Mediciónes del nivel de mar en México

Segura Quiroz David Humberto, Sánchez Blanco Edy Nelson, Gozo Avila Jesus Guillermo, Molina Gachuzo Francisco Javier

Investigadores de la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Costera del Instituto Mexicano del Transporte

dsegura@imt.mx, esanchez@imt.mx, Guillermo.Gozo@imt.mx, Javier.Gachuzo@imt.mx

R e s u m e n

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT), conforme al acuerdo No. 001/2006 de la entonces denominada Secretaría de Comunicaciones y Transportes, opera la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas (RENEOM), mediante esta red se miden y registran las características y variables oceanográficas, así como las variables meteorológicas en diferentes puertos de México. Dichas variables son factores de los que depende directamente el comportamiento morfológico de la franja costera, jugando un papel importante tanto en la evolución física de las playas, como en la respuesta hidrodinámica de cualquier estructura marítima.

Por lo anterior, resulta evidente la necesidad de contar con información del clima marítimo representativo de los Puertos Nacionales, información que es de vital importancia ya que tendrá múltiples aplicaciones, pero principalmente se orientará a la comunidad ingenieril que desarrolla trabajos relativos a las costas de México. El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) convencido de la importancia de contar con mediciones de variables oceanográficas y meteorológicas en las costas de México, desarrolló e implementó la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas (RENEOM). La RENEOM, de forma similar a otras redes internacionales tiene por objetivo continuar con la instalación, mantenimiento y operación de equipos de medición especializada de forma permanente, con el fin de integrar una base de datos confiable.

La RENEOM es un proyecto que tiene como objetivo medir, acopiar, analizar, interpretar datos y difundir información océano meteorológica. Esta información es aplicable al diseño optimizado de la infraestructura marítimo-portuaria; a la mejora de la operatividad portuaria; a la seguridad de la navegación de las embarcaciones al arribar o salir de puerto, así como, en la gestión integral de las costas, incluyendo la preservación de puertos y refugios pesqueros, playas y aprovechamientos piscícolas. Esta información es utilizada por el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis, ya que este Instituto participa en representación de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes. La RENEOM está conformada por una red de equipos de medición especializada instalados de forma permanente en el Litoral Nacional.

Medición del nivel del mar

Las estaciones mareográficas (EMA) instaladas para la RENEOM permiten hacer mediciones del nivel del mar de manera permanente y continua. El equipo adquirido por el IMT es de marca Vaisala, empresa Finlandesa. Estos equipos monitorean el nivel del mar y están integrados por los componentes que se muestran en la siguiente figura y que se describen a continuación.

Figura 1. Estaciones mareográficas (EMA).

La estación mareográfica (EMA) está compuesta por tres sistemas de medición: medición de nivel del mar por medio de radares, flotador y codificador angular; y la medición del nivel del mar con dos tipos de sensores de presión sumergibles.

Figura 2. Sensores de medición.

Estos sensores están conectados a un datalogger el cual está alojado en una caja Nema para su protección. El sistema de alimentación está formado por un panel solar, una batería de ciclo profundo de 12 Volts y 85 A/hr, y un regulador-controlador de voltaje.

