territorio y al sector industrial de la región afectada, como por ejemplo a las empresas dedicadas a la producción y comercialización productos del mar.

En Suramérica todos países con costas hacia el Océano Pacífico han sido afectados por los *tsunamis*.

1.4.4.2. Efectos medio-ambientales

Las ondas de *tsunami* al llegar a la costa ocasionan inundaciones que pueden afectar:

- a) las fuentes de agua dulce (potable) pueden contaminar debido a la filtración de agua salada ;
- b) la flora y la fauna por pérdida de especies endémicas.
- c) el ecosistema y las formaciones vegetales (los manglares), producto del impacto de las primeras olas, que comúnmente son las que llevan mayor energía. En este sentido los manglares constituyen una defensa contra los tsunamis puesto que absorben primeramente la energía de las ondas que inciden sobre la costa.

1.4.4.3. Geológicos y topográficos

Dependiendo de la energía de las ondas de *tsunami*, se el suelo y la geografía del lugar pueden ver afectados. Estos factores son de gran importancia puesto que establecen en gran parte los perfiles económicos de la región, determinando las rutas de acceso al lugar y la estructura productiva a nivel edafológico; un *tsunami* puede ser bastante perjudicial en estos dos aspectos en cuanto:

- a) las ondas que van llegando a la costa arriban con gran energía ocasionando una degradación el suelo (fertilidad) por acción del agua; esto trae consigo una pérdida de nutrientes en los horizontes del suelo debido a la erosión.
- b) b) las turbulencias que se forman en el fondo del mar arrastran rocas y arena que al llegar a la playa deforman las líneas de costa.

CAPITULO DOS. GESTIÓN DEL RIESGO

2. 1 Importancia de la enseñanza de las Geociencias

La enseñanza de las ciencias al igual que otras disciplinas, constituye un proceso progresivo que cada vez más cobra protagonismo en el mundo actual, dado que en el día a día se puede ver cómo esta va tomando un papel primordial en la sociedad, y más aún como un motor de desarrollo para el país. Para algunos individuos resulta difícil la comprensión de algunas temáticas relacionadas con las ciencias exactas, puesto que esta maneja un tipo de lenguaje diferente al del común, pues esta maneja una estructura propia basada en un método experimental que se actualiza constantemente y permite cuestionar sus hipótesis de manera continua.

En Colombia los currículos escolares actuales se centran en las llamadas ciencias básicas, tales como: la física, la química y la biología. Dejando de lado otro tipo de trabajos interdisciplinarios que algunas ciencias realizan; por eso desde hace algún tiempo, se ha venido trabajando y desarrollando estudios interdisciplinarios entre las ciencias básicas, producto de ello se han elaborado herramientas y estudios útiles para el hombre en campos de estudio interdisciplinarios (Lacreu, 2012). Ahora en el aula de clase actual son pocos los trabajos que se prestan al estudio de temas interdisciplinarios, puesto que el sistema educativo colombiano no contempla en sus estándares este tipo de temas, como por ejemplo los abordados desde la biofísica, la geofísica, astronomía, geología, geoquímica, entre otros, puesto que se asumen como temas extras al plan de estudios o en algunos casos no relevantes para el tipo de población, dejando toda la responsabilidad a la universidad.

Relacionando esto con las ciencias de la tierra, se agudiza un poco más el problema debido a que en Colombia no se cuenta con una licenciatura a fin con este tema, y los docentes en ciencias naturales no asumen este reto a cabalidad, sino por el contrario tratan algunos temas desde cada una de sus vertientes (disciplinas) quitando el carácter interdisciplinario de este. Esto constituye un gran reto para la educación desde una perspectiva metodológica, y desde las geociencias se ayuda con este fin, pues se aportan buenas herramientas al estudiante, que le permiten mejorar su análisis del contexto y a ser crítico del mismo, potencializando competencias que según Lacreu (2012) ayudan a:

1. Explicar de manera naturalista la mayoría de desastres naturales.

2. Pensar críticamente la compleja causa de los daños incluyendo las causas antrópicas.
3. Reconocer que existen grados de predicción estadística y también certezas sobre lugares de riesgo, aunque sean imprevisible el momento preciso en la escala humana del tiempo.
4. Criticar y denunciar las explotaciones ilegales de áridos suelos y aguas.
5. Asumir actitudes firmes y eficientes para mejorar los desagües pluviales en el tejido urbano.

Para poder cumplir el objetivo de enseñar los docentes deben generar metodologías acordes a cada uno de los ciclos escolares y de población, donde se utilicen estrategias didácticas que lleven a los estudiantes a un aprendizaje significativo por medio de procesos descriptivos y analíticos, y que además generen una motivación hacia este tipo de áreas desde cualquier tipo de entorno escolar, para poder generar un mejor desarrollo en esta ciencia y, mejorando el nivel de los estudiantes que optan por este tipo de carreras en la vida universitaria durante los primeros semestres, poder profundizar aún más.

El proceso de enseñanza y aprendizaje de las geociencias es importante porque contextualiza, explica y analiza los fenómenos naturales, geológicos, atmosféricos y además nos aclara procesos naturales que en la actualidad son bastante importantes, como por ejemplo: la explotación de recursos minerales y su implicación en la degradación ambiental del entorno (Lacreu, 2012). Lo cual pedagógicamente hablando lo sitúa como una práctica constructivista puesto que se relaciona al sujeto de un manera activa en la construcción de su conocimiento y además cambian las rutinas de enseñanza clásicas que se venían dando, por un proceso pedagógico activo en el cual la didáctica juega un papel fundamental.

2.2 Posibles procesos didácticos

Para la enseñanza de los temas abordados en geociencias se deben vincular nuevos métodos de enseñanza, donde se muestren los fenómenos estudiados de una manera progresiva, vinculando este tipo de temas desde la primaria. Pero para poder generar un aprendizaje duradero, se deben vincular herramientas que permitan transmitir este conocimiento de una manera favorable dado que para la gran mayoría de estos fenómenos la escala es demasiado grande y la experiencia sensible limitada. Una posible solución para este asunto sería la implementación de herramientas visuales e interactivas que permitan ayudar con el aprendizaje del estudiante, algunos ejemplos de estas pueden ser: las ayudas visuales (imágenes, organizadores gráficos y animaciones),

prototipos a escala, software y simulaciones con gran cantidad de temas relacionados con las geociencias o al menos con los fundamentales.

En la actualidad hay distintos organismos de investigación científica como: la corporación OSSO, USGS (U. S. Geological Survey), BBC (British Broadcasting Corporation). entre otros, dedicados a la investigación en geociencias y también a la parte educativa de esta, proporcionando material didáctico e interactivo. Cabe destacar que la implementación de estas herramientas didácticas no debe convertir la labor docente el algo meramente instrumentalista, sino por el contrario se deben utilizar como herramientas que faciliten el aprendizaje guiado por el docente. Por último se debe resaltar el papel importante que tienen las geociencias en el estudio de fenómenos geológicos y meteorológicos que son importantes para el hombre, tales como: los sismos, las erupciones volcánicas o las tormentas tropicales.

2.1 Conceptos importantes

El conocimiento de los fenómenos naturales constituye una herramienta importante en la formulación de decisiones, relacionadas con la ejecución de estrategias de prevención donde se muestre un tratamiento adecuado de los posibles daños que se generen tras la acción de un fenómeno natural. Este es un proceso complejo que en la actualidad cobra más protagonismo día a día, debido a la gran cantidad de daños que repercuten en el bienestar del hombre.

Una de las actividades que comúnmente se realiza con relación a este tema, son los planes de evacuación, que necesitan de un proceso de identificación para tener un nivel de efectividad mayor. Este conocimiento no solo se debe encontrar ligado a los organismos de control como la alcaldía o la secretaria de gobierno o la cruz roja, sino debe ser difundido a la población en general. Por tal motivo la descripción del cuerpo de significado que se encuentra tras la estrategia es importante darlo a conocer, pues estos conceptos se hacen necesarios para una mayor comprensión de los cambios que sufre el medio físico en el que se reside, y más aún cuando ocurren este tipo hechos. A continuación se dan a conocer algunos de los más importantes.

2.1.1 Amenaza

Esta puede ser entendida como la probabilidad que un evento natural de determinada magnitud y tipo ocurra durante un período de tiempo (CEPAL, 2005), se encuentra relacionada con los

efectos que se desencadenan por la acción de un fenómeno natural o meteorológico. El análisis previo de esta puede ayudar a minimizar los desastres que se puedan ocasionar a futuro; ahora si se manejan desde un proceso pedagógico, por medio del cual se analicen las amenazas presentes en la institución y los factores que aumentan la vulnerabilidad, el nivel de amenaza sería mínimo.

2.1.2 Vulnerabilidad

En el análisis de los desastres se debe tener en cuenta la susceptibilidad que se tiene a la ocurrencia de un fenómeno natural, es decir, la vulnerabilidad. Por tal motivo se deben identificar aquellos factores que pueden influir en el aumento de esta. Un primer factor serían los geológicos, entendidos como la ubicación cercana de una zona de alta sismicidad o propensa a derrumbes, que son los más comunes en nuestro país, debido a problemas en su gran mayoría con los planes de ordenamiento territorial, y debido a esto también resultan ser los más cuantiosos. Un segundo factor serían los meteorológicos; en la actualidad el clima resulta ser un factor predecible en cuanto a su ocurrencia, mas no en su magnitud, como por ejemplo el fenómeno del niño y el fenómeno de la niña. Otro factor que en nuestro país es una de las mayores causas de desastres y que ocasiona un alto índice de vulnerabilidad en cualquier región, se encuentra vinculado con el crecimiento desproporcionado de la población lo que conlleva a una ubicación desordenada, y algunos casos riesgosa, pues se sitúan en lugares de riesgo como por ejemplo: acantilados, zonas de alta actividad sísmica, laderas. En el municipio de Guapi, se tienen dos indicadores de vulnerabilidad de los anteriormente nombrados, los cuales son: su ubicación geográfica y la ubicación de casas cerca al río, es decir aumenta el nivel de riesgo debido a amenazas geológicas y meteorológicas.

