

**MINISTERIO DE GOBIERNO Y JUSTICIA  
SERVICIO MARÍTIMO NACIONAL**



**CURSO DE ENTRENAMIENTO  
“OBSERVACION Y ANALISIS  
DE DATOS DEL NIVEL DEL MAR”**

**ING. DIANA ARAUZ**

**CHILE, 7 al 18 de Abril 2003**

## INTRODUCCIÓN

Investigaciones del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) indican que el mar se elevará progresivamente afectando a las zonas costeras. Algunas estimaciones hablan de aumentos en el nivel del mar, que según todos los indicadores está ocurriendo, el aumento en la temperatura media global provocará una elevación del nivel de los océanos que, de acuerdo a los pronósticos, será de 30 cm a 1.0 m en los próximos 100 años.

Entre los impactos potenciales de la elevación del nivel del mar incluyen: una transgresión (retroceso) de la línea ribereña hasta una nueva posición de equilibrio, además de una ampliación de las áreas sujetas a inundación mareal, aumento de la frecuencia de inundaciones transitorias por mareas altas o por el oleaje de los temporales; cambios en las tasas de erosión de playas, dunas etc. Aunque se esperan efectos mundiales estos pueden ser diferentes en las regiones. Sin embargo, las consecuencias económicas de la elevación del nivel del mar pueden ser notables.

Partiendo, de la importancia del conocimiento de este parámetro para un amplio rango de aplicaciones prácticas, además del efecto que las variaciones pueden causar en el ámbito mundial. El Programa GLOOS realiza cursos de entrenamiento en materias relacionadas con la observación del nivel del mar con el fin de desarrollar las capacidades nacionales que permitan abordar estos estudios y realizar un adecuado control de calidad la información. Con el motivo de realizarse este curso en el próximo mes de abril en Chile se elaboró este informe, el cual brinda una visión general del comportamiento del nivel del mar en diversas estaciones de mareas en la República de Panamá, así como también las instituciones involucradas en las observaciones y manejo de los datos y nuestras proyecciones futuras.

### ➤ **Información General**

- **Características Físicas**

La República de Panamá posee dos extensas costas de las cuales emergen unas 1,518 Islas e islotes. La costa Pacífica presenta una extensión a lo largo de 1,700.6 Km siendo más extensa que la del Caribe de 1,200 Km. En la franja costera del Pacífico se destaca de Occidente a Oriente varios accidentes geográficos que caracterizan el sector costero panameño entre los Golfos de Chiriquí, Montijo, Panamá y el Golfo de San Miguel, las Bahías de Charco Azul, Parita, Panamá y las Penínsulas de Burica y de Azuero. Estas poseen así mismo una extensa superficie de ecosistemas costeros que van desde manglares, arrecifes coralinos, zonas estuarinas, lagunas costeras, playas, áreas salinas y un gran número de recursos los cuales son utilizados tanto por las comunidades costeras como por el sector privado y gubernamental para realizar diferentes actividades. Estas costas como toda las de América Central, son de reciente emergencia (Cuaternario), es decir, que están en una etapa juvenil de desarrollo.

### **Mareas**

Las mareas son de carácter semi- diurno en el Sector del Pacífico (período cercano a 12,42 horas) con desigualdades diurnas inferiores al 7% de la amplitud media, el rango extremo

de marea es de aproximadamente de 6 metros. En el Caribe las mareas tienen carácter semi- diurno mixto y el rango extremo de la misma es de 0.33 m.