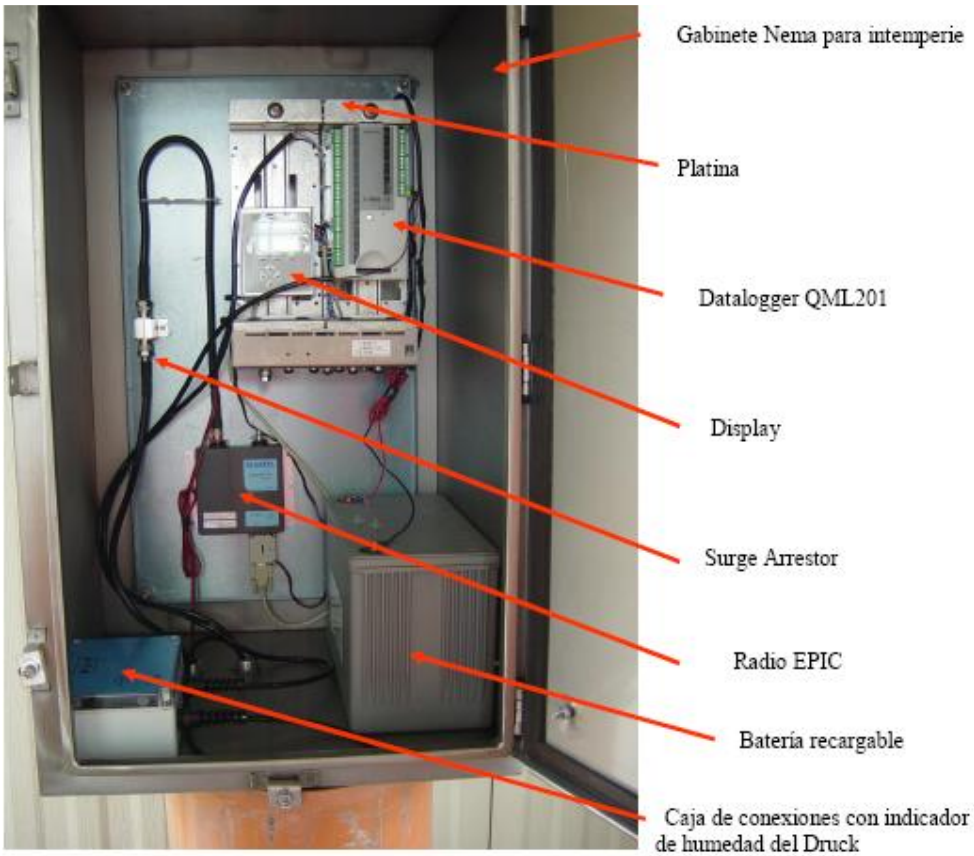

Figura 3. Caja NEMA de estación mareográfica.

Durante el 2023, se mantuvieron en operación 9 estaciones mareográficas (EMA) en los sitios del litoral nacional se ubican en la zona del pacífico occidental mexicano, lugar con alta probabilidad de ocurrencia de tsunamis locales por la constante actividad sísmica.

Estas estaciones se mantuvieron en operación a pesar de que el mantenimiento fue realizado en el año 2020.

Las mediciones generadas fueron conducidas a través del sistema satelital GOES lo que permitió su transmisión ininterrumpida hacia el Centro de Alerta de Tsunamis, del Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis, cumpliendo así con el compromiso de proveer información en tiempo real a dicho sistema de alerta temprana.

Control de calidad

Para determinar la calidad de datos del nivel del mar, tenemos que ser capaces de identificar los criterios que se establecerán para determinarlo, considerando en él, todo un procedimiento fundamentado matemáticamente a fin de lograr el objetivo y así tener un buen control de calidad.

El proceso de control inicia revisando el formato de la información contenida en cada uno de los archivos, detectando tramas de datos incompletas y formatos de la etiqueta tiempo distintos, a fin de homogeneizar la población de datos que será sometido posteriormente al proceso de control de calidad.

Para iniciar el análisis de calidad del dato se consideran criterios de congruencia de la etiqueta tiempo del dato y de continuidad de la señal para posteriormente revisar si los datos se encuentran en el rango de valores aceptables por ser consistentes con los patrones de marea o si, durante un cierto tiempo los datos permanecen constantes.

En el primer proceso de filtrado se eliminan valores que no cumplieron con el control de calidad y se separan de la serie para iniciar al segundo ciclo en el que los datos son filtrados considerando como criterio el patrón del comportamiento típico de las mareas utilizando como referencia una predicción de marea que se obtiene del mejor periodo de mediciones continuas dentro del mismo conjunto de datos.

De este segundo ciclo se obtiene una serie de tiempo de residuales que representa la diferencia entre la medición y la predicción para cada paso de tiempo de la serie en análisis. El objetivo de este ciclo fue generar una herramienta que permita identificar datos que no cumplan con principios de continuidad, siendo el experto en el análisis de señales de marea quien determinó los rangos de confianza para el control de la calidad.

Con la distribución de los residuales, se define el rango dentro del cual cada dato será calificado en los procesos de un tercer ciclo de filtrado con el que se dejó lista la serie de tiempo de las mediciones del nivel del mar en condiciones aceptables para su análisis e interpretación.

Análisis estadístico de las mediciones mareográficas.

