



**ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO Y CONTROL DE RIESGOS
CAUSADOS POR TERREMOTO EN LA CIUDAD DE TUMACO (Nariño)**

Informe presentado al proyecto

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL
MUNICIPIO DE TUMACO
de
Plan Pacifico (DNP) y “Asesorías Municipales Ltda.”



Prof. Hansjürgen Meyer

Observatorio Sismológico
del Suroccidente - OSSO
UNIVERSIDAD DEL VALLE
Cali - Colombia

Marzo 1997

INTRODUCCIÓN

Por solicitud de la firma “Asesorías Municipales Ltda.”, que elabora actualmente para el Plan Pacífico (DNP) un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Tumaco (Nariño.), se resume en el presente informe lo relevante para esta planeación del estado del conocimiento sobre los riesgos causados por fenómenos sísmicos en esta ciudad, así como de las estrategias y acciones de control de riesgo actualmente en ejecución o planteadas.

De la exposición de Tumaco a fenómenos naturales peligrosos dan testimonio documentos antiguos; también desde poco después de su fundación datan los primeros testimonios de intentos de control de exposición y, a principios de este siglo, obras de mitigación. Aun cuando existen testimonios históricos de percepción de la especial problemática de Tumaco en cuanto a la dinámica ambiental y en particular su alta exposición a fenómenos sísmicos, sólo algunos años después del desastre de diciembre 1979 (*Herd et al.*, 1981) y con la creación de la Oficina Nacional de Prevención y Atención de Desastres se iniciaron programas sistemáticos para evaluar y controlar localmente las amenazas y vulnerabilidades.

El OSSO ha estado realizando actividades en los siguientes campos, relacionados con la evaluación de amenazas y riesgos por terremoto y con su control en Tumaco: estudios históricos, observaciones y análisis sismológicos, evaluaciones de vulnerabilidad, diseño y desarrollo del sistema de detección y alerta de tsunamis, evaluación y difusión de mensajes de alerta de tsunamis transpacíficos, diseño de campañas de información y educación pública, asesoría técnica a administraciones locales y a organismos. Para esto se ha contado con el apoyo de instituciones tales como la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, el Cuerpo Suizo de Socorro, UNDHA, la agencia canadiense de cooperación, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, el Fondo Nacional de Calamidades, la Armada Nacional, y la Comisión Colombiana de Oceanografía. La información aquí incluida sobre actividades y proyectos de otras entidades puede ser incompleta.

1. RIESGOS

1.1 AMENAZA

1.1.1 Escenario general de amenazas

Aparte de ocasionales marejadas, resultado de la coincidencia de niveles de marea muy altos y fuertes vientos hacia tierra, y efectos del fenómeno El Niño, que según el registro histórico no han causado pérdidas irreversibles, el escenario local incluye como amenaza más importante sobre Tumaco la sísmica, por la cercanía de una fuente de primer orden, la “zona de subducción”, localizada frente a la costa (Fig. 1), capaz de generar terremotos de magnitudes extremas. Por las características de los terrenos que predominan en Tumaco - suelos de arena no cohesivos con altos niveles de agua - también se presenta asociado a los terremotos grandes el fenómeno de licuación (la pérdida de resistencia y capacidad portante de los suelos durante la vibración fuerte). Por otro lado, la ubicación de Tumaco, frente al mar abierto, hace que también esté expuesta a las olas marinas - tsunami - que generan los grandes terremotos en la zona de subducción cerca a la costa nariñense y, quizá también, terremotos tsunamigénicos en otras regiones del Pacífico.

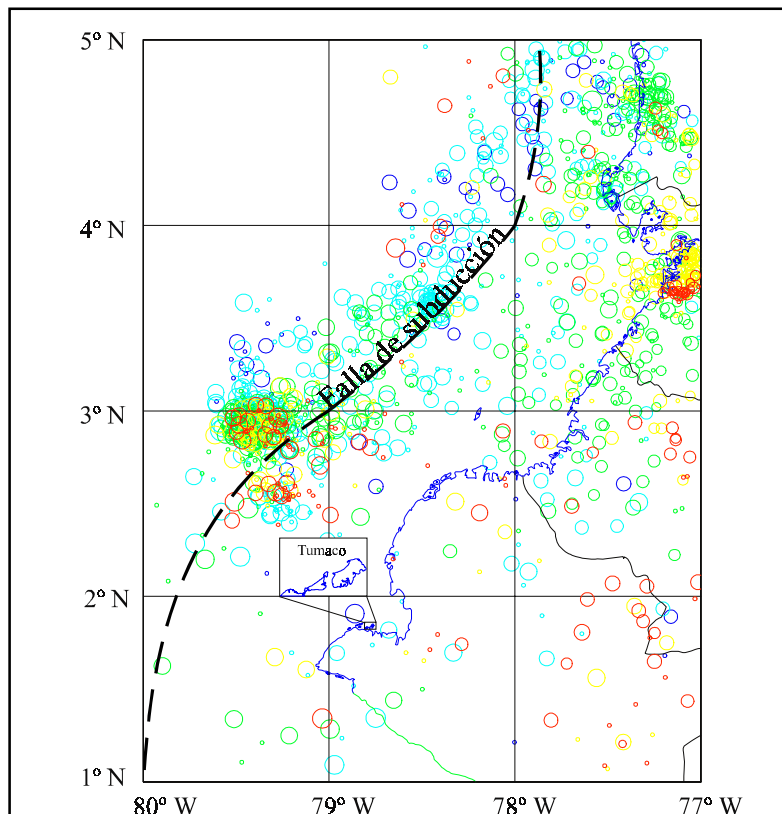


Figura 1. Localización general, con epicentros registrados por el OSSO (1987-96) y traza de la falla de subducción.

Es muy probable, por la cercanía de la fuente primaria, que los tres tipos de fenómenos peligrosos - terremoto, licuación y tsunami - ocurran simultáneamente, como de hecho fue el caso en 1906 y 1979, aunque también son posibles (como en 1942 y 1958) movimientos sísmicos que no alcanzan a causar licuación o tsunami.

Mientras que por lo general las amenazas sísmicas se pueden considerar como estacionarias en el tiempo (su nivel es considerado sólo como función del sitio), en Tumaco son variables, en cuanto a fenómenos asociados (licuación, tsunami). La probabilidad de ocurrencia de licuación está aumentando, en la medida en que avanza la frontera urbana mediante creación de terrenos por relleno. En el caso de la exposición a tsunami, Tumaco es más singular aún (ver sección 1.1.5), por la gran amplitud de las mareas en esta costa, hasta aprox. 5 metros (versus la muy poca elevación del terreno insular urbanizado), por la cíclica desaparición de las islas de barra (El Guano) que sirven de protección natural, y por el poblamiento de áreas de reciente surgimiento (El Bajito). Aquí la amenaza por tsunami también es, pues, función del tiempo, en el corto plazo (mareas) y en el largo plazo (cambios de la morfología costera).