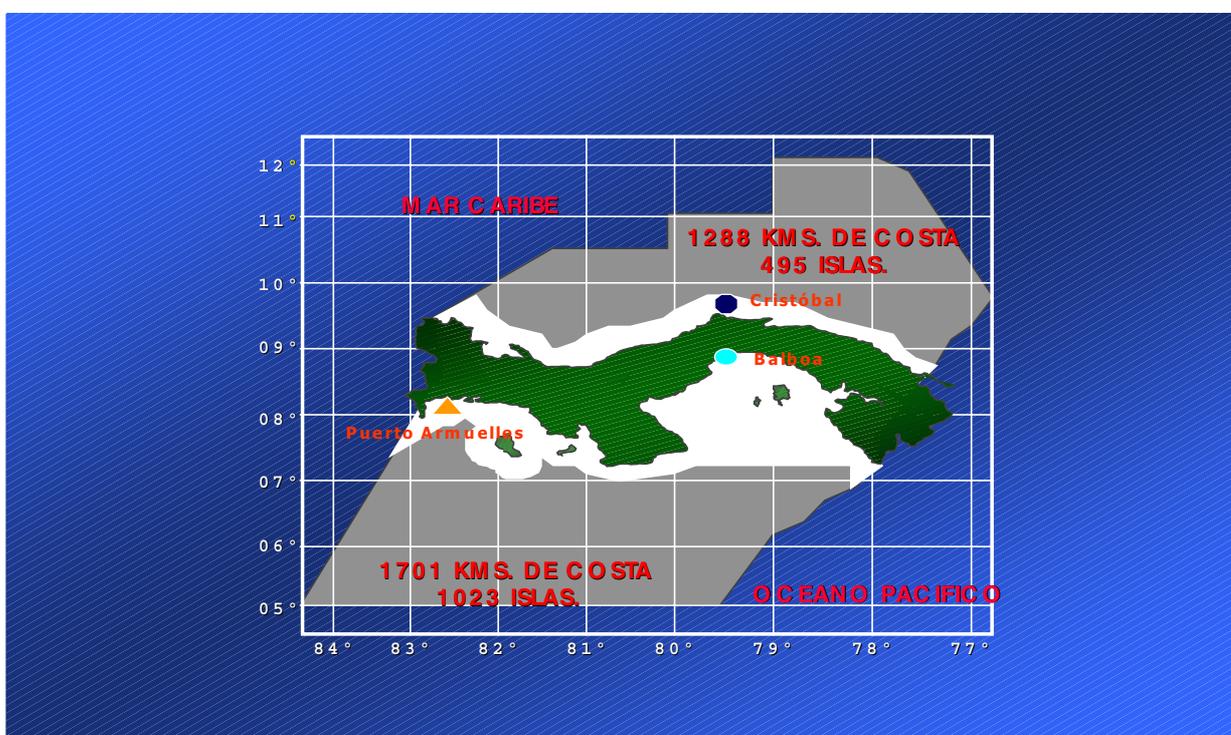
### Sismicidad.

La actividad sísmica en Panamá es de aspecto difuso, asociada con diversas fallas locales, principalmente con la península de Azuero, Serranía de San Blas, Provincia de Chiriquí, Golfo de Panamá y en la Provincia del Darién. Los únicos eventos reportados como desastres ocurrieron en 1621 y 1882. Este lapso de 250 años entre ambos eventos explica que la población considera esta zona inmune a los sismos fuertes. Estos sismos se originaron en el fondo oceánico, frente a las costas del Caribe de la Provincia de Colón. Aunque, recientemente, en la Provincia de Chiriquí se han reportados eventos o movimientos sísmicos de consideración que de forma directa o indirecta influyen en el nivel del mar.

### ➤ Agencias Encargadas de la Administración de las Estaciones de Marea.

En el ámbito nacional existen tres estaciones mareográficas. Mapa 1.:

1. Sector Caribe
  - a. (Bahía Limón– Estación Cristóbal)
2. Sector Pacífico
  - a. Golfo de Panamá- Estación Balboa
  - b. Golfo de Chiriquí – Estación Puerto Armuelles.



*Mapa 1. Ubicación geográfica de las estaciones de Marea.*

CuadroN°1.

Estaciones Mareograficas En la República de Panamá

<b>ESTACIÓN MAREOGRAFICA</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRAFICA</b>	<b>PERIODO DE REGISTRO</b>	<b>TIPO DE MAREOGRAFO</b>
BALBOA	08°57'00"N 79°34'00"W	96	FLOTADOR,( STEVENS A –71, HANDAR Y HYDROLYNUX(telemetrico))
CRISTOBAL	09°21'00" N 79°55'00" W	96	FLOTADOR, (STEVENS A –71, HANDAR Y HYDROLYNUX(telemetrico)) + a modo de prueba uno de Presión Water Log, Sutron
PUERTO ARMUELLES	08°16'12" N 82°51'36" W	18.7	ESTÁNDAR GRAFICO

Las estaciones mareográficas existentes en el país de encuentran bajo la administración de las siguientes instituciones:

➤ **Autoridad del Canal de Panamá.**

La República de Panamá asumió la responsabilidad total por la administración, funcionamiento y mantenimiento del Canal de Panamá al mediodía del 31 de diciembre de 1999 y cumple con sus responsabilidades a través de una entidad gubernamental, denominada la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), creada por la constitución Política de la República de Panamá y organizada por la Ley 19 del 11 de junio de 1997.