Mediante la aplicación de procedimientos científicos que utilizan la recolección, análisis y la descripción de un conjunto de datos numéricos, en este trabajo, se determinaron los valores con los que se pueden definen los planos de referencia de las mareas de un puerto a partir de las mediciones de los niveles del mar de la RENEOM.

De las series de tiempo de las variaciones del nivel del mar cuyos valores cumplieron satisfactoriamente con el proceso de control de calidad, se determinó la elevación de las mareas tomando como referencia para su cálculo una elevación base, nivel o plano de

referencia de mareas, que cada país adopta según las características de cada costa. Los planos de referencia de mareas varían según el lugar y se definen en términos de cierta fase de la marea. Los niveles de referencia se dan con respecto a puntos que se han medido y marcado sobre tierra firme mediante bancos de nivel fijos. Debido a la gran variación de las mareas, todos los planos de referencia de mareas son locales y no se deben extender a grandes distancias.

Tomando en cuenta la información antes mencionada, en la siguiente figura se muestra gráficamente la representación de los diferentes planos de mareas.

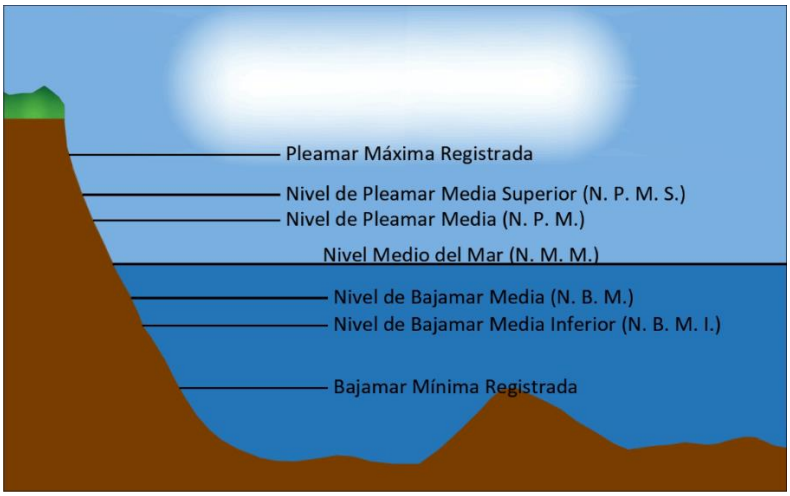

Figura 4. Planos de marea en México.

Ejemplos de mediciones durante el 2023

A continuación, se enlistan las estaciones mareográficas, con sus respectivas gráficas.

a) Tehuamixtle, Jal.

La estación mareográfica de Tehuamixtle, Jal., se encuentra operando, y transmitiendo la información, sin embargo, dichas información no es válida, debido a que no muestra variaciones en los registros.

Figura 5. Ubicación de la estación mareográfica en Tehuamixtle.

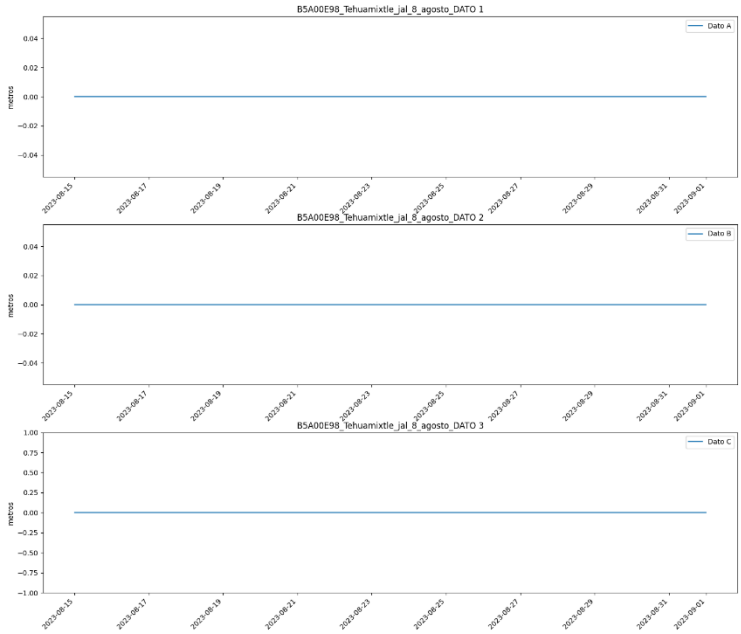

Figura 6. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de agosto registrado por la estación mareográfica de Tehuamixtle.

b) Barra de Navidad, Jal.