2.1.3 Riesgo

Es la condición de peligro a la que se encuentra propensa la población, viene dado por diferentes factores que se relacionan con: el nivel económico de la región, la ubicación, el tipo de construcciones, etc. estos son muy importantes puesto que en caso de generarse un fenómeno sísmico o meteorológico aumentaría o disminuiría el nivel de daño y por tanto sería mucho mayor la intervención que se haría por parte de los organismos de control. Este es una situación cronológica; es decir aumenta o disminuye dependiendo de las acciones que se tengan en cuenta,

aumenta cuando en ocasiones varias amenazas naturales se combinan generando un mayor nivel de vulnerabilidad.

2.3 La educación para la gestión del riesgo

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de poblaciones que se encuentran cerca o propensas a una amenaza natural, desconocen las causas de producción y en algunos hasta los hechos que puede llegar a ocasionar. Para dar solución a este aspecto las geociencias proporcionan el conocimiento, pero no basta solo con conocer los agentes que lo producen, si no saber actuar frente a este hecho, y mejor aún prevenir cualquier tipo de pérdida que se pueda dar. Como un complemento a este asunto se relacionan las geociencias y la gestión del riesgo, dando un complemento formativo y de planificación relacionados con los fenómenos naturales y meteorológicos, capaces de producir un desastre en la población.

La gestión para la prevención puede ser entendida como una de las muchas aplicaciones que tiene el estudio de las ciencias de la tierra, pues además de tener un aporte significativo al quehacer científico, también que brindan una ayuda al conocimiento del entorno y su propia interacción. Centrándonos en este aspecto la educación para la gestión del riesgo permite caracterizar las amenazas naturales a las que se encuentra propensa una determinado población, dando a conocer su naturaleza de producción, dentro de las más comunes se pueden identificar los eventos producidos por hechos meteorológicos y geológicos. Para estos dos tipos de hechos el nivel de incertidumbre es bastante alto porque, en las meteorológicas se puede decir cuáles son las temporadas de producción, pero muchas veces las campañas se quedan cortas a las magnitudes de estas temporadas, tal es el caso de la temporada invernal pasada en Colombia y en Ecuador. En cuanto a las geológicas las campañas deben tener un proceso de planeación mucho más ambicioso, puesto que no se puede saber cuándo se producirá, ni los daños que ocasionará. El proceso de planeación ayuda a minimizar los efectos negativos que puede llegar a tener en sectores como: el socioeconómico, el estructural, sicosocial y ambiental (desastres secundarios) son bastante grandes.

Debido a esto este aspecto resulta ser bastante relevante, pues según cifras proporcionadas por el Banco Mundial (2012),

“durante los últimos 40 años los desastres han ocasionado pérdidas que alcanzan los US\$ 7.100 millones, es decir, un promedio de pérdidas anuales de USD\$ 177 millones”.

Por eso desde el ámbito educativo se puede fortalecer el proceso de gestión del riesgo, contribuyendo a la elaboración de campañas educativas encaminadas a la gestión del riesgo, para tratar de disminuir la gran mayoría de impactos que pueden llegar a ocasionar un fenómeno como estos. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se puede decir que lo peligroso para el hombre no resulta ser la amenaza natural como tal, sino por el contrario los actos que se desencadenan tras su manifestación, a estos hechos que ocasionan una emergencia se les da el nombre de desastre en la gran mayoría de casos se encuentran relacionados con fallas en los procesos de prevención, específicamente con la planificación.

2.3.4 Contribución de la educación a la gestión del riesgo

La educación contribuye a dos procesos importantes en la gestión del riesgo, los cuales se relacionan con el antes y el después de la amenaza, estos son: la planificación y la rehabilitación, en estos además de la estrategia metodológica planeada para la transmisión de información, se vincula a la educación con el fin de contribuir en el proceso de capacitación de la gente y además con el diseño de campañas educativas y didácticas para ayudar a la minimización de daños. Centrándonos en este último, en la actualidad se considera como uno de los más importantes, debido a que en estas situaciones es necesario analizar todos los factores que permitan tomar decisiones a futuro (Comunidad andina, 2009). Las partes del proceso de gestión del riesgo se centra en tres objetivos principales: planificar, organizar y dirigir, las estrategias que se tengan o implementen para poder tomar futuras decisiones.

Desde 1989 el gobierno nacional da a conocer su interés por el tema de la gestión del riesgo, por tal motivo genera el decreto 919 donde todo gobierno debe tener un Plan Local de Emergencias donde se muestren cada una de las posibles amenazas a las que se encuentra propenso determinado municipio, este debe ser actualizado de manera permanente debido a los cambios que sufre el entorno. Uno de los fines principales con los que se realiza este plan, es mejorar la calidad de vida de las personas por medio del análisis de los riesgos, para cumplir con tal fin el municipio debe contar con un análisis detallado de las posibles amenazas naturales a las que se

encuentra expuesto; evidenciando claramente la veracidad que debe cumplir el proceso de planeación en dicho documento.

2.4 Plan local de emergencias del municipio de Guapi

La importancia de los planes de emergencias y contingencia no solo radica en el compromiso legal establecido con las normas que regulan la materia, sino va más allá de una descripción de responsabilidades institucionales básicas, pues entre otras cosas tiene como propósito establecer la forma como: la administración, instituciones, sectores y comunidad se organizarán para afrontar situaciones críticas (Administración municipal Guapi, 2011). De la misma forma que se constituyen como un referente temático para la población con referencia a las posibles amenazas que pueden llegar afectar a la población.

En la realización de este documento en cualquier municipio, el diagnóstico indica una gran efectividad del plan local de emergencias que se realice, pues este permite identificar los índices de vulnerabilidad más altos que tienen cada región, además de la implementación de las conductas adecuadas en cada una de las situaciones de riesgo que se presente. En el municipio de Guapi se contemplan gran cantidad de emergencias (Tabla 1) que se pueden producir en sus dos secciones, la rural y urbana, en su plan se muestran todas las posibles amenazas a las que puede estar expuesto o se han presentado, estas pueden ser: naturales, sanitarias, meteorológicas y antrópicas, dentro de las que se han producido durante el último siglo se resaltan (Administración municipal Guapi, 2011):

Tipo de amenaza	Ejemplo
Antrópica	<p>Incendios: estos son muy comunes en esta región, debido a que el material con el que se construyen las casas es madera y además la luz se va todos los días a la 1 de la mañana y llega hasta las 7 A.M. por tal motivo se utilizan las velas para suplir este servicio.</p> <p>Explosiones: debido a que el medio de transporte más común dentro de la región son las lanchas, varios de estos hechos se han producido por el mal manejo de los motores y gas propano al interior de las casas y durante el transporte en los barcos.</p>
Natural	Sismos: A causa de su ubicación geográfica el municipio se encuentra

	cerca de una zona de subducción estos se producen con bastante frecuencia; por tal motivo se producen <i>tsunamis</i> que pueden llegar a generar un gran nivel de daño en el pueblo, se han producido en el siglo pasado dos de magnitud considerable en 1906 y 1979.
Meteorológica	Inundaciones: En los últimos años, durante las temporadas de invierno el nivel de agua del río asciende desproporcionadamente, debido a sus afluentes, los ríos Napi, Guaji y San Francisco; a causa de esto varios corregimientos de la parte rural y del casco urbano han sido afectados.

Tabla 1. Descripción general de las amenazas sucedidas en el municipio de Guapi durante los últimos años, (Administración. municipal Guapi, 2011).

Uno de los centros de acopio más grandes de personas en el casco urbano, son los colegios, sobresaliendo de entre los mismos, la Normal Superior “La inmaculada” y el Colegio Agropecuario San José, albergando a casi 1/5 de la población del municipio. Comprometidos con la gran labor social que enmarca a la educación, la normal en su proceso de preparación de docentes para los niveles de básica primaria y preescolar, les enseña a sus aprendices a ser capaces de adaptarse al contexto educativo actual y poder generar en sus estudiantes tales capacidades, que les permitan analizar e interactuar con el contexto de una manera adecuada, tales competencias son un gran aporte al proceso de prevención y gestión del riesgo, pues se convierte en una fuerte herramienta para afrontar la realidad.

CAPITULO TRES. CARACTERISTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL MUNICIPIO DE GUAPI (CAUCA).

En aspectos como la prevención es muy importante identificar características de la región que permitan tomar decisiones e identificar el nivel de daño producido por un fenómeno natural, por tal motivo es necesario tener una descripción general del territorio en el cual se trabajó, a continuación se presenta una descripción geográfica general de Guapi donde se dan a conocer aspectos importantes que pueden brindar un mayor panorama al momento de analizar la interacción de un fenómeno natural, para este caso el *tsunami*.

3.1 Geografía humana del municipio

Esta población se encuentra constituida en un 97% por descendencia afrocolombiana e indígena y el 3% restante son mestizos y algunas minorías pertenecientes a la raza blanca, producto de las migraciones de comerciantes de regiones vecinas (Alcaldía municipal, 2008). Los rasgos culturales de la región africana sobresalen a lo largo de todo el municipio, pues mantienen una relación estrecha con la naturaleza que se puede observar en sus bailes,, prácticas culinarias) y destreza con los deportes, esto permite transmitir la identidad de su raza a través de generaciones.

Otro rasgo que se preserva en las veredas y que se convierte en un gran factor de riesgo en caso de presentarse un sismo, es la construcción de casas en madera a horillas del río y en las zonas rurales. En la parte central del municipio predomina la construcción a base de concreto y ladrillo, la cual ha ido aumentando debido a la migración por problemas de orden público, social y económico que ha tenido la población rural, las familias de este municipio son paternalistas en su mayoría, numerosas (6 individuos en promedio) lo que disminuye el espacio por habitante y la calidad de vida de estas personas en este territorio tan pequeño.

Las actividades económicas del municipio se centran en la explotación de recursos naturales y minerales, de estas sobresalen algunas pertenecientes al sector primario como: la minería, la agricultura y el ecoturismo, a continuación se da una breve descripción de cada una de estas resaltando la importancia que tiene para el municipio.