A la ACP le corresponde privativamente la operación, administración, funcionamiento, conservación, mantenimiento, mejoramiento y modernización del Canal, así como sus actividades y servicios conexos, vigentes a fin de que funcione de manera segura, continua, eficiente y rentable.

La Autoridad del Canal de Panamá administra y maneja los datos de dos estaciones de marea. Estas se localizan en las entradas del Canal, una en Puerto Cristóbal (Bahía de Limón) en el Caribe y la otra en Balboa (Diablo) en el Pacífico. Estas estaciones mareográficas forman parte de la red GLOSS, que proveen la información necesaria para la realización de investigaciones sobre variaciones climáticas y otros. Las mismas comenzaron a registrar en forma ininterrumpida a partir de 1910. Con el principal objetivo de brindar apoyo a todas las actividades del canal que requieran información de niveles y fluctuaciones de la marea.

En la actualidad funcionan en estas estaciones 3 registradores de marea, tipo flotador: Stevens A 71, codificador Handar con capacidad de almacenamiento en sitio y el Hydrolynx (telemétrico). Fig. 1. Este último tiene la capacidad de almacenar y transmitir en tiempo real la data. Sé están realizando pruebas con sensores de presión (water loock), en la estación del Caribe. Esto se debe, a que las observaciones aquí realizadas revisten de

gran importancia, para las operaciones del canal. Inicialmente, el proceso de los datos era manual, consistía en el calculo de todos los planos maréales de referencia y las constantes armónicas por el cual se caracterizó el régimen mareal del país. A la fecha el proceso es automatizado, registrando alturas horarias, aunque para mantener la calidad y control se revisa semanalmente los mareógrafos de Balboa y mensualmente el de Cristóbal, de encontrarse algunas inconsistencias se procede a la tabulación y cálculo de los promedios mensuales de las alturas horarias de cada mareógrafo.

➤ **Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG).**

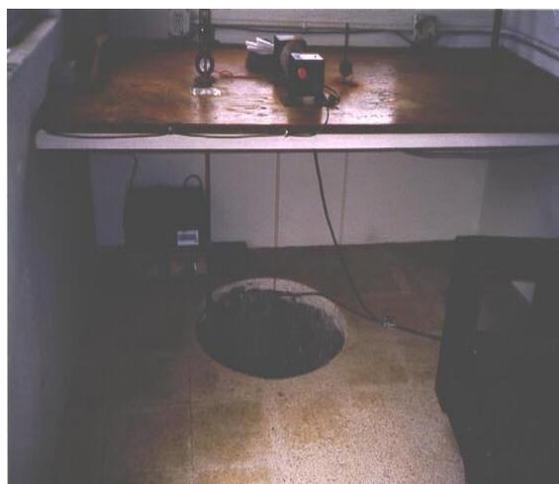
Este Instituto tiene la responsabilidad de la elaboración de toda la cartografía nacional, el cual fue creado mediante Decreto Ley 8 de 1969.

La estación mareográfica de Puerto Armuelles ubicada en la provincia de Chiriquí se encuentra bajo su administración, es de carácter permanente desde noviembre de 1982 hasta la fecha. La información consiste en la tabulación de las alturas horarias y mareas bajas y altas. El tipo de mareógrafo “Standart Gráfico”

Las observaciones son realizadas por un operador que se encarga de las lecturas de la regla con un mínimo de 3 veces al día y de hacer cambio de rollo cuando sea necesario. El proceso de análisis realizado en oficina es el siguiente:

1. Chequeo y revisión de rollo de marea cada mes.
2. Tabulación y calculo de lectura comparativa.
3. Tabulación y calculo de nivel promedio por hora
4. Tabulación y calculo de marea alta y baja

Para los cálculos es utilizado el **US Department of Commerce Coast and Geodetic survey Manual of Tide Observations**. Teniendo para cada una de las Tabulaciones formularios que facilitan la recopilación y proceso de la data.