La estación mareográfica de Barra de Navidad, Jal., actualmente se encuentra operando y envia la información en tiempo real, sin embargo, dichas información no es válida, debido a que no muestra variaciones en los registros.

Figura 7. Ubicación de la estación mareográfica en Barra de Navidad.

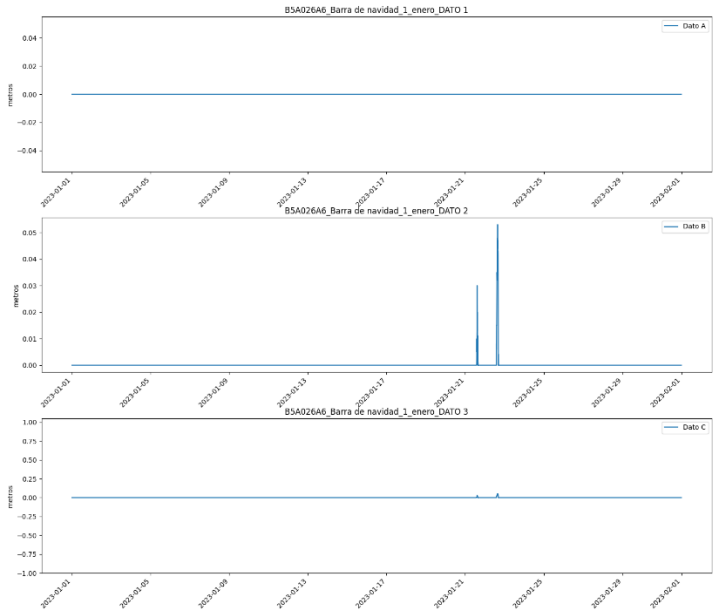

Figura 8. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de enero registrado por la estación mareográfica de Barra de Navidad.

c) Lázaro Cárdenas, Mich.

La estación mareográfica ubicada en el puerto de Lazaro Cardenas, Mich., actualmente se encuentra operando y envia datos en tiempo real, sin embargo, dichas información no es válida, debido a que no muestra variaciones en los registros.

Figura 9. Ubicación de la estación mareográfica en Lázaro Cárdenas.

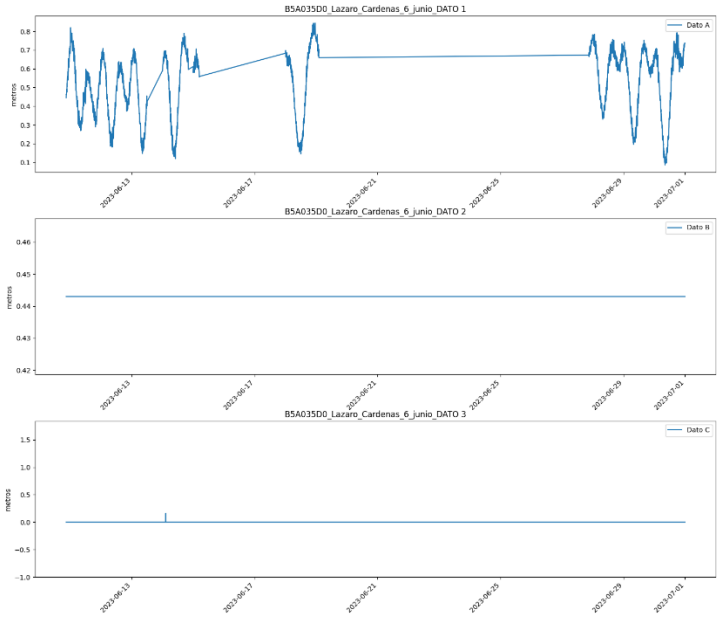

Figura 10. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de junio registrado por la estación mareográfica de Lázaro Cárdenas.

d) Ixtapa, Gro.

La estación mareográfica de Ixtapa, Gro., se encuentra operando, sin embargo, dichas información no es válida, debido a que no muestra variaciones en los registros.