3.1.1 Agroindustrial

Se trabaja en un nivel básico a lo largo de toda la región, pues es poca la implementación de tecnología de punta en la realización de sus actividades. Esto resulta ser una gran desventaja pues no permite expandir el mercado hacia otros lugares, ni transportar los productos de una manera rápida al interior del país lo que incrementa en gran parte el costo de su comercialización, la principal causa de esto es la forma de acceso que tiene el municipio, pues resulta demasiado difícil y costoso el transporte de maquinaria. Otra actividad económica llevada a cabo en esta región y relacionada con este aspecto, es la pesca artesanal esta se lleva a cabo por medio de redes y cañas, que se colocan en las afluentes o a través del río, esta es una de las principales actividades económicas del municipio, ya que debido a su cercanía con el mar, las pesqueras que funcionan en el municipio comercializan mariscos y pescados (Alcaldía municipal, 2008).

3.1.2 Ecoturismo

Este municipio goza de una gran riqueza natural y paisajística derivada del ecosistema propio de la zona, entre algunos de estos atractivos se pueden encontrar: las islas Gorgona y Gorgonilla, manglares endémicos y playas localizadas en la gran mayoría de costas del municipio (Rodríguez & López ,2009)., teniendo en cuenta eso empresas nacionales e internacionales como: Aviatur ha intervenido de una manera positiva generando empleo en la región y apoyo al ecosistema además ha hecho campañas ecoturísticas que apuntan a mejorar el bienestar de la región. Para apoyar tal iniciativa la secretaria de educación del municipio oriento en conjunto con la junta directiva de la institución educativa San Pedro y San Pablo el proyecto educativo institucional (P.E.I.) de la misma para fortalecer el proceso de bilingüismo encaminado a fortalecer el proyecto de ecoturismo con el fin que los estudiantes de esta institución fueran guías para los extranjeros dentro del complejo turístico isla Gorgona, explotando así el potencial intelectual y natural de la región de una manera efectiva.

3.1.3 Minería

El 30% de estas prácticas se lleva a cabo de manera artesanal; la explotación de recursos minerales se centra en las afluentes de los ríos Guapi y Najuí, en las cuales el baharequeo es una

de sus principales formas de recolección para ello se localizan en las corrientes menores de los abanicos del río. Las minas de menor explotación se localizan selva adentro, estas ocasionan efectos negativos los cuales se encuentran ligados principalmente con la pérdida del ecosistema, mortandad faunística y la deforestación por la explotación aurífera (Rodríguez & López ,2009).

3.2 Geografía física del municipio

El identificar las accidentes geográficos de la región donde se reside constituye un gran indicador de prevención, ya que permite identificar las zonas que resultaran potencialmente afectadas frente a un fenómeno natural, cómo por ejemplo un tsunami, pues las características geográficas de un territorio costero se van modificado por la acción de fenómenos geológicos relacionados con la interacción del fenómeno natural, estos pueden ser: la licuefacción, la erosión y si en los últimos años o décadas se ha producido un tsunami se modificaran en algunas partes la líneas de costa.

3.2.1 Ubicación de la zona de estudio

El municipio de Guapi se ubica al occidente de Colombia hacia al norte de la costa Pacífica limitando al norte con el municipio de Timbiquí, al occidente con el océano Pacífico, al Sur con el Municipio de Santa Bárbara de Iscuandé (Nariño) y al Oriente con el Municipio de Argelia y posee una extensión de 140560,52 Km², (Rodríguez & López ,2009).

3.2.2 Acceso

Al ubicarse en la costa del país, el municipio de Guapi se encuentra bañado por el océano Pacífico, debido a esto, solo cuenta con dos formas de acceso con el resto del territorio Colombiano las cuales son: la marítima y la aérea, predominando entre estas dos la marítima, ya que resulta ser la más económica y es la más practicada en esta región debido a su cercanía a los ríos y al océano. La vía aérea comunica al municipio con las ciudades de Cali y Popayán, prestando el servicio no sólo de transporte sino también de salud y correspondencia entre departamentos; esta ruta de avionetas pertenece a la empresa Satena.

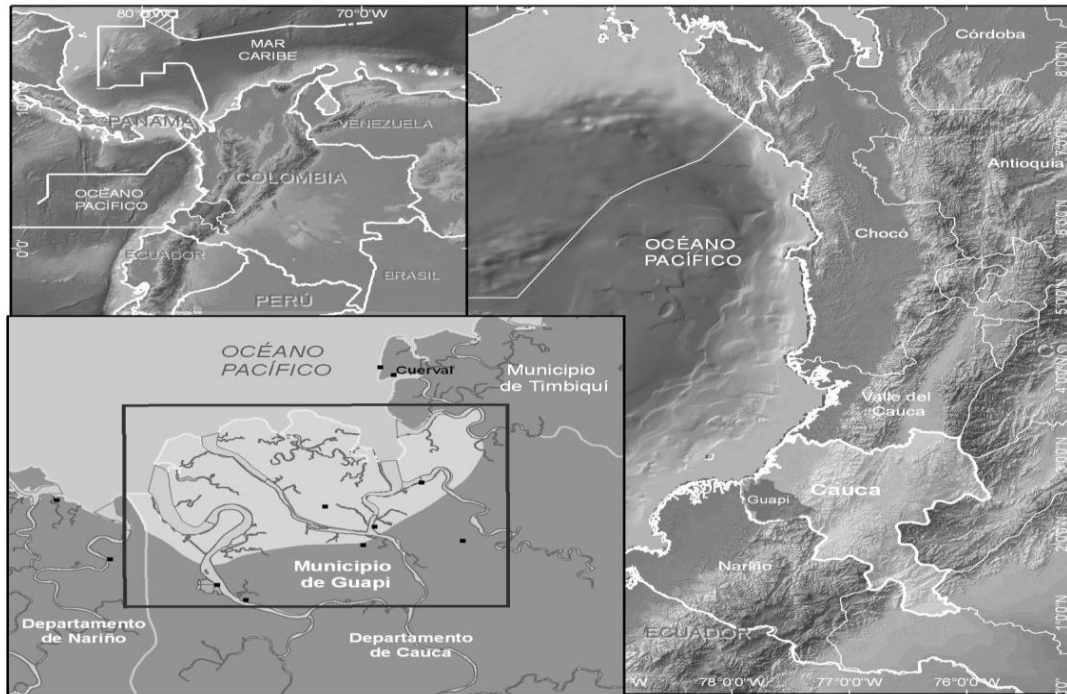


Figura 9. Ubicación geográfica del municipio de Guapi (Rodríguez & López ,2009).

En su interior el municipio está atravesado por una vía principal que comunica la parte sur con la norte y a partir de esta se desprenden vías secundarias que comunican los barrios que se localizan hacia el interior. Además de esto cuenta con caminos reales y trochas que lo relacionan con veredas alejadas del centro del pueblo, pero por lo general el medio de transporte más utilizado es el acuático por medio de lanchas, barcos, potrillos, etc. este resulta ser una gran herramienta para dar solución al problema de movilidad que presenta el municipio y la región en general.

3.2.3 Hidrografía

La presencia de ríos navegables a lo largo de toda la región, hacen del municipio un territorio rodeado por grandes cuerpos de agua, pues se localizan las cuencas principales de los rio Guapi y Guajuí, produciendo grandes esteros a lo largo de la costa como: el Loro, Limones, Quiroga, Playa Blanca, los Obregones o Pejesapo y el Barrero (canal) (Alcaldía municipal Guapi, 2008). El rio Guapi y limones son transitables durante todo el día, con un lecho profundo esto favorece la movilidad pues no hay peligro de ser encallado y la economía, ya que en las partes donde la profundidad es menor se llevan a cabo actividades agroindustriales como la pesca artesanal de maricos y peces.

3.2.4 Clima

La condición climática de la región Pacífica está afectada por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), es decir influenciada por ambos hemisferios, donde se tiene la más baja presión intertropical y por consiguiente predominan condiciones lluviosas (Mejía, 1989) lo que aumenta la humedad e inestabilidad en el aire por tal motivo la precipitación en el municipio es abundante y varía dependiendo la temporada (mínima en noviembre y diciembre y máxima en junio y julio). La temperatura promedio del municipio se encuentra entre los 14 y 28 °C y la precipitación de 4000 y 6000 mm por año.

3.2.5 Vegetación

Debido a su ubicación cerca a la playa y a su condición climática, en este territorio se localizan especies de manglar que contribuyen al desarrollo sostenible de la región, puesto que en su interior se pueden hallar partes de la ictiofauna que se alimentan a partir de nutrientes encontrados o producidos por el fitoplancton al interior del mismo (Rodríguez & López ,2009). Este ecosistema constituye no solo una fuente ecológica, sino también económica y cultural, ya que en las regiones donde se localiza, se implementan estrategias productivas que tratan de aprovechar y conservar los recursos presentes, por tal motivo desde entes gubernamentales como: la CRC (Corporación Autónoma Regional del Cauca) e INVEMAR se han encaminado investigaciones que propicien dichos aspectos. El manglar también constituye una herramienta fundamental relacionada con la prevención pues se pueden disminuir los daños que pueda causar un sismo tsunamigénico por medio de “barreras naturales” que sobresalen de la costa o se sitúan lejos de esta y disminuyen la energía de la onda lo que ocasiona una disminución de amplitud y del run-up.

3.3 Perfil tectónico y sísmico de la región

Guapi por su localización geográfica se encuentra dentro de una región tectónica y volcánica activa, debido a la cercanía que se tiene con la zona de subducción Colombo-Ecuatoriana donde la placa oceánica es subducida por la continental. Lo anterior la constituye en una región de geografía costera cambiante debido a la erosión continua que causan los ríos Guapi, limones y sus vertientes en cada una de las costas, estas se van modificando progresivamente dependiendo del flujo de agua (época del año), en la actualidad la costa de la bahía de Guapi está formada por

sedimentos finos de arena, debido a este fenómeno y al gran oleaje en la parte de la desembocadura.

La vegetación en las costas no llega hasta la orilla de los esteros, sino que producen amplias playas y la vegetación se localiza unos metros antes de la costa, hacia el interior de estos la cobertura vegetal aumenta (manglar) y el contenido orgánico del suelo también, ya que en la gran mayoría de este territorio los suelos son arcillosos y tienen un grosor de 1- 1,50 m aproximadamente que protege a la capa vegetal de la erosión, pues al tener este tipo de textura permite afianzar mejor las raíces, aumentando el contenido de limo en relación con la arcilla. Tienen una pendiente suave en algunos puntos, donde es más aguda los trozos de terreno tienden a caer por acción de la gravedad y se ve una deformación parcial del suelo, por lo general en las zonas circundantes al municipio de Guapi que se encuentran cubiertas de vegetación se localizan los pozos de agua dulce que no se salinizaron después del terremoto de 1979.