1.1.2 Terremotos

La amenaza sísmica sobre Tumaco está determinada predominantemente por una fuente, la zona de subducción, la mayor fuente de terremotos del país. Los sismos más grandes registrados hasta ahora en Colombia - Enero 1906, $M = 8.4$ y Dic. 1979, $M = 8.1$ (Okal, 1992) - ocurrieron aquí.

No cabe duda en que aquí grandes terremotos (y los tsunamis que generan) han estado ocurriendo desde épocas geológicas muy remotas, y en que así seguirá siendo. Sin embargo, no se han encontrado testimonios concluyentes de eventos anteriores a 1906, aunque sí hay testimonio antiguo escueto que menciona mares bravas y acción de olas en el interior de la población; quizá la resistencia de las edificaciones de madera y la concentración de la poca población en el costado sur (hacia tierra) de la isla haya contribuido a que no ocurrieran consecuencias dignas de registro en el primer cuarto de siglo de vida de Tumaco. Por comparación con otras zonas de subducción, los períodos de recurrencia de grandes sismos en esta parte de la zona de convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Suramérica pueden ser en promedio del orden de un siglo. Entre los grandes eventos de 1906 y 1979 ocurrieron 2 terremotos (1942 y 1958), sin consecuencias desastrosas para Tumaco, frente al segmento norte de la costa ecuatoriana, dentro de la zona de ruptura del sismo de 1906. De dos sismos fuertes - en 1868 y 1875 - en la región occidental colombo-ecuatoriana sólo se tienen datos imprecisos.

La distancia hipocentral mínima de Tumaco hasta el plano de la falla de subducción es del orden de 50 km. Por esto las aceleraciones máximas muy probablemente no serán tan altas como pueden esperarse en algunas áreas del territorio continental, en mayor proximidad a fallas. En cambio la duración de los movimientos sísmicos fuertes sí puede ser extremadamente larga, en razón a las magnitudes (función, también, de la duración de ruptura) de los sismos que aquí ocurren, y probablemente también por las condiciones geológicas superficiales. Testimonios históricos (Rudolph & Szirtes, 1911) reportan duraciones de varios minutos. Para la sismicidad en la región de Tumaco sí existe testimonio de un evento que se puede considerar como el máximo probable (1906); esto no es el caso con los tsunamis (ver abajo).

1.1.3 Licuación

Las condiciones generales para la ocurrencia de este fenómeno - fuertes y prolongados movimientos sísmicos y suelos de arena o arenosos con altos niveles de agua - están dadas en Tumaco; los testimonios de los terremotos desastrosos de 1906 y 1979 confirman su ocurrencia.

Con excepción de una colina - no urbanizada - en el extremo de la isla El Morro, todo el territorio insular son suelos de arena (González, 1991) no cohesiva. Además, el nivel freático es muy alto en toda el área. Sin embargo, para el sismo de 1906 sólo hay testimonios de licuación (Rudolph & Szirtes, 1911) en áreas de playa. En 1979 la ocurrencia de licuación estuvo concentrada (González, 1991) en áreas de relleno artificial, que hoy en día constituyen gran parte del territorio urbano, y en zonas de playa. El mapa (Fig. 2) de ocurrencias de licuación durante el sismo de 1979 (González, 1991) se realizó mapeando efectos como agrietamiento de suelos, extrusión de arenas y lodos ("sandblows"), hundimiento de fundaciones y desparramamientos laterales. Casos de edificaciones afectadas por falta de cimentaciones amarradas - muy frecuente - no fueron considerados, como tampoco se consideraron los frecuentes casos de edificaciones afectadas por estar asentadas en terrenos heterogéneos (arena, rellenos del terraplén ferroviario). La cartografía de áreas rellenadas se hizo a partir de testimonios del personal de dragas y otros habitantes de Tumaco y no coincide del todo con otro tipo de información, como el resultante de comparación de mapas antiguos y actuales, de la cual se concluye, entre otros, el relleno de toda la parte central - un estero que separaba la isla longitudinalmente de la isla de Tumaco.

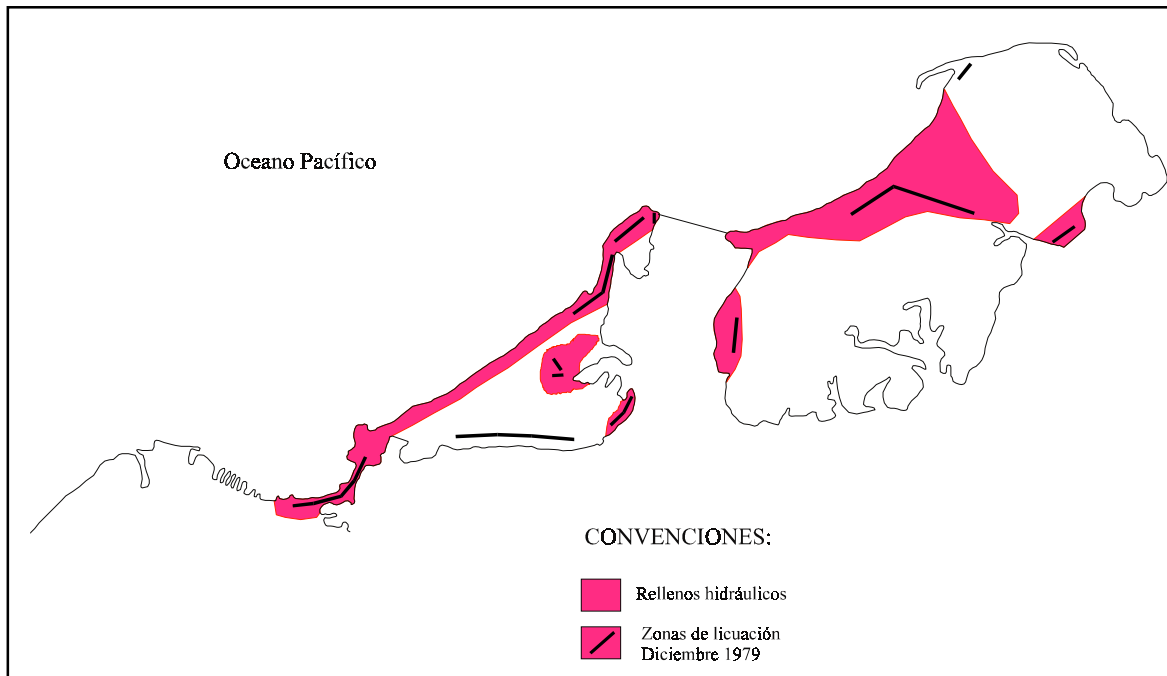


Figura 2. Mapa de áreas con relleno hidráulico y evidencias de licuación durante el sismo de diciembre de 1979.

En la distribución de manifestaciones de licuación durante el sismo de 1979 llama la atención que no incluye las dos franjas (Fig. 3) que constituyen los terrenos naturales de la isla de

Tumaco; de otras regiones existen evidencias (Ishihara & Yasuda, 1991) que demuestran que suelos licuables pueden mantener esta propiedad después de varios sismos fuertes.