Figura 11. Ubicación de la estación mareográfica en Ixtapa.

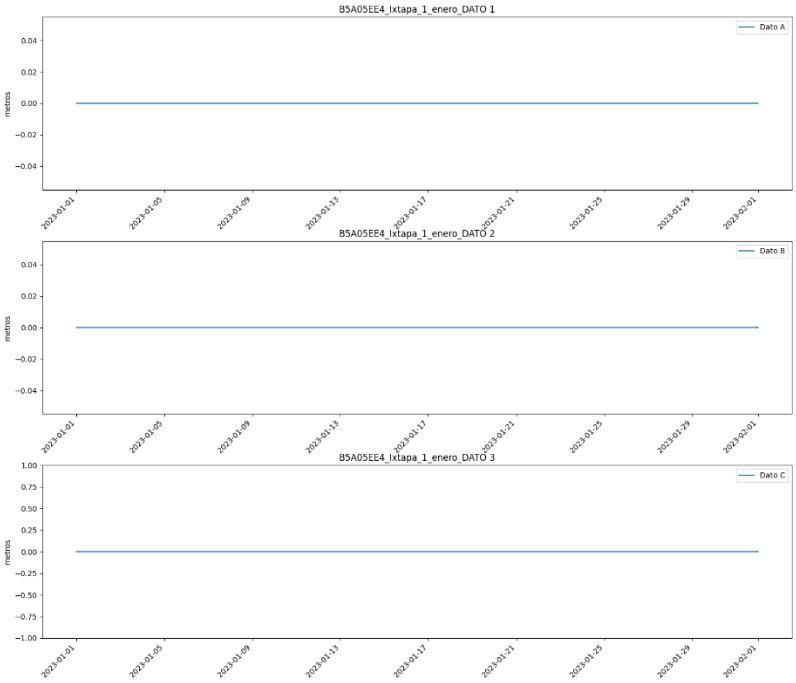

Figura 12. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de enero registrado por la estación mareográfica de Ixtapa.

e) Puerto Escondido, Oax.

La estación localizada en Puerto Escondido, Oax., se encuentra operando y enviando datos en tiempo real, sin embargo, dichas información no es válida, debido a que no muestra variaciones en los registros.

Figura 13. Ubicación de la estación mareográfica en Puerto Escondido.

Figura 14. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de enero registrado por la estación mareográfica de Puerto Escondido.

f) Huatulco, Oax.

La estación mareográfica de Huatulco se encuentra en operación y enviando información en tiempo real.

Figura 15. Estación mareográfica Huatulco, Oax.

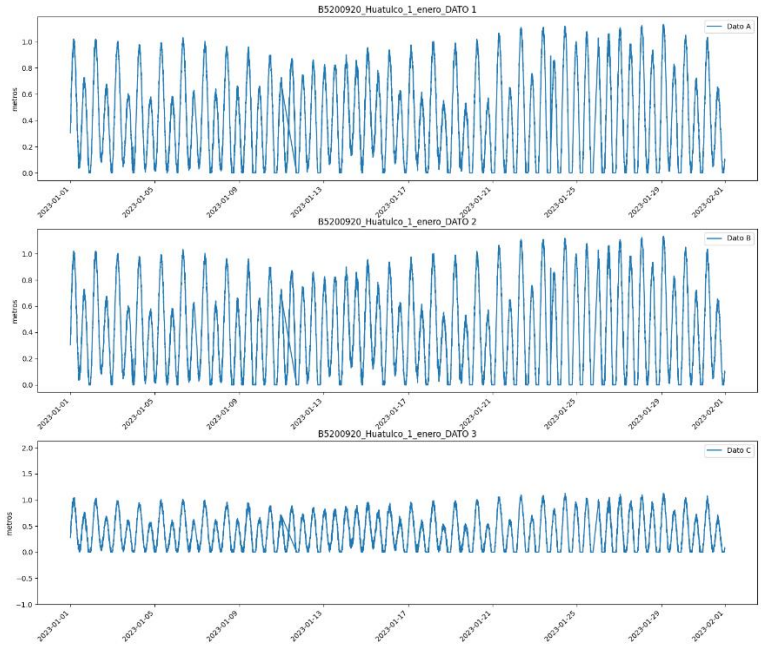

Figura 16. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de enero registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