**Fig. 1. mareógrafos de la Estación Balboa (Diablo) y Cristóbal (Bahía Limón)**

➤ **Servicio Marítimo Nacional(SMN).**

Por La **Ley No. 20 de 1983** el Estado cuenta con Fuerza de Marina, organización que de Acuerdo al **Decreto 38 del 10 de febrero de 1990** es reorganizada bajo el nombre

de Servicio Marítimo Nacional y le son brindadas amplias funciones de seguridad marítima a todo lo largo de nuestros dos espacios oceánicos, en coordinación con la Autoridad Marítima del País.

A través, del Departamento de Oceanografía e Hidrografía el SMN se integra de manera indirecta en el manejo de estaciones de mareas; siendo principalmente usuario de la información, debido a su reciente creación y a la naturaleza de sus funciones de levantamientos hidrográficos, aún no cuenta con estaciones permanentes, sin embargo, ha establecido en diversos puntos del Golfo de Panamá mareógrafos por espacio de 45 días para reducción de los sondajes, datos que son referidos al datum estable de Balboa. El mareógrafo utilizado en estas ocasiones es de presión (Sutron) y sus respectivas reglas mareales.

### ➤ COMISIÓN HIDOGRAFICA Y OCEANOGRAFICA DE PANAMÁ

Considerando la situación actual como un país marítimo y el poco desarrollo de estas ciencias y enmarcados en una estrategia marítima nacional para el desarrollo de este sector. Se constituye la Comisión Hidrográfica y Oceanográfica de Panamá el 26 de agosto del año 2001, integradas por las instituciones arriba mencionadas **ACP, IGNTG, SMN**, además de la Autoridad Marítima de Panamá (**AMP**), quién por Decreto ley 7 de 10 de febrero 1998 le corresponde actualizado el sistema de información Hidrográfica necesaria para el desarrollo de dicho sector. Actualmente, existe intenciones de ingreso de la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SENACYT) a dicha Comisión.

Entre las funciones se destaca la de identificar y recomendar las acciones necesarias para el mejoramiento y actualización de la información Oceanográfica e Hidrográfica nacional.



Fig. 2. Estación de marea Sutron , codificador Digital más transducer de presión y la Regla de marea utilizado en las campañas Hidrográficas.

## ➤ NIVELES DE REFERENCIA PARA ALTURAS DE MAREA

Para describir, cuantificar, relacionar, en síntesis, para estudiar muchos fenómenos que ocurren sobre la superficie del planeta, es necesario establecer la posición vertical de puntos de ella en relación con una posición de partida o datum vertical. Este datum debe ser un nivel bien definido y de fácil recuperación, los niveles del mar han sido universalmente utilizados con tal propósito. Estos niveles son valores estadísticos producto de la observación continua del nivel de las aguas durante un tiempo muy prolongado. Basados en ese concepto y para cubrir las necesidades de las operaciones del canal de Panamá se establecieron los niveles de referencia para ambos sectores (Pacífico y Caribe).

El nivel de referencia de las Mareas en Balboa (Pacífico) es el Nivel Medio de las Mareas Bajas de Sicigia, el cuál está, según el Servicio Geodésico y de Costas de los Estados Unidos, 8.6 pies por debajo del Nivel Medio del Mar (MSL) en Balboa. Basado en las elevaciones medias de mareas para el período de 19 años 1916-1934, el nivel medio de las mareas bajas de sicigia está 7.617 pies por debajo del PLD. Este Nivel preciso del Canal es de único uso para las operaciones del Canal de Panamá.