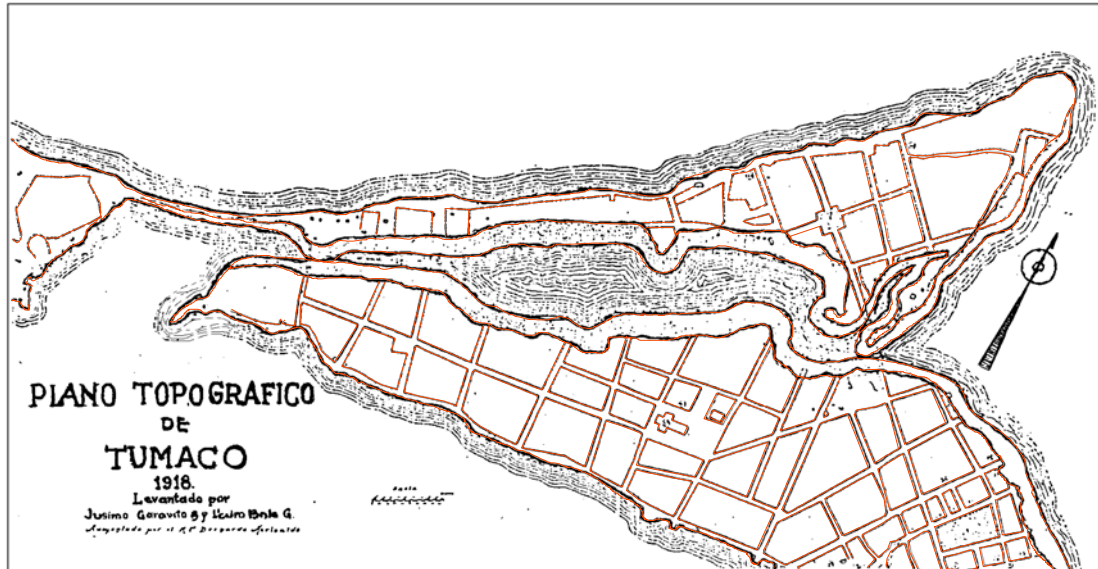


Figura 3. Croquis y malla urbana en la Isla Tumaco en 1918.

1.1.4 Tsunami

El nivel de amenaza por tsunami en un sitio está determinado por las características de la fuente (la magnitud del terremoto, principalmente), la distancia y orientación con respecto al sitio, las profundidades de agua en la trayectoria, y la morfología de la trayectoria terminal (pendiente del fondo, forma de la costa). A diferencia del movimiento sísmico, la exposición de un sitio a tsunami es variable en el tiempo, en función del nivel de mareas. El potencial de pérdidas se relaciona con efectos tales como impacto de olas, inundación, impacto de objetos flotantes y erosión.

La información más importante para planificar con riesgos de tsunami es el tiempo de recorrido (para diseñar medidas de evacuación) y las alturas de ola y extensiones de inundación que las olas podrán tener en futuros eventos, o sea el escenario de exposición. Para esto se recurre generalmente - en función de datos y capacidades de evaluación disponibles - al análisis de eventos históricos, al cálculo de modelos empíricos, y al modelamiento numérico, la simulación del proceso hidrodinámico de propagación.

Tumaco está expuesta a los tsunami generados en la fuente cercana - la zona de subducción - y, como toda población costera en el Océano Pacífico, en principio también a tsunami de origen lejano.

Para la amenaza de tsunami no existe testimonio de un evento máximo probable para Tumaco (aunque el de 1906 muy probablemente sí fue el máximo que puede ocurrir aquí) porque en ambos casos históricos bien documentados (1906, 1979) la marea estuvo en niveles bajos y la exposición - aquí fuertemente controlada por la presencia de islotes de arena y llanuras

intermareales - consecuentemente también. Esto también limita la utilidad de escenarios históricos para fines de planificación. La exposición del área urbana a tsunami depende fuertemente del nivel de marea y de que haya pasado desde el último tsunami un tiempo suficiente - del orden de varias a muchas décadas - para la nueva formación de las islas de barra del grupo El Guano (ver Fig. 4 y sección 1.1.5).

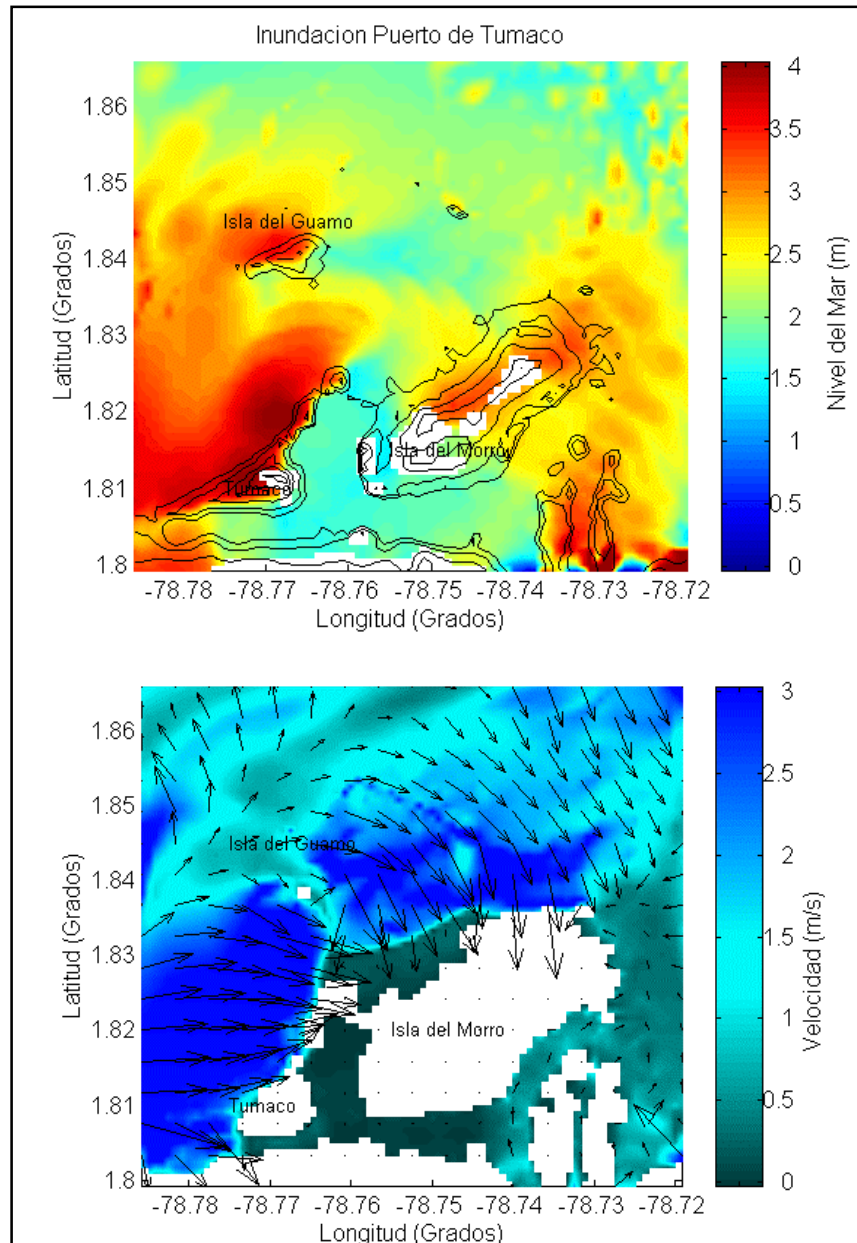


Figura 6. Simulación numérica del tsunami de Dic. 1979 ; alturas de ola y áreas inundadas (arriba) y vectores de corriente horizontal (abajo) 30 min. después del terremoto causal.