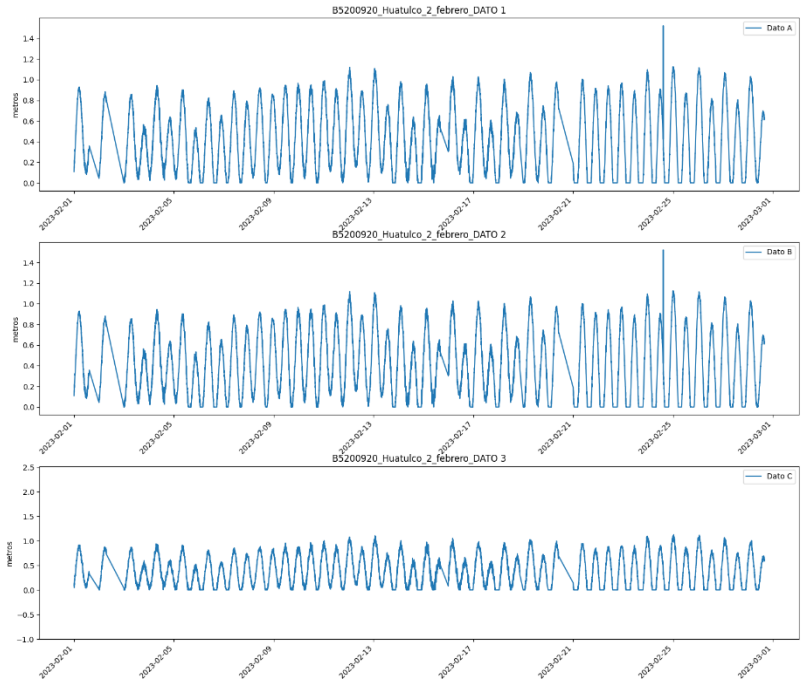

Figura 17. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de febrero registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

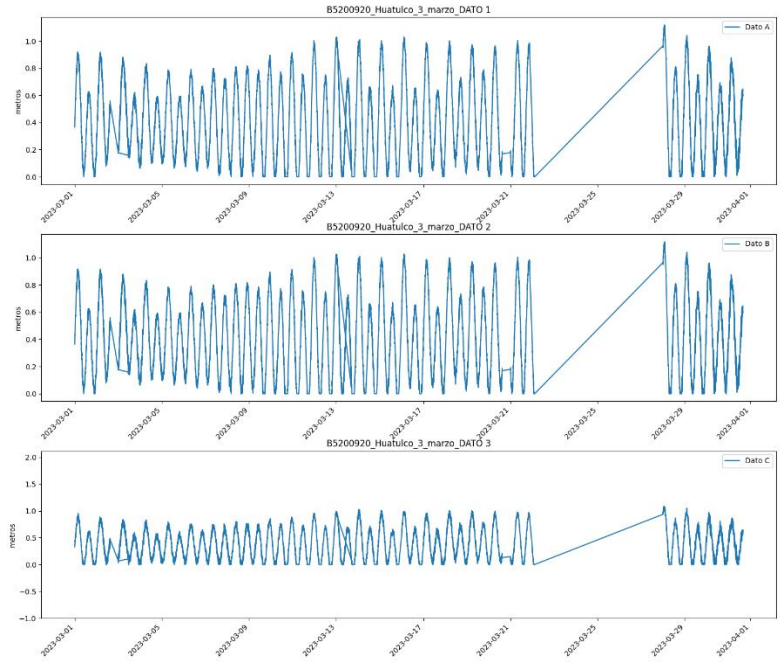

Figura 18. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de marzo registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