La zona pacífica colombiana es catalogada como una de las regiones con mayor actividad tsunamigenica, ya que en el último siglo se han registrado cerca de 120 tsunamis registrados (figura 13), con una profundidad (h) de 100 Km (superficiales) y con una magnitud ≥ 7 (Restrepo & Otero 2007), Lo anterior permite clasificar a la zona de suramérica como una de las regiones más propensas a tsunamis de origen tectónico, específicamente a los países que se encuentran cerca a zonas de subducción como por ejemplo el sur de Colombia y el norte de Ecuador.

Por tal motivo en esta zona se pueden producir tsunamis de origen lejano y cercano, ya que al ser una región activa y tan extensa los sismos producidos en cualquier punto de la cuenca del Pacífico pueden afectar a cualquier parte de la costa, para este caso la región pacífica colombiana en sus dos extremos es la principal afectada por este tipo de hecho, puesto que la Caribe posee una actividad tectónica menor, la actividad tectónica se centra en la parte norte y sur de la región, hacia el golfo de Urabá y departamentos como Nariño, Valle del Cauca y Cauca (Rodríguez & López Rodríguez, 2009).

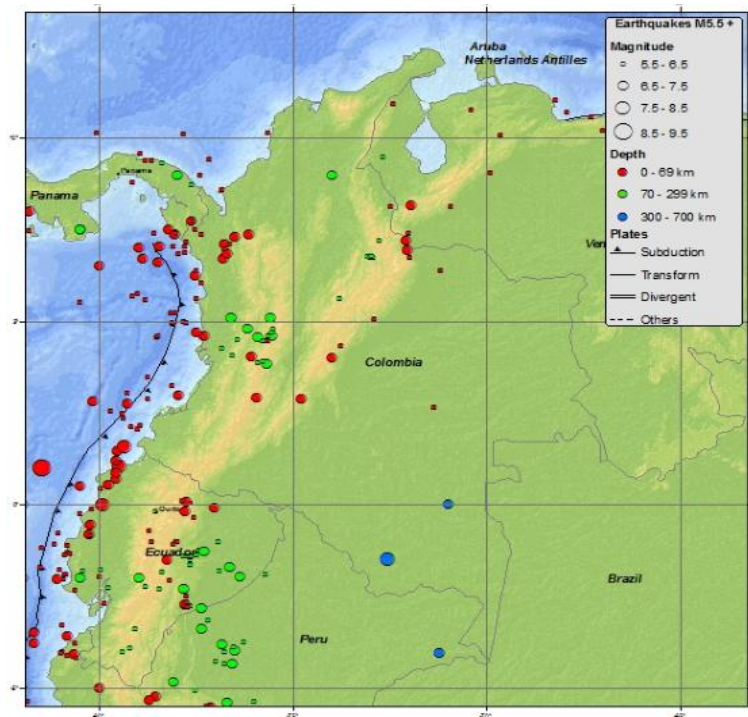


Figura 10. Mapa de rangos de sismicidad de los últimos 20 años en la región pacifica colombiana. (USGS, 2013)

3.4 El tsunami de 1906

Se produjo en la zona de subducción Colombo-Ecuatoriana y su epicentro fue en la ciudad de Esmeraldas (1.0 N, 81,5 W) al noroeste de Ecuador, se conoce como uno de los sismos de mayor magnitud ocurrido en Colombia y el de mayor energía liberada para ese entonces, pues tuvo una magnitud de 8,9 en la escala de Richter (Datos proporcionados por la red sismológica nacional). La ruptura sobre la falla que produjo este sismo se calculó en 500 km de largo x 150 km de ancho, localizándose aproximadamente paralela a la línea de costa entre la población de Manta, Ecuador, hasta la ciudad de Buenaventura, en Colombia (Kelleher 1972; Kanamori and McNally 1982).

Se le conoce en la región con el nombre de “la visita”, se estiman que fueron trescientas las víctimas, ya que el mar arrastró con islas enteras entre las que se encuentran las de Mulatos, Boquerones y Amarales, todas ellas considerablemente habitadas y en donde los pocos que pudieron escaparse lo hicieron cogidos de los árboles más altos. Las islas Gorgona y Gorgonilla quedaron casi desaparecidas en su totalidad solo se alcanzaba a notar la parte superior, el

municipio no fue tan afectado en relación con otros debido a la localización de islas e islotes que recibieron el impacto principal del tsunami (Ramírez, 2004).

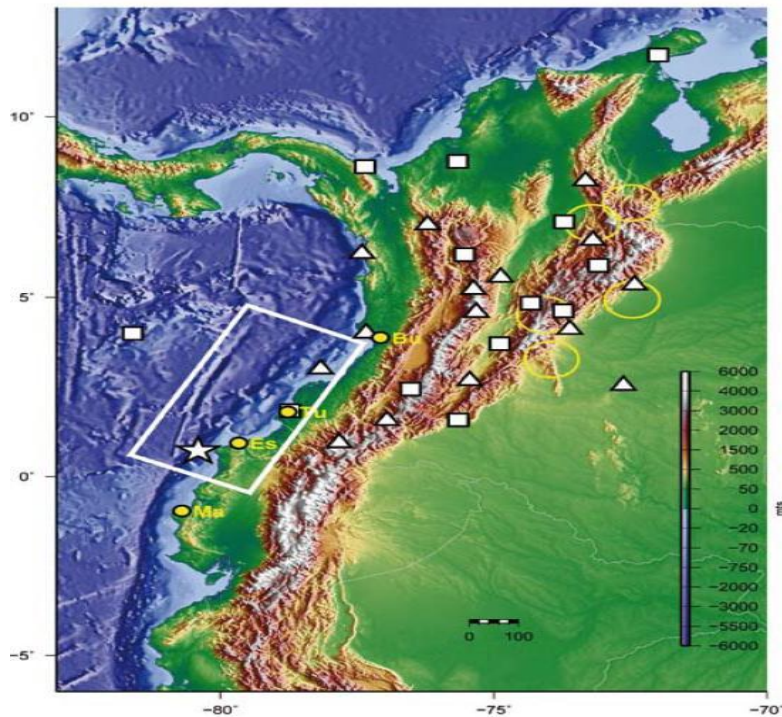


Figura 11. Mapa del noroccidente de Sur América con la localización y área de ruptura aproximada del sismo de enero 31 de 1906. Estrella = epicentro del sismo principal Polígono=zona de ruptura aproximada (modificados de Kanamori and McNally, 1982). Cuadrados rellenos, triángulos rellenos y círculos amarillos: Localización de las estaciones de banda ancha, corto período y subredes, respectivamente, de la RSNC. Círculos negros con relleno amarillo: poblaciones (Bu = Buenaventura, Tu = Tumaco, Es = Esmeraldas, Ma = Manta). La escala del mapa está en km y los datos de elevaciones y batimetría en m (Sánchez & Clavijo, 2011).

Antes del gran sismo, se produjeron temblores de menor intensidad que alarmaron a la población y dieron pie para que esta se concentrara en el centro del pueblo a hacer plegarias a Dios. Cuando este se originó se escuchó un gran estruendo minutos después se produjo una gran ola que arrasó con: 49 casas, playas cercanas al municipio como: Quiroga y El Corbal y 49 personas muertas que vivían en veredas cercanas y algunos eran pescadores (Ramírez, 2004).

3.5 El tsunami de 1979

“Las palabras se quedan cortas para describir la magnitud de este fenómeno natural, es verdaderamente triste ver como las casas cayeron, las escuelas y los hospitales se perdieron entre

tantos escombros” Amanda Banguera residente de Bahía Tumaco actualmente reside en el municipio de Guapi (Cauca).

Este hecho se produjo cerca al municipio de Bahía Tumaco en la zona de subducción Colombo-Ecuatoriana, El sismo principal tuvo una magnitud de (Mw) 7.7 en la escala de Richter, luego se produjeron cuatro sismos precusores, los cuales aumentaron el nivel de daño en la región pues causaron un reflujo de los caudales en los ríos Guapi, Iscuandé, Patía y Tajero lo cual ocasiono daños en viviendas que se encontraban cerca a los dominios de estos ríos (Ramírez, 2004). Los principales municipios afectados en Colombia fueron: Tumaco, Guapi y el Charco, sin embargo, el sismo también se sintió en algunas ciudades del País como: Popayán y Cali. En Ecuador las ciudades de Esmeraldas y Bahía Caráquez también resultaron siendo afectadas por este hecho.

El municipio de Tumaco quedo incomunicado, puesto que todas las vías de acceso e inclusive el aeropuerto quedaron devastados, también se presentaron problemas sanitarios de gran magnitud de los cuales se resaltan casos de antropofagia y canibalismo a causa de la falta de alimentos en la región. En el departamento del Cauca hubo tres municipios que resultaron seriamente afectados, estos fueron: Timbiquí, Guapi y López de Micay. Durante el sismo Guapi registro daños solo a nivel estructural (37 casas destruidas y el desplome del tanque de agua del hospital) y ambiental (perdida de especies endémicas de manglar debido al choque del tren de onda), la magnitud de los daños se redujo porque el nivel del agua del rio no era tan alto debido a las condiciones meteorológicas de ese entonces (Ramírez, 2004).

Durante este hecho el agua dulce que se encontraba en los estratos inferiores del suelo se contamina generando agua salobre (mayor nivel de salinidad), este proceso es demasiado violento y el agua acumulada puede brotar hacia el exterior como un geiser, esto genero un aumento abrupto de la presión hidrostática en los estratos, lo que ocasiono licuefacción y aumento de la humedad en los territorios costeros del municipio de Tumaco. El sismo tsunamigénico ocasiono cambios nivel tectónico, puesto que se produjo un hundimiento de 200 Km de la costa del sur del Pacífico colombiano y del norte de Ecuador, debido a la gran vibración producida ocurrió una compactación de los sedimentos del suelo, generando un asentamiento en este (Ramírez & Goberna,1980).