Con base en métodos empíricos fundados en datos históricos japoneses se realizó (Duarte, 1994) el primer estimativo de alturas de inundación por tsunami en Tumaco. Posteriormente se inició el modelamiento numérico (Caicedo et al., 1996), con el cual se podrán obtener modelos

muy detallados y precisos de la propagación e impactos. Actualmente este proyecto ha avanzado hasta donde la disponibilidad de cartografía batimétrica - factor crítico de la bondad del modelamiento - lo permite. En la Fig. 6 se aprecia un modelo, obtenido con información batimétrica de las cartas náuticas existentes, usando como condición inicial el terremoto de Dic. 1979. Este modelo se calculó para el nivel medio del mar. Se aprecia que la falta de datos batimétricos hacia el W y N del área de modelamiento (la ola de tsunami llega desde WNW) las alturas de ola en la isla Tumaco son demasiado altas. Sin embargo, aún con bases insuficientes este modelo genera rasgos del proceso que concuerdan con observaciones: la altura de olas en El Guano (causa de su desaparición), la convergencia de vectores de flujo hacia las áreas de El Bajito y El Morro (donde el tsunami de hecho acumuló bancos de arena nuevos), las alturas de ola menores en El Morro como efecto de la parte de El Guano que sí esta incluida en el modelo, entre otros. Esta actividad del programa de prevención de tsunami permitirá despejar una de las principales incógnitas en la elaboración de un escenario de riesgo para Tumaco: ¿qué puede suceder si un tsunami como los de 1906 o 1979 ocurre durante niveles de marea altos?; ¿cómo es el escenario de exposición de Tumaco mientras los islotes de El Guano aún no se han regenerado?

Por otro lado, en cooperación con la Armada Nacional (Tesis de Oceanografía de TN J. Reyna M.) se está realizando actualmente el modelamiento sistemático de alturas de ola para todas las fuentes de tsunami grandes en el Circumpacífico, habida cuenta del potencial transpacífico de grandes tsunamis y para poder evaluar con precisión los mensajes de alerta que emite el "Pacific Tsunami Warning Center" (Hawaii).

Con base en la relativa lentitud de propagación de las olas de tsunami, la amenaza de este fenómeno puede ser evaluada en tiempo real, a partir de la medición sismológica del tamaño del terremoto causante. Para Tumaco el tiempo de propagación es de media hora (fuente cercana) hasta unas 22 horas (región Kuriles). Los procedimientos para evaluar las alertas para tsunami lejanos y difundir los mensajes pertinentes ya están en práctica en el OSSO; el sistema para la detección de sismos tsunamigénicos cercanos aún está en desarrollo (se espera su realización para finales de 1997). Esto requerirá de planes de emergencia y de medidas de planeación en el mediano y largo plazo, tales como la disposición de áreas de evacuación en el territorio urbano.

1.1.5 Cambios de la línea de costa

El archipiélago de Tumaco (islas Pindo, Tumaco, Viciosa, El Morro) son islas de barra que, a diferencia de la mayoría de las que se hallan a lo largo de la costa del Pacífico en Colombia, se han formado en la parte interior de un receso de la línea de costa, la Ensenada de Tumaco. Frente al archipiélago se halla una llanura intermareal de más de dos kilómetros de ancho, cuya margen externa la constituye otra cadena de islas de barra (El Guano, en algunos mapas y crónicas "Bajohediondo").

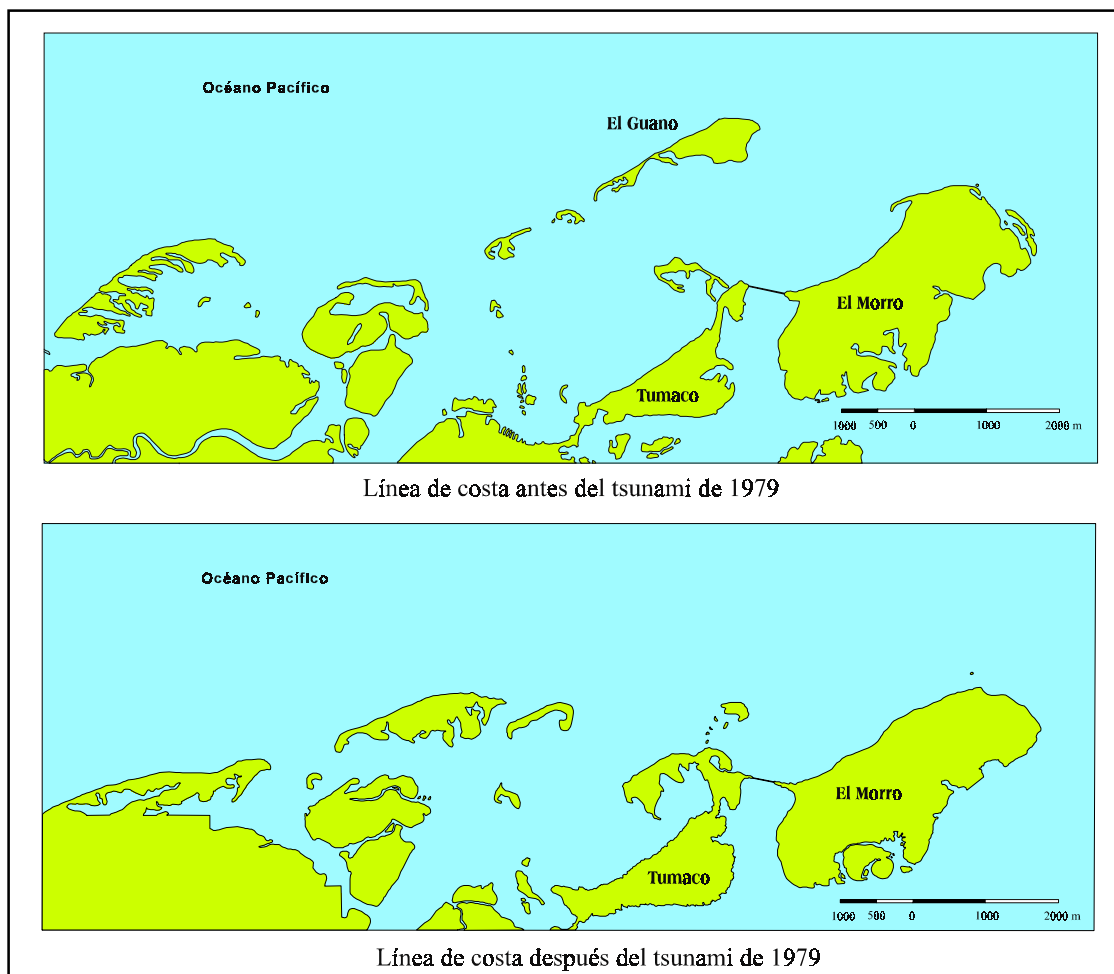


Figura 4. Cambios en la línea de costa en el área de Tumaco, con base en mapas náuticos levantados antes y después del tsunami de 1979.