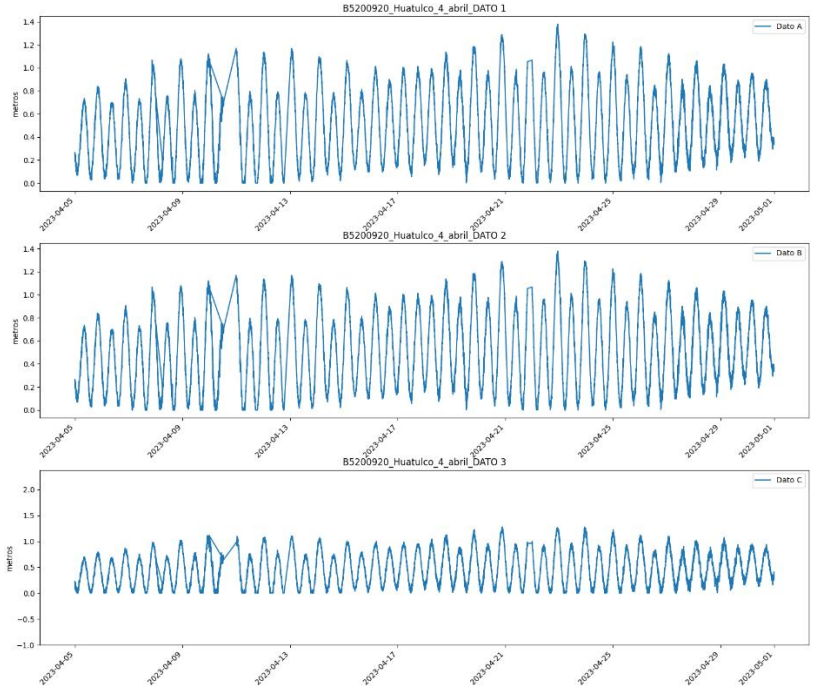

Figura 19. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de abril registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

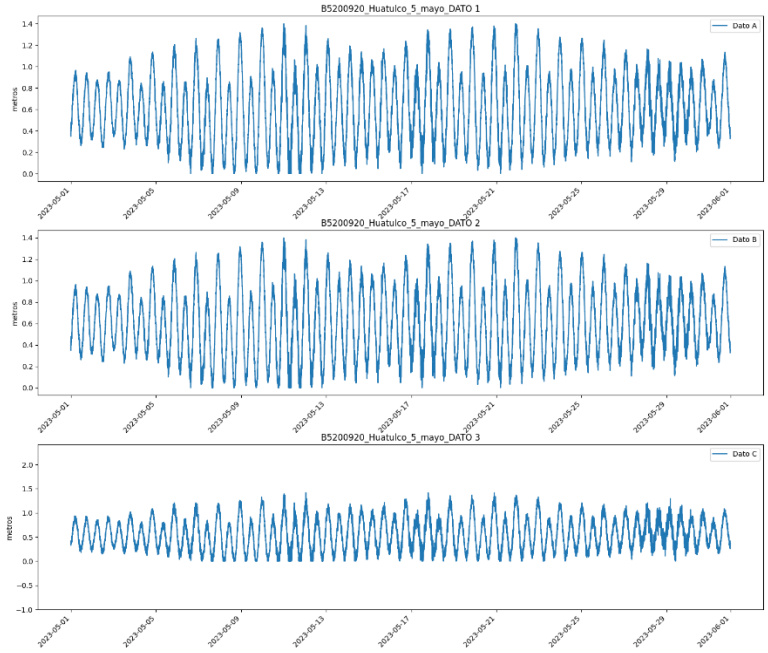

Figura 20. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de mayo registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