CAPITULO CUATRO. ESTRATEGIA DIDÁCTICA Y ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN

4.1 La estrategia didáctica

El contexto escolar colombiano requiere docentes consientes de las condiciones ambientales, culturales, sociales, económicas, etc. de los estudiantes, por tal motivo se deben generar estrategias o ambientes de aprendizaje que permitan potencializar habilidades en cada uno de estos aspectos. Para solventar la gran mayoría de necesidades de cada uno de estos entornos, la educación se plantea como una herramienta fundamental para transmitir la información de una manera didáctica para cualquier nicho de población. Por tal motivo el debido y oportuno uso de la información con relación a una amenaza natural, permite generar conductas de prevención que pueden llegar a minimizar hechos desastrosos, donde quizá uno de los más significativos sea la disminución de víctimas humanas; por tal motivo en este caso la adquisición de conductas de prevención encaminadas a la disminución de cualquier tipo de daño, es el emblema de muchas campañas realizadas por organismos gubernamentales e investigaciones científicas.

Para la formulación y desarrollo de este proyecto, se hicieron dos visitas al municipio de Guapi. En la primera se planteó el proyecto teniendo en cuenta un análisis del contexto general y escolar con ayuda de la práctica pedagógica, posteriormente se hicieron seis entrevistas, lo cual sirvió para hacer un diagnóstico de necesidades en cuanto al tema de prevención de emergencias y desastres a causa de fenómenos naturales relacionado con la normal superior “La inmaculada”, de aquí surgió la idea de estructurar y llevar a cabo una estrategia que permitiera informar y concientizar a la población perteneciente a esta institución frente a un tema un poco desconocido como lo es el *tsunami*.

Viendo la amenaza latente a la que se encuentra propensa el municipio, se plantearon una serie de actividades que tuvieron como fin:

1. Fortalecer el plan de prevención y atención desastres de la normal, dando a conocer el tsunami de una manera experimental y teórica, para disminuir el nivel de riesgo al que se encuentran propenso las personas por medio de la información.
2. Dar a conocer los procesos de generación, producción e interacción de un tsunami teniendo en cuenta el análisis geográfico de la región en pro de generar mecanismos de prevención que se puedan implementar dentro de la institución educativa.

3. Identificar las debilidades que tiene la institución educativa en términos de gestión del riesgo, relacionado con los tsunamis.
4. Informar a la población del municipio sobre el tsunami por medio de los estudiantes de los grados 10, 11 y del ciclo complementario a la población.
5. Analizar el tsunami desde una parte fenomenológica y analítica, dando a conocer las causas que ocasionan cambios a lo largo de su recorrido en magnitudes como: velocidad, amplitud, frecuencia, periodo y longitud de onda.
6. Generar un aporte conceptual y metodológico al plan de emergencias de la institución a través de la implementación de la serie de actividades contempladas en la estrategia.

Se tuvo en cuenta que alguna vez la población de la normal habría escuchado o sabido de este fenómeno, que se conoce en la región como “el sacudón”, la estrategia se planteó en consenso con la secretaria de gobierno y el CLOPAD (Comité Local De Atención y Prevención de Desastres) como un complemento para la institución y posteriormente para el municipio. Este tema parece ser muy discutido en la región pero poco conocido por la población, según lo indagado con docentes, estudiantes y pobladores del municipio en general.

Con el fin de generar en la población un conocimiento significativo acerca del fenómeno y de posteriormente la implementación de los conocimientos en pro de la prevención, en la estrategia se definieron tres momentos; cada uno pretendió dar a conocer los aspectos disciplinares relacionados con el *tsunami* y los pedagógicos que se vinculan específicamente con la asimilación del concepto. A continuación se dan a conocer las 3 fases de la estrategia junto con su propósito.

FASE	PROPOSITO
Conozcamos el fenómeno	<p>Explicar la producción del sismo y posteriormente del tsunami, dando a conocer cada una de sus características.</p> <p>Conocer los agentes de producción del sismo, y el cambio de amplitud que sufre la onda a causa de la disminución de la profundidad.</p>
Interactuemos	<p>Hacer una analogía con base en un prototipo donde se muestre la variación de la amplitud de un <i>tsunami</i>.</p>

Juntos previniendo	Mostrar las acciones que se pueden llevar a cabo teniendo en cuenta las características de la región y del tsunami que se produce.
-----------------------	--

Tabla 1. Propósitos de cada una de las fases de la estrategia didáctica diseñada.

4.1.2 Conozcamos el fenómeno

Tal como se ha venido mostrando a lo largo de este trabajo son muchos los parámetros que influyen en la producción de un *tsunami*, pues los cambios que sufre la onda sísmica a lo largo del océano se relacionan con características: físicas, geológicas, geométricas y geográficas del entorno y del foco de producción. Por tal motivo, se dan a conocer a la población de una manera descriptiva, cada uno de los procesos que dan origen al sismo y posteriormente al *tsunami*. Para ello se comienza con una breve introducción a la actividad tectónica que es la causante de la sismicidad de una región y la localización de las principales zonas en nuestro país, mostrando los principales agentes de producción del sismo, que son las placas tectónicas Sudamericana y Nazca, las cuales a través de la zona de subducción Colombo Ecuatoriana dan origen al alto nivel de sismicidad en la región.

Teniendo en cuenta la magnitud y la abstracción que se tiene que hacer para la descripción de este tipo de fenómenos, se recurrió a las ayudas visuales, pues estas permiten ver el fenómeno de una forma tal, que le facilita al individuo su comprensión. Con ayuda de esta se explican cada una de las etapas que proceden al sismo, mostrando la subducción que tienen las dos placas y el cambio de amplitud que tiene la onda en su trayecto por el océano, para ello se establecieron tres rangos de profundidad baja, media y alta teniendo en cuenta que en estas es donde se puede ver mejor los cambios que sufre la onda.

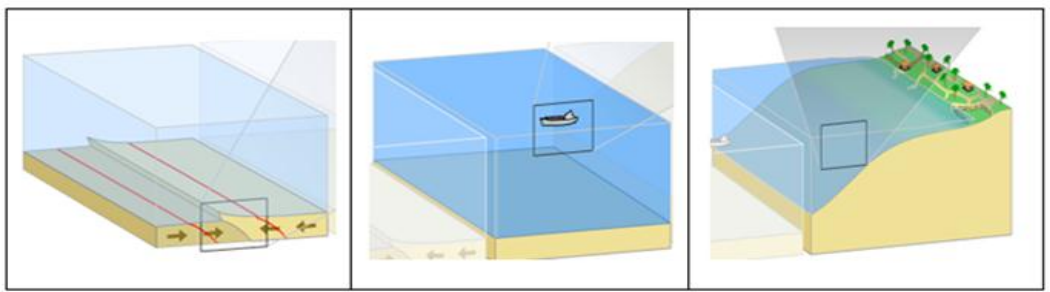


Figura 12. Partes de la animación mostrada a la población, representado las tres escalas de profundidad elegida.

Posteriormente se analizan los tipos de *tsunami* enseñando sus características tales como: tiempo de arribo, distancia al foco de producción y nivel de daño producido; por último se muestran los testimonios de personas que han vivido este fenómeno natural, algunas en diferentes partes del mundo y otras del *tsunami* de 1979 en Tumaco, con esto se pretende dar un criterio de relevancia a esta amenaza y despojar ese nivel de incertidumbre que tiene la gente relacionado con la producción de este hecho, puesto según lo indagado parte de la población cree que esto es un castigo divino.

4.1.3 Interactuemos con el fenómeno

Viendo la complejidad y las magnitudes del fenómeno que se trata de explicar, se hace necesario algo más que una representación gráfica para mostrarlo, por tal motivo para esta parte de la estrategia se diseñó un prototipo llamado “cubeta de tsunamis” (figura 15). Para el diseño de este prototipo se tuvieron en cuenta varios modelos presentados en los centros de estudios de tsunamis de Japón, universidades extranjeras y centros de investigación de Estados Unidos; este se hizo a una escala que permite observarla creación, propagación e interacción de un *tsunami*, por medio de una perturbación que se crea sobre el cuerpo de agua encerrado en la cubeta. En este mecanismo se puede ver como la onda tiene un aumento progresivo de amplitud con la disminución de la profundidad, para que esto fuera visible y práctico durante la implementación, el diseño de la cubeta se hizo con una pendiente baja y con una zona de impacto de 10 cm.

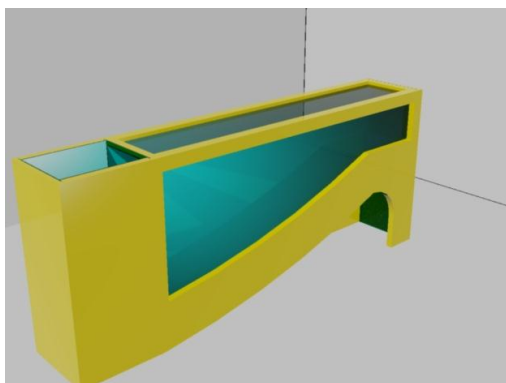


Figura 13. Vista lateral de la Cubeta de Tsunamis creada para la segunda parte de la estrategia.

Los materiales utilizados impedían que el agua se filtrara, la cubeta se utilizó terminada la primera sesión de trabajo, con el fin que los estudiantes vieran como cambiaban las características de la onda e identificaran los aspectos mostrados en la animación previa.

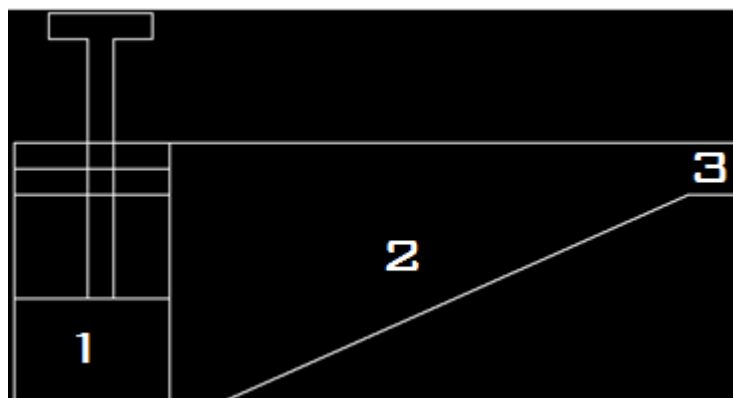


Figura 14. Vista frontal de la cubeta de tsunamis dando a conocer los momentos claves mostrados en la animación, el 1 representa la generación donde se hace una analogía con la perturbación generada por las placas tectónicas, el 2 representa el cambio de amplitud que sufren las ondas por el cambio progresivo de profundidad y el 3 muestra la interacción de la onda de tsunami con la zona de impacto.