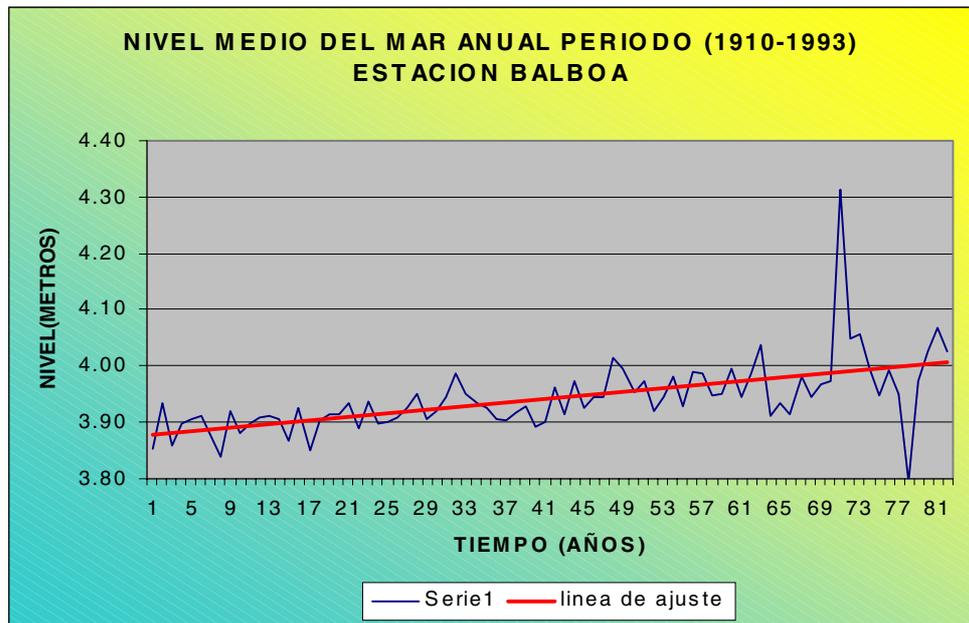
Igualmente, se estableció el nivel de referencia de las mareas de Cristóbal (Caribe), es el Nivel Medio de Mareas Bajas, el cuál está, según el Servicio Geodésico y de Costas de los Estados Unidos, 0.6 pies por debajo del Nivel Medio del Mar en Cristóbal. Basado en las elevaciones medias de mareas para el período de 19 años 1916-1934, el Nivel Medio de Mareas Bajas en Cristóbal está 0.384 pies por debajo del Nivel preciso del Canal (PLD), Fig. 3.

## ➤ NIVEL MEDIO DEL MAR

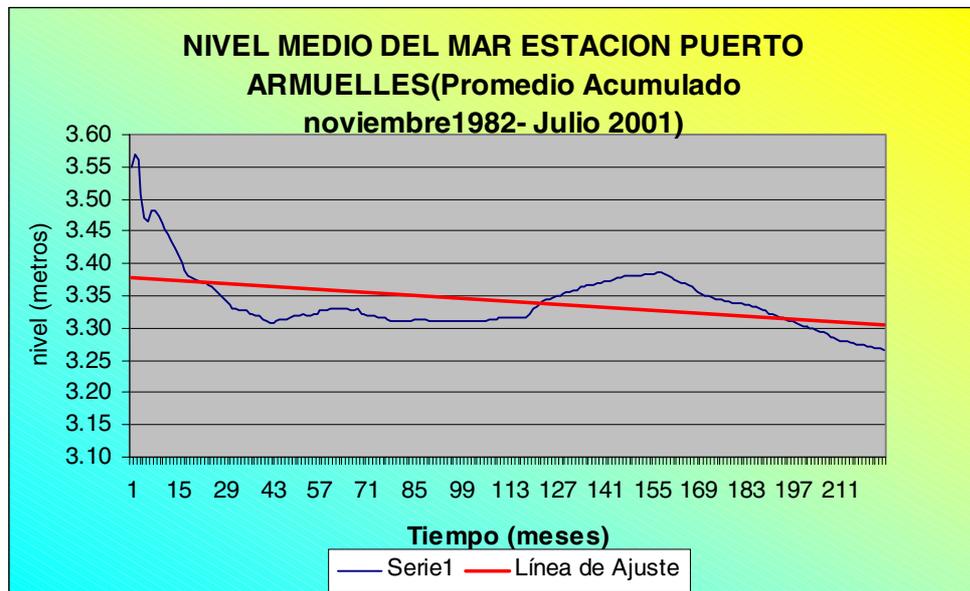
El nivel medio del mar (MSL) se define como el promedio de las alturas que han alcanzado las aguas cada hora, observadas continuamente durante un determinado período. La firmeza de cualquier conclusión en relación con cambios en ese nivel depende de la longitud de la serie temporal y de la calidad de los datos. La fuente de los datos para caracterizar el comportamiento de ese nivel, está basados en observaciones directas y continuas del nivel del mar de las estaciones de Balboa y Cristóbal, que son abundantes en la forma de largas series de tiempo, desde que inicio las operaciones del Canal de Panamá. Con la excepción de los datos del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”, IGNTG, donde la serie total de observaciones es corta, pues tan solo contiene un período nodal y de los cuales se ha podido tener acceso de los manuscritos en donde se tabularon los promedios mensuales y acumulado de las alturas horarias, así como también los diferentes niveles maréales de referencia de dicho período. Para efectos de este trabajo después de una rápida revisión de ellos y sin aplicar ningún filtrado de otros factores que también tienden a incrementar el nivel del mar, se elaboró los gráficos y se trazaron las tendencias que aparecen a continuación:

En el gráfico1, se consigna el comportamiento del MSL a lo largo de 83 años, de 1910 a 1993. Obsérvese, que la tendencia a incremento ha sido sostenida, durante todo el período, manteniendo un ritmo de incremento de 1.8 mm/año o sea 14.9cm en 83 años. Claramente, observamos que en algunos años las elevaciones son mayores, obedeciendo a leyes físicas de expansión de la masa de agua por altas temperaturas del mar, como

sucedió en el 82-83, durante un evento Niño. Seguidamente, se observa un descenso extremo, en esta ocasión producido también por fenómeno frío de macro- escala, la Niña.

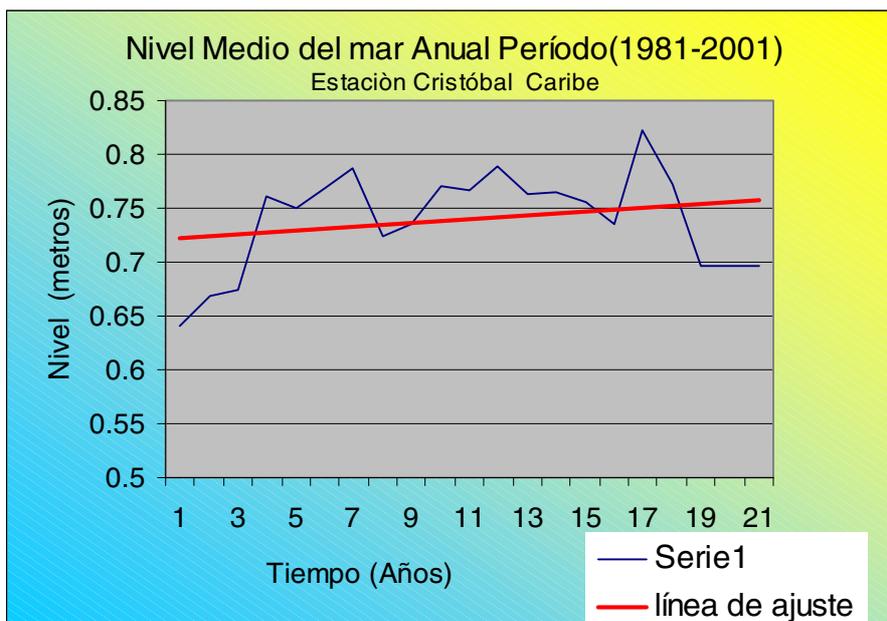


**Gráfico1. Comportamiento del MSL en la estación Balboa.**



**Gráfico 2. Comportamiento del MSL en la Estación Puerto Armuelles.**

La tendencia observada en el gráfico 2 es de descenso del nivel medio del mar de 6 cm, durante todo el período, a razón de 3.2 mm / año.



**Gráfico 3. Comportamiento del MSL en la Estación Cristóbal (Caribe)**

Para la estación Cristóbal o Bahía de Limón, a pesar de tener una serie histórica desde el inicio de las operaciones del canal de Panamá, como lo mencionamos anteriormente, no se pudo obtener acceso a la misma por presentarse algunos inconvenientes con el sistema en el momento de proceso de la data. A pesar del mismo, se logro tener 21 años de registros continuos desde 1981 hasta 2001, los cuales se presentan en el gráfico 3. Se observa que el Nivel medio del mar presenta una tendencia de incremento a razón de 1.4 mm /año de aproximadamente según la línea de ajuste aplicada.