Sobre la base de la información histórica que reporta la desaparición de la isla El Guano durante los tsunamis de 1906 y 1979, así como de la conocida dinámica de costas como la del Suroccidente de Colombia, caracterizadas por una fuerte interacción entre procesos geológicos, marinos, fluviales y biológicos, se ha estado realizando un proyecto para hacer seguimiento a los cambios de la línea de costa, como consecuencia de procesos permanentes (mareas, corrientes fluviales, etc.), episódicos (tsunami) y, quizá, antropogénicos. En esto se ha utilizado hasta ahora principalmente la comparación de imágenes (mapas históricos, mapas náuticos, fotografías aéreas, imágenes de satélite). En la Fig. 4 se ilustra uno de los resultados de esta evaluación; mediante la comparación de mapas náuticos levantados antes y después del terremoto/tsunami de 1979 se observa la desaparición de la cadena de islas de barra cuya principal era El Guano, así como la formación de nuevos bancos de arena en inmediaciones de Tumaco, por arrastre y deposición durante el impacto del tsunami. En contraste con este proceso rápido, que ocurre cíclicamente, otras partes de la línea de costa de Tumaco, como la playa de El Morro (Fig. 5), cambian lentamente, como consecuencia de perennes procesos marinos (flujo de marea, transporte de sedimentos, etc.) principalmente. Escombros ya inundados de varias edificaciones frente a la playa de El Morro dan testimonio de este proceso.

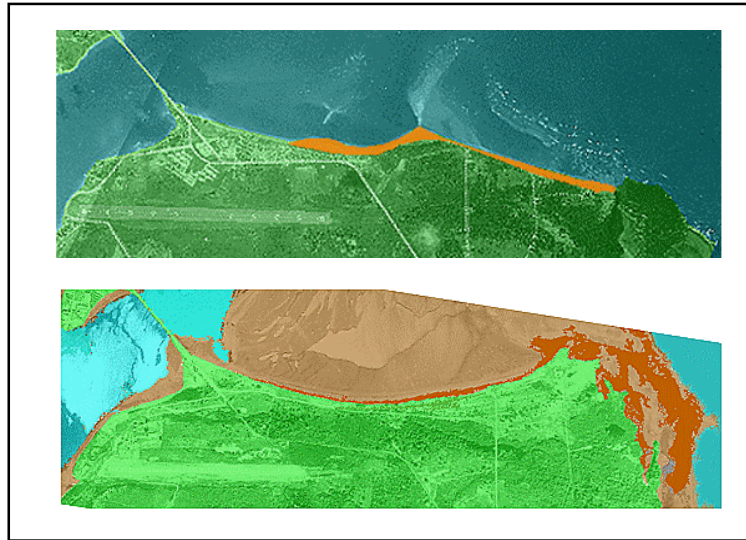


Figura 5. Cambios de la línea de costa en la playa de la Isla el Morro ; a partir de fotografías aéreas de 1980 y 1985.

Mapas realizados por españoles a mitad del siglo XVIII, recientemente identificados en el Archivo General de Indias (*Velásquez*, 1992), incluyen al lado de Tumaco una serie de islas identificadas como “isla viciosa perdida”; muy probablemente se trata del grupo de El Guano. Esto es un testimonio más de la variabilidad secular y episódica - quizá poco antes ocurrió un tsunami - de los terrenos del área de Tumaco.

1.2 VULNERABILIDAD

1.2.1 Escenarios históricos

La evaluación de los efectos de grandes terremotos en Tumaco se ha centrado en dos eventos, de 1906 y 1979. De la información periodística y científica sobre el evento de 1906 se puede resumir el siguiente cuadro (*Rudolph & Szirtes*, 1911; *Scheuch*, 1911; periódicos):

La población de Tumaco era de pocos miles; la ciudad tenía cierto auge como puerto intermedio para el comercio de y hacia el interior (mediante navegación a vapor entre Tumaco y Barbacoas). Las edificaciones de la ciudad eran de madera, de uno y dos pisos. El movimiento fuerte duró unos 5 minutos. Sólo fueron afectadas unas pocas edificaciones. Manifestaciones de licuación sólo se reportaron de áreas de playa. El tsunami - en horas de mínimo de marea de puja - sólo afectó algunos depósitos de mercancías (¿sobre la costa sur de la isla, actualmente Calle del Comercio?). La isla El Guano desapareció, erosionada por las olas del tsunami. El Gobierno Nacional encargó una evaluación (*Triana*, 1910), de la cual surgieron recomendaciones de mitigación.

El origen de los testimonios del evento de 1979 es más diverso (*Herd et al.*, 1981, prensa, testimonios personales). Los efectos se pueden resumir así:

Muchos daños y colapsos en edificaciones, casi exclusivamente de material rígido (con excepción de sectores palafíticos). Gran parte de los daños graves se concentraron en el sector de la Calle del Comercio (edificaciones alargadas, con la parte trasera piloteada en el mar) y en áreas que sufrieron licuación. La isla El Guano desapareció (Fig. 4) y la batimetría en el canal de acceso al puerto sufrió cambios fuertes.

En el sector de la Av. de la Playa el tsunami (también durante niveles muy bajos de marea de puja) causó inundación (entonces las viviendas sólo llegaban hasta el costado sur de la avenida).

La licuación fue un fenómeno generalizado, principalmente en áreas rellenadas (Fig. 2). La licuación y escurrimiento lateral del terraplén de la carretera (ex-Ferrocarril) causó la destrucción de la tubería matriz del acueducto. Sumado a esto, daños graves en el planchón de bocatoma en el río Mira (¿vibración?, ¿oleaje?) inutilizaron el servicio de agua potable por meses.

El Viaducto Viciosa-Morro sufrió graves daños estructurales en casi todas sus columnas.

No hubo pérdidas graves por efecto del tsunami.

En comparación de los dos sucesos - recordando que el sismo de 1906 tuvo una energía unas 3 veces mayor - cabe resaltar que las pérdidas humanas y materiales en 1979 fueron mucho mayores, no tanto por el aumento de la cantidad de población y edificaciones, sino por los cambios en las tipologías constructivas y edificación sobre rellenos.