4.1.4 Juntos previniendo

No se sabe con exactitud el momento y el punto en el cual se va a producir un tsunami, debido a esto la incertidumbre que se maneja es bastante alta, por tal motivo la única herramienta útil es la prevención. Pues permite por medio de un análisis de debilidades del territorio prever cuales serían los daños producidos en caso de presentarse el tsunami, en Latinoamérica organismos como La UNESCO se encargan del diseño y aplicación de estrategias de prevención, para aquellos países que se encuentran vulnerables frente a la posible ocurrencia de un fenómeno natural o el posible desastre ocasionado por este.



Figura 15. Figura representativa de la última parte de la estrategia didáctica.

En esta parte de la estrategia se muestran las posibles acciones que se pueden llevar cabo antes, durante y después de una alarma de *tsunami*, se hace énfasis en el conocimiento geográfico de la zona para ello se explicó de manera general la extensión del municipio y sus accidentes

geográficos, pues según los registros históricos de los dos tsunamis anteriores, este fue un factor determinante, ya que influyo en la muerte de personas que se localizaban y se transportaban cerca a la costa. Cabe destacar que también se tratan otros aspectos como: el análisis de sismo resistencia de las estructuras de la normal, los cambios que sufre el océano y el rio cuando se produce este hecho y las estrategias llevadas a cabo por el comité de prevención y atención de desastres de la institución y del municipio.

Es necesario que la población en general conozca el fenómeno pero también que utilice la información de una manera efectiva, este quizá es la herramienta más veras relacionada con este aparte, pues según lo investigado en las dos estadías anteriores en el municipio, la población que se encuentra entre los 40 a 60 años aproximadamente no conoce este tipo fenómeno, y en algunas veredas todavía se presenta como un tabú, puesto que son pocos los conocimientos que se tienen frente a este y las estrategias que se llevan a cabo en esta zona son mínimas.

4.2 Módulo didáctico

Como una herramienta que sirviera para la recolección de información y además la proporcionara de forma asertiva, se diseñó un módulo de actividades llamado TSUNAMI, por medio de este se mostraban los aspectos teóricos más relevantes, en conjunto con una serie de actividades que apuntaban al cumplimiento de cada fase de la estrategia didáctica. Las preguntas se realizaron con el fin de indagar, relacionar y analizar acerca del conocimiento obtenido con respecto a los conceptos y temáticas previamente explicadas. Se organizaron teniendo en cuenta la cronología de la estrategia y del fenómeno, en un orden de dificultad que pretendía poner a prueba en nivel de comprensión y relación que tiene el estudiante de la temática aprendida y la posible implementación que le puede hacer a esta en la cotidianidad, a continuación se muestran cada una de las categorías y sus indicadores (Anexo 2).

Orden de dificultad	Indicadores
1	<ul style="list-style-type: none"> • Relaciona la información mostrada dando a conocer sus principales características. • Analiza de manera parcial el fenómeno dando a conocer las principales características en cuanto a la producción y propagación.

2	<ul style="list-style-type: none"> • Es capaz de explicar los cambios que tienen las magnitudes físicas vinculadas con la propagación del tsunami, mostrando métodos de representación propios basados en explicaciones previas. • Emite juicios de valor sobre aspectos preventivos relacionados con el tsunami teniendo en cuenta la población de la institución educativa y el municipio.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica claramente cada una de las variables que influyen en la propagación y producción de un tsunami dando a conocer los cambios que sufre de manera analítica o por medio de gráficos. . • Reconoce al tsunami como una amenaza permanente en la región donde reside. • Identifica las condiciones de riesgo que se deben tener en cuenta durante una alarma de tsunami. Asocia el conocimiento adquirido con la realidad y le ve una aplicación verdadera de este al contexto.

Tabla 2. Orden de dificultad de las preguntas utilizadas en el módulo didáctico y sus características.

4.3 Aplicación de la estrategia

La implementación de la estrategia didáctica se llevó a cabo los días 10 y 11 de octubre de 2012, para esta se contó con la participación de 26 personas, las cuales se encontraban en grado 11 y en 2 y 4 semestre del ciclo complementario de la normal, adicional a esto asistió la coordinadora del ciclo Concepción Zúñiga. La estrategia se dividió en dos sesiones de tres horas cada una. En la primera se trabajaron los aspectos correspondientes a el conocimiento e interacción con el fenómeno, se inició haciendo un recuento de los grandes sismos ocurridos en los últimos años en toda la superficie del océano pacifico, para ello se mostraron: animaciones de los *tsunamis* producidos en Japón, Krakatoa y Chile, allí se podía observar el movimiento desordenado de la onda de tsunami.

Posteriormente se dio a conocer el carácter natural del fenómeno mostrando las magnitudes de carácter geológico y físico que influyen en su producción y propagación, para esto se proyectó el modulo y desde se explicaban cada uno de los términos. Posteriormente se analizó la variación de amplitud, frecuencia, velocidad y longitud de onda, de forma teórica y posteriormente con el

prototipo, esto con el fin de mostrar, describir y analizar los efectos costeros ocasionados por un *tsunami*, y relacionarlos con el municipio de Guapi.

En la segunda sesión se hizo un recuento de lo realizado el día anterior, posteriormente se inició con la tercera parte denominada “Juntos previniendo”, allí se tuvo una participación más activa por parte de los participantes, uno de los casos fue Carly Duque una de las asistentes que daba a conocer su experiencia como voluntaria de la cruz roja, y resaltaba la importancia de los mecanismos de prevención, como parte de la estrategia se mostraron los testimonios de las personas que vivieron algunos *tsunamis* y se mostraba lo importante que es planear y ejecutar acciones apunten a la prevención donde uno de los fines era la disminución de daños económicos, ambientales, sociales, etc. por acción del fenómeno natural.



Figura 16. Recreación de la producción y propagación del tsunami utilizando la cubeta de tsunamis.

Posteriormente se dieron a conocer todos los aspectos que se deben tener en cuenta antes, durante y después de un tsunami, seguidamente como un proceso fundamental para la prevención se analizó la geografía de la institución desde la entrada de la normal, haciendo todo un recorrido por esta, allí cada uno, resaltaba las falencias que tenía la institución en todos los aspectos como: estructura, ubicación, daños ambientales, accidentes geográficos. Por último se daban a conocer algunas soluciones que se pueden tener en cuenta para la disminución del riesgo estas son: las rutas de evacuación, mecanismos de información, las zonas de ubicación y el plan local de emergencias; este último solo se mencionó y se daba como un mecanismo donde se prevén las amenazas en general.



Figura 17. Exposición de la tercera parte de la estrategia didáctica.

4.4 Resultados obtenidos

A continuación se dan a conocer los resultados arrojados tras la implementación de la estrategia didáctica y la recolección de datos realizada por medio de las actividades llevadas a cabo en el módulo, estas se mostraran teniendo en cuenta cada una de las etapas explicadas previamente (Anexo 3).

4.4. 1 Fase 1

En cuanto a la producción y propagación del *tsunami* los estudiantes:

Ubican de manera cronológica cada uno de los momentos que acontecen a la producción de un *tsunami* identificando gran mayoría de los factores que modifican la amplitud y el run – up que produce la onda, para ello analizan el transcurrir de la onda en el océano y la costa.

Explican cada una de las imágenes que relacionan el tema a lo largo de todo el modulo, mencionando las características físicas y geológicas de este, tales como: variación de la amplitud, frecuencia, velocidad y amplitud de onda, adicional a esto muestran algunos aspectos que aumentan que pueden llegar a aumentar el nivel de daño, estos son: la magnitud del sismo, la distancia a la que se origina, la profundidad del agua en el momento de la propagación de la ola,

la refracción que sufren las ondas debido a la forma de las costas y la geomorfología de la costa pues esta influye en el aumento de la cota máxima de inundación.

Identifican los agentes de producción del tsunami (placas tectónicas), describiendo la generación del tsunami como producto de la energía sísmica liberada tras la interacción de las placas y posteriormente mencionan el cambio de amplitud y disminución de la velocidad relacionándolo con la pendiente de la costa, además relacionan el tipo de *tsunami* producido con el nivel de daño que pueda producir en el municipio

Relacionan el fenómeno de refracción como uno de los causantes de la pérdida de velocidad de la onda a su llegada a la costa, por tal motivo tienen en cuenta los factores preventivos a lo largo de toda la explicación, organizando las imágenes y explicándolas cada una.

Elaboran organizadores gráficos teniendo en cuenta la secuencia en la que se produce el *tsunami*, resaltando las magnitudes físicas involucradas y dando a conocer sus cambios en los tres momentos fundamentales (producción, propagación e interacción) (VER ANEXOS).

4.4.2. Fase 2

Con referencia a la implementación y utilización del prototipo por parte de los estudiantes se obtuvo lo siguiente:

Con relación al comportamiento del *tsunami* los estudiantes establecieron las siguientes afirmaciones, Alejandra dice *“Tal vez la primera ola no sea la más alta, pero las siguientes arriban a la costa con un aumento en su amplitud, además la corriente del río tiene cambios turbulentos y adicional a esto se observa parte del relieve oceánico”*, que corresponden a la con el comportamiento que puede tener un sismo tsunamigénico en la costa.

Relacionan el contexto en el que residen, con los posibles hechos que puede ocasionar un verdadero *tsunami*, mencionan cada uno de los parámetros que influyen en sus cambios de amplitud basándose en el prototipo, de tal proceso los estudiantes relacionan la magnitud del *tsunami* y su ubicación respecto al mismo con los grandes daños que puede producir en ausencia de barreras naturales que impidan su paso hacia la costa, por tal motivo todas las formaciones vegetales que se encuentren cerca al municipio se deben cuidar y preservar, ya que prestan un gran servicio a la comunidad en caso de presentarse un *tsunami*. Dan a conocer con propiedad

por medio de gráficos, las características de la onda producida, destacando el tipo de onda y las propiedades del medio de propagación además identifican los elementos de la onda mecánica, tales como: frecuencia, velocidad, periodo, longitud de onda, amplitud, analizando la perturbación producida en el prototipo desde su generación hasta su arribo.