Cuadro N°.2.

Resultados por estación

Estación Mareográfica	Años analizados	Variación lineal(mm/años)
Balboa	83	1.8
Cristóbal	21	1.4
Puerto Armuelles	18.7	-3.2

Sin embargo, estos resultados no son suficientes para concluir que el nivel del mar está elevándose o que la tierra se está hundiendo, pues se podrían estar observando posiciones extremas en ciclos de largo período.

Para controlar la influencia de esta variación al evaluar los cambios en el MSL lo recomendable es comparar los promedios de series que tengan una longitud temporal de un ciclo nodal (19 años). Aunque la serie total de observaciones de Puerto Armuelles y Cristóbal aquí examinadas contienen un ciclo nodal completo, es imposible compararla y establecer si ha ocurrido un cambio en el MSL o que las diferencias podrían deberse únicamente a cambios dentro del ciclo nodal.

Se ha seleccionado las series de la estación balboa por ser las que contiene 4 ciclos nodal completos, 1916-1934,1935-1953, 1954-1972, 1973-1991, es posible, con buen grado de certidumbre, establecer si en esos 76 años ha ocurrido un cambio en el MSL. En el primer período el MSL es 0.006m (referido al datum de Balboa); en el segundo período es 0.036m, en el tercer período es 0.074 m y en el cuarto es 0.094m. (referidos al mismo datum). Claramente, se observa que el nivel medio en esta estación se ha incrementado; es decir, que entre el primero y segundo el MSL ha subido 0.030 m, entre el segundo y el tercero ha subido 0.038 m, entre el tercero y el cuarto período 0.020 m, el mayor aumento se reflejó entre el segundo y tercer período, lo que obviamente, evidencia cambios dentro de cada ciclo nodal; es decir, fluctuaciones propias que pueden ser mayores o menores durante un período nodal.

Cuadro N°.3.

Estación Balboa, Periodos nodal.

Período Nodal (19 años)	MSL (Referido al Datum Vertical) (m)	Variación Lineal por período(mm/años)	Cambios entre períodos(m)	
1916-1934	0.006	0.31	I -II	0.030
1935-1953	0.036	1.89	II-III	0.038
1954-1972	0.074	3.89	III-IV	0.020
1973-1991	0.094	4.89		

Notamos, que ambos procedimientos demuestran un incremento del nivel del mar en la estación Balboa; es decir, en los 76 años transcurridos entre uno y otro período el MSL subió cerca de 0.088 m, equivalentes a 1.15 mm /año.

## ➤ RECOMENDACIONES

1. Ampliar el número de estaciones costeras, distribuidas de la siguiente manera:
  - ◆ Sector Caribe
    - Provincia de Bocas del Toro
    - Provincia de Colon (el Porvenir o Cercano al mismo).
  - ◆ Sector Pacífico
    - Provincia de Darién
    - Provincias Centrales.
- 2. Mantener Operativa da estación de Puerto Armuelles y tecnificarla, agregando otro sensor que sirva de soporte al mareógrafo Standard.
- 3. Centralizar la información en un banco de datos.
- Para el control de calidad se debe tabular y calcular los niveles de referencias mensuales.
- 4. Recuperar los BM y densificar la red de cotas.
- 5. Instalar receptores DGPS cercanos a las estaciones mareográficas y establecer un marco de referencia para detectar movimientos verticales.

➤ **PROYECTOS NACIONALES**

**1. Vulnerabilidad de las Costas ante el incremento del nivel del mar**

**2. ESTABLECIMIENTO DE NUEVAS ESTACIONES MAREOGRAFICAS.**

• **OBJETIVOS:**

1. Incrementar el número de estaciones costeras, distribuidas de la siguiente manera:
  - ◆ Sector Caribe
    - Provincia de Bocas del Toro
    - Provincia de Colon (el Porvenir o Cercano al mismo).
  - ◆ Sector Pacífico
    - Provincia de Darién
    - Provincias Centrales.
2. Generar información geodésica (Nivelación y densificación de la red GPS).

• **INSTITUCIONES INVOLUCRADAS :**

Servicio Marítimo Nacional (SMN)

Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT)

Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG)

• **ACTIVIDADES DEL SMN :**

Instalación y operación de dos mareógrafos en el sector Pacífico.