1.2.2 Escenarios actuales

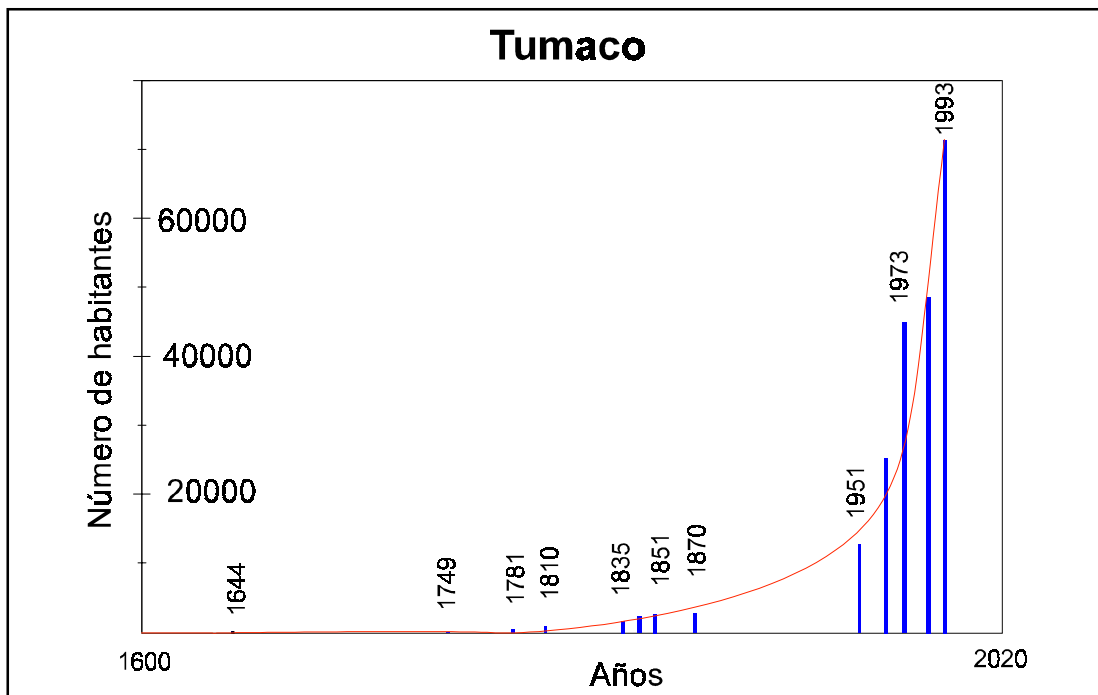


Figura 7. Crecimiento histórico de la población en Tumaco (recopilación OSSO).

El estado actual y tendencias en el proceso de evolución de la vulnerabilidad en Tumaco está marcado por diversos factores sociales, económicos y físicos, entre ellos:

- El acelerado crecimiento demográfico (fig. 7), que actualmente incluye una importante migración desde zonas rurales vecinas, y que ha llevado al sobrepoblamiento de la isla principal.
- La progresiva ocupación de áreas de alta exposición a tsunami y licuación y el crecimiento de vivienda palafítica.
- La urbanización de terrenos de muy reciente formación (El Bajito) y dudosa estabilidad en el largo plazo.
- El acelerado aumento de la densidad de vivienda y población.
- La creciente proporción de edificaciones construidas con materiales rígidos, inherentemente menos favorables durante sismos (mayor peso, menor elasticidad) carecen de la necesaria tecnología de diseño y construcción.
- Las condiciones socioeconómicas (educación, ingreso, etc.), que impiden que la población le otorgue a la reducción de riesgos por fenómenos raros e impredecibles la necesaria prioridad.

Al analizar la relación del riesgo sísmico con cambios en tipologías de construcción, hay que tener en cuenta que la función de vulnerabilidad es inversa para otro tipo de riesgo, que una y otra vez ha postrado a Tumaco a través de su historia: los incendios.

En todo caso, exceptuando estrategias y acciones aún en sus inicios y puntuales, se puede afirmar que la vulnerabilidad sísmica de la ciudad sigue en aumento.

Otro aspecto de la vulnerabilidad actual tiene que ver con la evacuación en caso de alerta de tsunami de fuente cercana; tendría que darse dentro de los confines de la isla, porque el margen de tiempo (máx. 25 min.) no es suficiente para evacuar al área continental: el área insular principal ya no dispone de suficiente espacios libre ni vías para la evacuación.

2. MITIGACIÓN

2.1 PASADO Y PRESENTE

2.1.1 Épocas históricas

La exposición de Tumaco a la acción del mar ha sido motivo de acciones desde la época de su fundación (*Pacheco*, 1959) a mitad del siglo XVII, cuando se le trasladó a su actual sitio, buscando playas y puertos más abrigados. A principios de este siglo, después del terremoto/tsunami de 1906, el enviado del Ministerio de Obras Públicas (*Triana*, 1910) propone como soluciones el traslado de la ciudad a Isla del Gallo y la formación de diques mediante empalizadas y aprovechamiento de la acción de las mareas (para transporte y deposición de sedimentos). Triana también menciona, sin detalles, que antes se había iniciado sin éxito en Tumaco una obra de tipo “holandés” (diques?). También se habría discutido un proyecto de muro circunvalar.

Inmediatamente después del evento de Dic. 1979, una ONG hizo construir a lo largo de la margen externa de la Av. de la Playa un muro de unos 20 cm de altura, como protección contra tsunami.

2.1.2 Estrategias y medidas apropiadas

Los tres fenómenos asociados y simultáneos - movimiento sísmico, licuación y tsunami - requieren, sin embargo, estrategias de mitigación diferentes. Mientras que para el riesgo por movimiento sísmico y licuación hoy en día la estrategia más común es el control de la vulnerabilidad mediante dotación de niveles de resistencia suficientes a las edificaciones, el riesgo por tsunami en lo posible tiene que ser reducido mediante control de la exposición, bien sea de manera pasiva, ubicando elementos vulnerables a suficiente distancia o interviniendo directamente la amenaza, o con medidas activas, ubicando obstáculos en la trayectoria terminal de los tsunami (muros, diques, bosques, terraplenes, etc.).

Para los tsunami se dispone además de la evacuación como medida de reducción de riesgo (para las vidas humanas), en razón a la relativa lentitud de sus olas y la posibilidad de reaccionar a una señal de alerta, o al movimiento fuerte mismo. Para los eventos cercanos grandes, en Tumaco el tiempo entre el movimiento sísmico y la llegada de la primera ola de tsunami es de una media hora (*Rudolph & Szirtes*, 1911; *Caicedo et al.*, 1996). Aun siendo ésta una medida de muy corto plazo, también requiere ser considerada en la planificación urbana, mediante provisión de vías y áreas para la evacuación.

2.1.2.1 Movimiento sísmico y licuación

En nuestro conocimiento no existen aún mecanismos administrativos o prácticas generalizadas para asegurar la provisión de resistencia sísmica en el Municipio, aunque la construcción con tecnologías de material rígido y concreto reforzado es cada vez más común. Desde tiempo atrás (González, 1991) el Municipio dispone de un mapa que zonifica los terrenos urbanos de acuerdo con la capacidad portante promedio de sus suelos, lo cual puede ser una medida implícita aunque parcial contra el riesgo de licuación.