Se les dificulta el manejo de ecuaciones para el hallazgo de los elementos de la onda, por eso los juicios de valor que se elaboraron no tienen la profundidad necesaria para generar un buen análisis de estos parámetros. Sin embargo, podría ser una oportunidad para elaborar otra estrategia didáctica donde se trabaje este tema, para que posteriormente se puedan implementar con el municipio. Se relaciona el área del territorio potencialmente afectado, dando a conocer un estimado de 300m² donde se puede localizar la zona de impacto.

En cuanto a la relación que hicieron con la cota máxima de inundación y la amplitud de la onda en su contexto, los estudiantes destacan algunos puntos geográficos del municipio que pueden servir para el encuentro masivo de las personas, puesto que son los que se localizan hacia adentro del pueblo, donde no hay fuentes de agua tan cercanas, estos son: el aeropuerto sin embargo habría una dificultad si se llegase a producir una alerta de *tsunami* durante la jornada escolar, podría ocurrir una catástrofe aun mayor ya que la puerta de la institución es muy pequeña para un flujo de personas tan grande, para este tipo de alertas también se tendría en cuenta el tipo de tsunami y algunas de sus características que se dieran a conocer, para tener una evacuación oportuna en la institución y la población en general.

Otro sitio sería el barrio 20 de Julio o la fortaleza pues estos se encuentran a 100m o 150m aproximadamente de la costa, sin embargo estos sitios también tienen condiciones que pueden llegar a aumentar la catástrofe, puesto que en el barrio 20 de julio, anteriormente había un botadero de basura y sobre este se construyeron las casas. Por tal motivo la filtración del agua aumentaría la inestabilidad del suelo con el pasar del tiempo y en el barrio la fortaleza la gran mayoría de casas son de madera, la zona es muy húmeda y además las últimas casas del barrio se encuentran cerca de una de las vertientes que se comunica con el río Guapi, en este caso se aumentaría el nivel de riesgo.

4.4.3. Fase 3

En esta etapa se centra la parte fuerte en cuanto a resultados positivos, dado que los asistentes resaltaron a través de la gran mayoría de sus respuestas este aspecto, aquí se resaltan tres aspectos fundamentales, estos fueron: el análisis geográfico del entorno, la transmisión de la información y las actitudes de prevención antes, durante y después del *tsunami*. A continuación se muestran los resultados obtenidos con relación a cada uno de los ítems anteriormente nombrados.

Según las situaciones problemáticas planteadas los estudiantes identifican factores de riesgo presentes en el río y en el entorno, estas se relacionan con la institución y los elementos de prevención que se dieron a conocer en el módulo, dentro de las opiniones se destacan los siguientes aspectos:

La ubicación de los salones cerca al río aumenta el nivel de vulnerabilidad y las formas del relieve del río que se encuentran cerca a este podrían influir en la amplitud de la ola, pues en épocas de sequía algunos barcos quedan encallados puesto que a simple vista parece ser una zona de alta profundidad, pero en realidad según lo que se ha podido observar, esta zona tiene bastantes huecos lo que le da este aspecto con el alto nivel del agua, por tal motivo un *tsunami* pueden llegar gravemente a la institución y a otros sitios como por ejemplo el parque y la galería.

Otro aspecto tenido en cuenta por los asistentes es la sismoresistencia de las estructuras en general y de la institución, pues las edificaciones con las que cuenta la institución no son sismoresistentes, además algunas (las más antiguas) tienen grietas y presentan altos índices de humedad sobre todo en los salones que se localizan cerca al río (grados once y los que se encuentran detrás del salón de actos), adicional a esto mencionan a los hoteles en general como unas de las estructuras más resistentes a sismos y posiblemente a los *tsunamis* dado que se ha construido recientemente.

Los estudiantes destacan el papel de la comunicación asertiva en este tipo de fenómenos naturales, pues según lo que se cuenta entre la mayoría de gente y en la bibliografía consultada, no se dio una alerta oportuna y además cuando se dio, la mayoría de gente de la región no la tuvo en cuenta; por el contrario agregaron factores especulativos y tergiversaron la información, por eso en algunas partes como Guapi estuvo a punto de generarse un gran desastre. Por eso destacan ellos el impacto que tienen las campañas informativas, y más aún la información que se dé a

conocer. Puesto que dan a conocer la problemática que tiene la población, en la actualidad este tema ha sido olvidado por mucha gente, por tal motivo se hace necesario difundir este mensaje a toda la población implementando estrategias donde se muestren y se tengan en cuenta todos los rangos de población, además tener un sistema de alarma físico (murallas) y comunicativo (emisora, parlantes, etc.), donde se tenga en cuenta la información relacionada con la actividad sísmica de la región, y además tengan acceso a ella organismos como la CRC, la defensa civil y la cruz roja que son algunos de los organismos gubernamentales presentes en el municipio.

En cuanto a las conductas de prevención, se pudo ver en las respuestas, que los estudiantes entienden la importancia que prestan y destacan como una de las más importantes a la **evacuación**, también expresan que en la institución educativa poco se llevan a cabo y que no se tiene un punto de encuentro exacto, y que además admita a la cantidad de personas de la misma; además para la fecha de la implementación no se contaba con un sistema de alarma para el pueblo lo cual es muy importante para este acto. En esta parte también se recalca otra acción fundamental, que es el análisis del contexto. Pues algunas partes de la población no se encuentran cerca al punto de encuentro, por tal motivo si no se cuenta con un tiempo para dirigirse a este, se deben mirar otros puntos alternativos que se encuentren cerca de donde se reside y dirigirse allí, alejándose de cualquier objeto que pueda representar una amenaza y sobre todo actuar con calma y analizando bien la situación.

El 30% de los estudiantes tienen en cuenta las características de un *tsunami* como un elemento de prevención, estos son: el tiempo de arribo (proporcionado por métodos numéricos), el tipo de *tsunami*, la distancia a la que se produjo, la sensación sísmica y los factores geográficos relacionados con el río tales como: el recogimiento de las aguas, el ascenso anormal del río y de la corriente.

Por último hablan de la importancia que tiene el hacerle saber a la población de este fenómeno por medio de este tipo de estrategias, pues como se sabe este es un fenómeno que nos importa a todos, y en las instituciones educativas y el municipio, se deben generar estrategias que permitan minimizar el nivel de riesgo que pueden llegar a generar fenómenos geológicos como este, para ello también se debe fortalecer desde la secretaria de educación del municipio los comités de prevención y atención de desastres de la normal y de todos los colegios.

CONCLUSIONES

El trabajar con docentes en formación representa un gran resultado para este proyecto, pues este tipo de población constituye una herramienta de transmisión asertiva de los conocimientos proporcionados, que para relacionado con este contexto sería la parte rural del municipio, ya que este es uno de los principales campos de acción que tiene la normal. Además estos individuos pueden darle trascendencia a la estrategia, implementando a la misma, procesos creativos e innovadores que pueden ayudar a fortalecer la estrategia planteada en algunos aspectos pedagógicos o lúdicos que pudieron no tenidos en cuenta, para tal fin se pueden hacer adecuaciones a nuevos rangos población o inclusive por medio de esta poder generar nuevas estrategias didácticas con otro fenómeno natural o meteorológico donde se contemple otro tipo de población más pequeña o mayor, todo esto con el fin de aumentar el alcance del plan local de emergencias del municipio y de la institución educativa.

Los conocimientos físicos relacionados con la propagación de un tsunami, permiten analizar la variación de la amplitud de la onda mecánica teniendo en cuenta la energía con la que se genera y la que se disipa por factores propios del entorno y además hacer un análisis de la fuerza con la que llega a la costa. Tras la implementación de la estrategia se pudo inferir que estos son tenidos en cuenta de una manera parcial y se relacionan con la gestión del riesgo, puesto que los estudiantes resaltaron el cuidado que se debe tener del medio ambiente, por tal motivo se puede decir que estos son conscientes del cuidado que deben tener con las formaciones vegetales de la región, debido a la gran utilidad que prestan (barreras naturales) que para este caso serían las especies de manglar y bosque tropical, pues podrían ayudar en caso de presentarse un tsunami.

La necesidad de informar y dar a conocer los mecanismos de prevención acerca de un fenómeno natural como el tsunami es tan importante en esta región, debido a la amenaza sísmica tan alta que tiene la zona gracias a su ubicación geográfica, por tal motivo fue muy importante la implementación de esta estrategia, pues dio a conocer la amenaza de una manera didáctica y analítica por medio del módulo de actividades y la implementación de un prototipo experimental, esto permite reducir a largo plazo el índice de vulnerabilidad que se tiene en la zona.

Los estudiantes en general destacan la importancia de los procesos de prevención y gestión del riesgo, puesto que relacionan las condiciones de vulnerabilidad del municipio, con la amenaza

sísmica alta a la que se encuentran propensos, además identifican las falencias que se tienen en su entorno relacionadas con: los procesos estructurales, ubicación geográfica y salidas de emergencia, este proceso se convierte a futuro, en una gran herramienta para la normal; ya que permite prever futuros desastres y además informar a las personas de la zona.

Con relación a los gráficos construidos, se puede ver que los estudiantes dominan bien este tipo de lenguaje, pues este tipo de actividades permitió destacar su destreza artística que resalta el uso habilidades de pensamiento relacionadas con: la lógica y la creatividad, pues son capaces de dar a conocer las características más relevantes de cada tema y también de resumir las temáticas de tal manera que se destaquen los aspectos más importantes del fenómeno en dicho grafico asimismo lo relacionan con un organizador grafico oportuno; en la implementación de la estrategia los más utilizados fueron: los mapas mentales y los mapas conceptuales.