2.1.2.2 Tsunami

A partir de los primeros mapas de inundabilidad por tsunami para Tumaco (Duarte, 1994), se elaboraron mapas de zonas de riesgo que hoy en día - aprobados por el Consejo Municipal - están siendo utilizados en los procesos de ordenamiento urbano, a través de la Secretaría de Planeación. Los mismos mapas, además de otro tipo de información sobre las amenazas sísmicas y las recomendaciones ("continentalización") del anterior Plan de Desarrollo Urbano, motivó hace algunos años el proyecto "Reorientación del Desarrollo Urbano", cofinanciado por la Unión Europea. Actualmente en su primera etapa de ejecución, este proyecto dará vivienda en áreas seguras a una gran parte de la población, que después del desastre de 1979 se asentó en la playa de la margen occidental de la isla, la más expuesta a impacto de tsunami.

La implementación del sistema que hará posible la emisión de alertas en caso de tsunami de fuente cercana (como el de 1979), se prevee para fines de 1997. Para entonces la ciudad también tendrá que disponer de planes y mecanismos para operaciones masivas de evacuación, teniendo en cuenta que por el margen de tiempo (máx. 25 min.), las características demográficas y urbanas así como el acceso a la isla principal sólo es factible, una evacuación dentro del área insular, a las zonas menos peligrosas.

En la formación de los terrenos en y alrededor de Tumaco, incluyendo aquellos que le han servido de barrera frente a las olas de tsunami, juega un papel fundamental el mangle, la especie arbórea más importante de la zona de transición (océano - sistemas hídricos terrestres), gran fijador de sedimentos y un tipo de vegetación que hasta hace poco se consideraba muy poco apta para la reforestación. Sin embargo, en el mismo Tumaco (en los terrenos más nuevos de El Bajito) ya existe por lo menos un caso de reforestación exitosa, experiencia que podría ser base para un proyecto más amplio. La importancia de esta opción en cuanto a reducción de riesgos está en que, por así decirlo, el ser humano continuaría lo que la Naturaleza ya ha estado haciendo para proteger a Tumaco del embate de grandes olas, y que es sin duda la forma menos costosa y menos intervencionista (e.d., tecnológica) de reducir la exposición a tsunami en este medio.

Frente a otras opciones de reducción de exposición, de carácter tecnológico (muros, diques, rellenos, etc.), como se han puesto en práctica en otros países y que han estado surgiendo recurrentemente en diversos foros en Tumaco, hay que tener en cuenta su muy alto costo (en el Japón cumplen una función doble, siendo a la vez barrera contra los muy recurrentes taifunes), su muy limitada eficiencia (p. ej. tsunami de Okushiri, Japón, 1993), y el aún muy poco conocimiento existente para prever su interacción con la fuerte dinámica costera en el área.

2.1.3 Políticas y proyectos actuales

Inicialmente para la población del sector de la Av. de la Playa opcionada a reubicación en el sector de La Ciudadela, y a cargo de la “Corporación Colombia por Tumaco”, el OSSO elaboró un modelo de cartilla de prevención, ahora enfocado - a través de los bachilleres de la ciudad como multiplicadores - a toda la población de la ciudad. Buscando un nuevo concepto frente a lo que actualmente es la información impresa para fines de educación e información pública para la prevención de riesgos por peligros de la Naturaleza, esta cartilla recoge el estado del conocimiento sobre la conformación y dinámica del medio ambiente en la región de Tumaco - generando de esta manera también el primer texto escolar para las ciencias naturales y sociales que describe específicamente el medio de la región - y sitúa en este contexto lo factible y necesario para la prevención de riesgos.

Mediante apoyo del PNUD y en coordinación con la Dirección Nal. para la Prevención y Atención de Desastres, el OSSO está asesorando actualmente al Municipio de Tumaco en la elaboración de sus planes de emergencia y contingencia y en la planificación con riesgos por terremoto, en la zona urbana y en el segmento costero de su zona de influencia.

2.2 RECOMENDACIONES

Habiendo la certeza de que algún día volverán a ocurrir terremotos y tsunamis como en 1979 y en 1906, la información sobre futuros eventos más importante y menos incierta para planificar la reducción de los riesgos es la referente a las áreas de impacto y a los niveles de intensidad o severidad del fenómeno.

El riesgo sísmico está aumentando en la actualidad de manera acelerada, por el cada vez más extenso uso de materiales rígidos sin suficiente intervención de capacidad de diseño y construcción sismorresistente. Urge que el Municipio disponga de la capacidad técnica y administrativa para evaluar y vigilar la resistencia de edificaciones existentes y futuras. Tumaco también requiere con urgencia de una evaluación de vulnerabilidad sísmica de sus sistemas e instalaciones vitales (¿el nuevo hospital del Seguro Social - en el sector Viciosa - fue ubicado en terreno licuable?).

Siendo que las evidencias sismotectónicas y la experiencia apuntan hacia que la amenaza sísmica en Tumaco está dominada por una sola fuente (zona de subducción), se podría justificar la elaboración de un modelo de tipo “determinístico”, incorporando toda la información actualizada disponible, por ejemplo leyes de atenuación especiales para zonas de subducción.

En cuanto a evaluación detallada (l. e. geotécnica) del potencial de licuación, la experiencia vivida justifica hacer evaluaciones enfocadas a medir (¿confirmar?) el bajo potencial en las áreas de la isla principal que constituyen los terrenos naturales.

Mientras sea posible y factible desarrollar modelos de base científica para prever el comportamiento de obras civiles (rellenos, diques, muros, etc.) para fines de protección contra la acción del mar, la ciudad debe incluir en sus estrategias de mitigación de tsunamis medidas pasivas (relocalización y reorientación del poblamiento) y activas de carácter natural, principalmente fomento y reforestación de manglares. Ante las fuertes y variables corrientes que circundan las islas todo intento de creación de rellenos o terraplenes en áreas externas al perímetro insular pueden significar “construir sobre arena”.

En un plazo relativamente corto (en función de la disponibilidad de datos batimétricos) el OSSO elaborará mapas de exposición a tsunami (Caicedo et al., 1996) quasi-definitivos, mucho más realistas que los existentes (mapas de inundación derivados de modelos estáticos). En estos (Fig. 6) la delimitación de zonas de riesgo ya no estará dada por niveles de altura, tratándose de modelos que simulan toda la dinámica del proceso de impacto e inundación.

Por lo anterior, en general porque el conocimiento sobre el modelamiento de amenazas en general y en Tumaco en particular sigue avanzando, y porque en Tumaco los escenarios de exposición son variables, es muy importante que futuros planes y políticas del Municipio contemplen mecanismos de ajuste al cambio de los escenarios, como también - obviamente - mecanismos de periódica evaluación y ajuste de cambios en los escenarios de vulnerabilidad.

En el mediano plazo la ciudad dispondrá de los servicios de un sistema de detección y alerta de tsunami, que dará un tiempo del orden de 20-25 min. para la evacuación de las áreas más expuestas. Un plan de evacuación de la isla principal - que ahora ya tiene una población del orden de 70.000 personas - ya no es factible. Sólo es pensable la movilización de una parte de la población, asentada en las áreas más expuestas, hacia terrenos dentro y hacia el oriente de la isla. Para estos futuros planes de desarrollo urbano tendrán que tener en cuenta que la isla en este momento ya no dispone de suficientes áreas libres, y que la mayoría de las vías amplias corren a lo largo de la isla, no en sentido transversal.

La tendencia iniciada - jalonar el desarrollo urbano de la cabecera municipal hacia el oriente ("continente") - es quizás la única opción que le queda a la ciudad frente a la saturación de la isla principal y para no seguir aumentando los niveles de exposición y vulnerabilidad a los fenómenos originados por terremotos. Una solución que en el momento puede parecer demasiado radical, pero que en el mediano y largo plazo seguramente es óptima, sería la creación de un nuevo polo al oriente del Río Aguaclara, el límite de la zona de manglares y comienzo de la región de tierra firme.

Si bien lo que está por hacer en cuanto a reducción de riesgos aún es mucho, sí se puede afirmar ya que Tumaco es un caso exitoso en la prevención de riesgos y desastres. A pesar de las enormes limitaciones socioeconómicas (y quizá culturales, en cuanto al valor relativo que tiene la prevención de estos riesgos en particular), el proceso de los últimos años ha demostrado la factibilidad de políticas y medidas en todos los segmentos - científico, técnico, social, financiero, administrativo, etc. - que confluyen hacia el objetivo de la prevención.

REFERENCIAS

- Caicedo, J. H., B. Martinelli, H. Meyer, J.A. Reyna (1996). Simulaciones numéricas de propagación de tsunami para la Costa Pacífica de Colombia. Memorias, X Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, Comisión Col. de Oceanografía, Bogotá, 14. pp.
- Corporación Colombia por Tumaco (1997). "Nosotros, Tumaco y el Medio Ambiente". Texto de bachillerato para la educación ambiental y de prevención de riesgos. Realización Observatorio Sismológico del Suroccidente - OSSO, Universidad del Valle, Cali.
- Correa, I.D., J.L. González, C.A. Rodríguez (1989). Geomorfología general y sedimentología de la Bahía de Tumaco. Memorias, VI Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, Comisión Col. de Oceanografía, Bogotá.
- Duarte M., A. (1994). Cálculo de la altura y del tiempo de llegada de una ola de tsunami, generada en la zona de subducción colombo-ecuatorial, a la Ensenada de Tumaco. Tesis de grado, Oceanografía, Escuela Naval "Almirante Padilla", Cartagena.

- Flemming, A. (1870). Das Delta des Río Mira in Columbia. *Das Ausland*, Vol. XLIII, p. 62-65, Leipzig.
- González, S. (1991). Estudio preliminar de vulnerabilidad sísmica de Tumaco. Informe final presentado a coordinación del programa "Mitigación de riesgos en Colombia" (UNDRO/ACDI/ONAD), Observatorio Sismológico del Suroccidente - OSSO, Universidad del Valle, Cali.
- Herd, D.G., T.L. Youd, HJ. Meyer, J.L. Arango, W. Person (1981). The great Tumaco, Colombia earthquake of 12 December 1979. *SCIENCE*, Vol. 211, No. 4481, p. 441-445.
- Ishihara, K., S. Yasuda (1991). Microzonation for liquefaction potential during earthquakes in Japan. *Proceedings, IV Int. Conference on Seismic Zonation*, Vol. I, p. 703-724, EERI, Stanford.
- Leusson F., T. (1993?). Tumaco - Historia y Cultura. Autoedición? 246 pp., Tumaco.
- Meyer, HJ., E. Rodríguez (1996). Prevención de tsunamis en costa de manglar - Tumaco, Colombia. *Memorias, Taller de Gestión de Sistemas Oceanográficos del Pacífico Oriental*, F.E.R. - UNESCO/COI - Universidad de Concepción.
- Meyer, HJ., A. Velásquez (1992). Aproximación al riesgo por tsunami en la costa del Pacífico en Colombia. *Publicaciones Ocasionales del OSSO*, No. 2, 43 pp., Observatorio Sismológico del Suroccidente OSSO, Universidad del Valle, Cali.
- Okal, E.A. (1992). Use of the mantle magnitude M_m for the reassessment of the moment of historical earthquakes. *PAGEOPH*, Vol. 139, No. 1, pp. 17-57.
- OSSO (1989). Diseño y realización de un sistema de detección y alarma para sismos tsunamigénicos cercanos a las costas del Suroccidente Colombiano. Propuesta presentada al Programa para el Mejoramiento de la Prevención y Atención de Emergencias en Colombia - Oficina nal. para la Atención de Desastres y United Nations Disaster Relief Organization.
- Pacheco, J.M. (1959). Los Jesuitas en Colombia. Tomo I, Editorial San Juan Eudes, Bogotá.
- Rudolph, E., S. Szirtes (1911). Das kolumbianische Erdbeben vom 31. Januar 1906. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, Vol. XI, No. 1, Leipzig. "El terremoto colombiano del 31 de enero de 1906", traducción parcial anotada, trad. HJ. Meyer y Alba Paulsen de Cárdenas, *Publicaciones Ocasionales del OSSO*, No. 1, Observatorio Sismológico del Suroccidente, Universidad del Valle, Cali.
- Scheuch, E. (1911). Le grand tremblement de terre de la Colombie. Catalogue Régional des Tremblements de Terre ressentis pendant l'année 1906, Publications du Bureau Central de L'Association Internationale de Sismologie, Série B, Strasbourg, pp. 36-44.
- Velásquez, A. (1991). Informe final sobre comisión al Archivo General de Indias, Sevilla, presentado al programa "Mitigación de Riesgos en Colombia" (DNPAD, UNDRO, ACDI), actividad "Estudios históricos de eventos, incluido examen del AGI, Sevilla, España". Observatorio Sismológico del Suroccidente - OSSO, Universidad del Valle, manuscrito, Cali.
- Triana, M. (1910). Memoria científica sobre la formación y defensa de la isla de Tumaco, presentada al Señor Ministro de Obras Públicas (Nov. 1906). *Revista de Ingeniería*, pp.69-76, Bogotá.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1. RIESGOS | 3 |
| <hr/> | |
| 1.1 AMENAZA | 3 |
| 1.1.1 Escenario general de amenazas | 3 |
| 1.1.2 Terremotos | 4 |
| 1.1.3 Licuación | 5 |
| 1.1.4 Tsunami | 6 |
| 1.1.5 Cambios de la línea de costa | 8 |
| 1.2 VULNERABILIDAD | 10 |
| 1.2.1 Escenarios históricos | 10 |
| 1.2.2 Escenarios actuales | 11 |
| 2. MITIGACIÓN | 13 |
| <hr/> | |
| 2.1 PASADO Y PRESENTE | 13 |
| 2.1.1 Épocas históricas | 13 |
| 2.1.2 Estrategias y medidas apropiadas | 13 |
| 2.1.2.1 Movimiento sísmico y licuación | 14 |
| 2.1.2.2 Tsunami | 14 |
| 2.1.3 Políticas y proyectos actuales | 15 |
| 2.2 RECOMENDACIONES | 15 |
| REFERENCIAS | 16 |