La estrategia didáctica llevada a cabo en la Normal Superior “La inmaculada” dio un aporte al plan de gestión del riesgo de la institución, puesto que proporciona un material didáctico que sirve de apoyo para docentes, directivos y la población en general al momento de trabajar con la prevención de riesgos y desastres relacionados con el tsunami y en cuanto al cumplimiento de los objetivos (general y específicos) se puede decir que la estrategia didáctica de prevención llevada a cabo dio un aporte conceptual y metodológico al plan de gestión del riesgo de la institución, puesto que proporcionó un material didáctico y experimental que sirve de apoyo para la población en general, para este caso se tuvo un cumplimiento del 85% de estos, puesto que se tenían planeados más prototipos relacionados con la generación del tsunami y las estrategias de prevención, sin embargo una de las grandes dificultades para la realización de estos fueron los recursos económicos y el transporte de los mismos

La importancia que prestan las investigaciones de organismos gubernamentales como INVEMAR en cuanto a la conservación del manglar, constituye una herramienta bastante importante en torno a la prevención de un tsunami, puesto que el ambiente presta un gran servicio de protección y generan una disminución significativa de la fuerza con la que puede llegar impactar a la costa en general. Tras la implementación de la estrategia los estudiantes tenían claro este aspecto de forma empírica, por consiguiente este fue el mecanismo de prevención que más les llamo la atención a ellos, ya que son conscientes de la conservación del ecosistema y de la problemática ambiental con la que conviven.

BIBLIOGRAFÍA

- Admon municipal Guapi (2011), PLAN LOCAL DE EMERGENCIAS MUNICIPIO DE GUAPI (CAUCA). Guapi (Cauca).
- Alcaldía municipal de Guapi (2008), Plan de desarrollo municipal 2008 - 2011 “Trabajando con experiencia”, Guapi (Cauca).
- Anónimo. (2013). Portal de la ciencia. Recuperado de <http://www.portalciencia.net/geolotec.html>.
- Banco Mundial, 2012. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas, Ed. Banco Mundial, Bogotá Colombia.
- Cardona Y., Toro M., Velez J., & Otero Luis. (2005) Modelación de tsunamis en la costa Pacífica Colombiana: Caso Bahía de Tumaco, AVANCES EN RECURSOS HIDRAULICOS, N° 12, Sep 2005. Medellín ISSN 0121 – 5071.
- CENTRO INTERNACIONAL DE INFORMACION SOBRE TSUNAMIS. (s.f.). Glosario de Tsunamis. (2003) Honolulu, Hawaii: CENTRO INTERNACIONAL DE INFORMACION SOBRE TSUNAMIS.
- CENTRO INTERNACIONAL DE INFORMACION SOBRE TSUNAMIS. (s.f.). Las grandes Olas. (2003) Honolulu, Hawaii: CENTRO INTERNACIONAL DE INFORMACION SOBRE TSUNAMIS.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2005. ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA LA PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DAÑOS ORIGINADOS POR AMENAZAS SOCIONATURALES, Editorial Naciones Unidas, LOM, Santiago de Chile.
- Dimaté, C. Taboada, A. Fuenzalida, A. (1998) .SISMOTECTÓNICA DE COLOMBIA: DEFORMACIÓN CONTINENTAL ACTIVA Y SUBDUCCIÓN, Bogotá Física de la Tierra 1998, n° 10: 111-147.
- Martínez J. (2003). GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y DINÁMICA GLOBAL, Universidad de Salamanca, Cap 8, pags 43 -55.
- Farreas S., (1997). Contribuciones a la Oceanografía Física en México, M.F. Lavín, Cap 4, pgs 73 – 96.
- Frisch W., Meschede M. & Blakey R. (2011). PLATES TECTONICS, Continental Drift and Mountain Building. Heidelberg. Springer.

- Goto, C., Ogawa, Y., 1997. Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme. IUGG / IOC TIME Project. Unesco. 28 p.
- Helal M. & Mehanna M. (2008). Tsunamis from nature to physics, science direct, Chaos, Solitons and Fractals 36, pgs 787–796.
- Kanamori, H. & McNally, K. C. (1982): Variable rupture mode of the subduction zone along the Ecuador - Colombia coast, Bulletin of the Seismological Society of America, 72, pp 1241-1253.
- Kelleher, J. A. (1972): Rupture zones of large South America earthquakes and some predictions, Journal of Geophysical Research, 77, pp 2087-2103.
- Lacreu, L. (Julio, 2012). Raíces políticas del analfabetismo geológico. XVII Simposio sobre enseñanza de la Geología, Actas 91-99, 9-14, Huelva, España.
- Lorca Mella E., Recabarren Herrera M. (1994) Terremotos , tsunamis, o maremotos. (Chile) .
- Lowrie, W. (1997). FUNDAMENTALS OF GEOPHYSICS, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Lutgens F. K. y Tarbuck E. J. (2005). INTRODUCCION A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA. Estados Unidos de America: PEARSON - Oserco.
- Mansinha, L., Smylie, D., 1971. The displacement fields of inclined faults. Bulletin of the Seismological Society of America. 61, 1433-1440.
- Pelinovsky E., Talipova T., Kurkin A., Kharif C. (2001) .NONLINEAR MECHANISM OF TSUNAMI WAVE GENERATION BY ATMOSPHERIC DISTURBANCES, European Geophysical Society, Natural Hazards and Earth System Sciences, n° 1: 243–250.
- Restrepo J. & Otero L. (2007). Modelación numérica de eventos tsunamigénicos en la cuenca pacífica colombiana - bahía de buenaventura, Rev. Acad. Colomb. Cienc. 31(120): 363 - 377.
- Ramírez J. (2004). Actualización de la Historia de los terremotos en Colombia. Págs. 126, 127 y 155. Instituto Geofísico Pontificia Universidad Javeriana.
- Ramírez, J., Goberna, J., 1980. Terremotos colombianos: noviembre 23 y diciembre 12 de 1979 – Informe preliminar. Reporte Técnico. Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana. Bogotá. 95p.
- Rodríguez Peláez J.C; López Rodríguez, A.; Sierra-Correa, P.C.; Hernández Ortiz M.; Almarío, G.; Prieto L.M.; Bolaños, J.; y H. Martínez. (2009). Ordenamiento ambiental de los

manglares del municipio de Guapi, departamento del Cauca Pacífico colombiano. 149 pág. + 2 Anexos. Serie de documentos generales INVEMAR No 33.

Secretaria Marina de México. (2012). ¿Sabe usted que hacer en caso de un tsunami?. Coyoacán Distrito Federal. Recuperado de <http://digaohm.semar.gob.mx/tsunami.htm>.

Sánchez J. & Clavijo E. (2011): Aspectos científicos y lecciones para Colombia luego del sismo de Tohoku, Japón, en marzo 11 de 2011 (Mw 9.0). Geología Colombiana, Edición Especial, 36 No. 1, pp 23-36

Tailandier J., (1993). French Polynesia tsunami warning center (CPPT), Natural Hazards, 7 (3): 237-256.

Turcotte, D. y Schubert, G. (1982). GEODYNAMICS, APLICATIONS OF CONTINUUM PHYSICS TO GEOLOGICAL PROBLEMS, New York: John Wiley & Sons.

ANEXOS

ANEXO 1. MODELO NUMERICO

Las ecuaciones para aguas someras expresan la relación entre amplitud, tiempo y espacio, estas son :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial [u(h + \eta)]}{\partial x} + \frac{\partial [v(h + \eta)]}{\partial y} = 0 \quad [2]$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho} = 0 \quad [3]$$

Donde x y y son las coordenadas horizontales, t el tiempo, h la profundidad del agua, η el desplazamiento vertical de la superficie del agua sobre el nivel de referencia, u y v son las velocidades de la partícula en dirección x y y , g la aceleración gravitacional y $\frac{\tau_x}{\rho}$ y $\frac{\tau_y}{\rho}$ la fricción del fondo en las direcciones x y y .

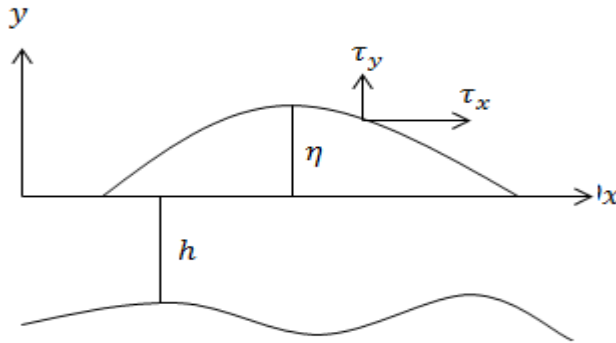


Figura 18. Representación gráfica del modelo anteriormente mostrado.

Las fricciones para el fondo oceánico se definen como:

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{f}{2gD} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad [4], \quad \frac{\tau_y}{\rho} = \frac{f}{2gD} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad [5]$$

En estas ecuaciones D es la profundidad total del agua y está dada por $(h + \eta)$ y f es el coeficiente de fricción, el cual se obtiene de la ecuación de Manning (para mayor rigurosidad de n) y viene dada por:

$$n = \sqrt{\frac{f D^{1/3}}{2g}} \quad [6]$$

Despejando n y reemplazando la ecuación [6] en [4] y [5], las fricciones para x y y quedan reescritas de la siguiente forma,

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{g n^2}{D^{4/3}} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad [7] \quad , \quad \frac{\tau_y}{\rho} = \frac{g n^2}{D^{4/3}} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad [8]$$

Los caudales M y N , en las direcciones x y y , se encuentran definidos por las siguientes ecuaciones,

$$M = u (h + \eta) = u D \quad [9] \quad , \quad N = v (h + \eta) = v D \quad [10]$$

Sustituyendo las ecuaciones [7] hasta [10] en las ecuaciones [1] hasta [3], se obtienen las ecuaciones fundamentales de cálculo, las cuales son:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad [11]$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{g n^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad [12]$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{N^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + g D \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{g n^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad [13]$$

El tratamiento numérico de estas ecuaciones se hace por medio del método de diferencias finitas y la integración por medio del algoritmo de salto de rana (leap -frog) (Goto & Ogawa, 1997).

ANEXO 2. MÓDULO DIDÁCTICO (Ver archivo anexo)

ANEXO 3. MATRIZ DE SISTEMATIZACIÓN (Ver archivo anexo)