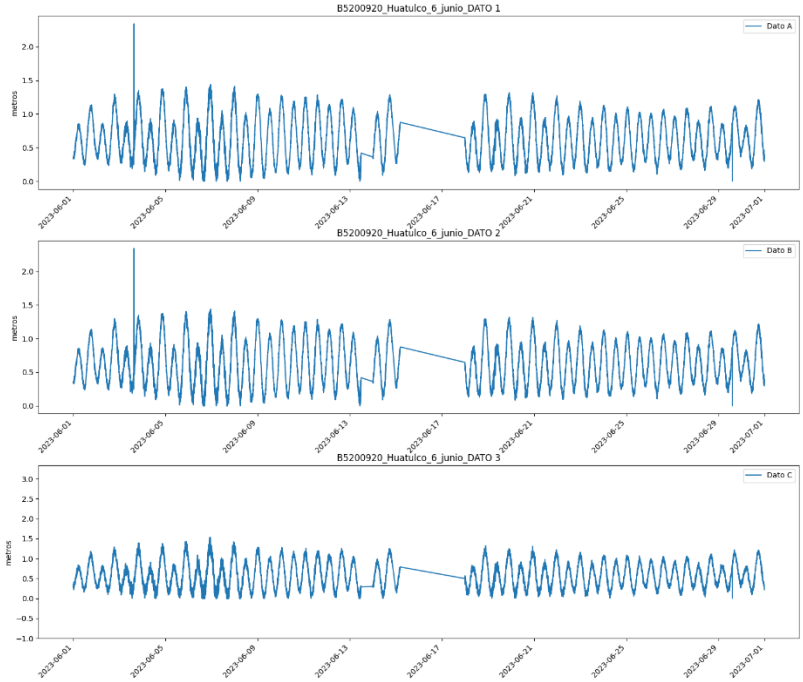

Figura 21. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de junio registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

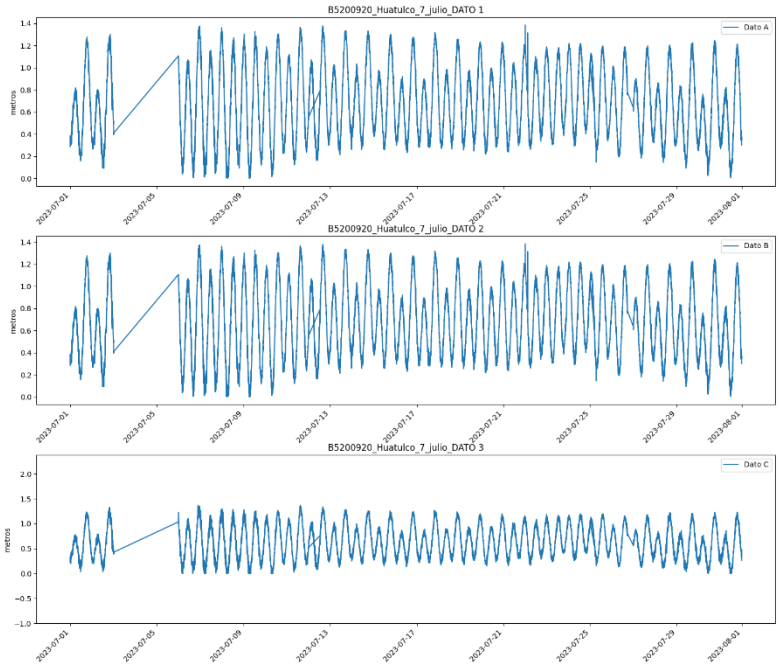

Figura 22. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de julio registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

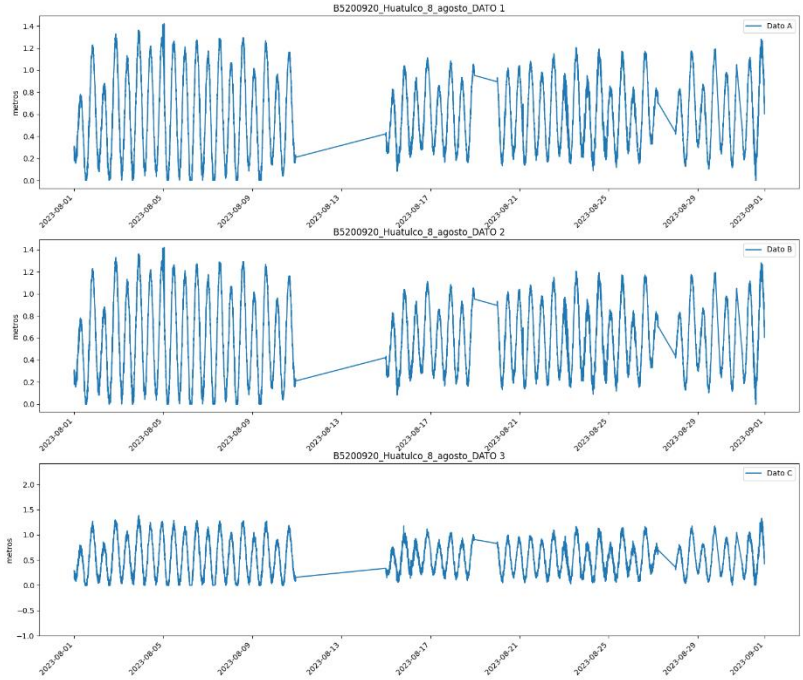

Figura 23. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de agosto registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

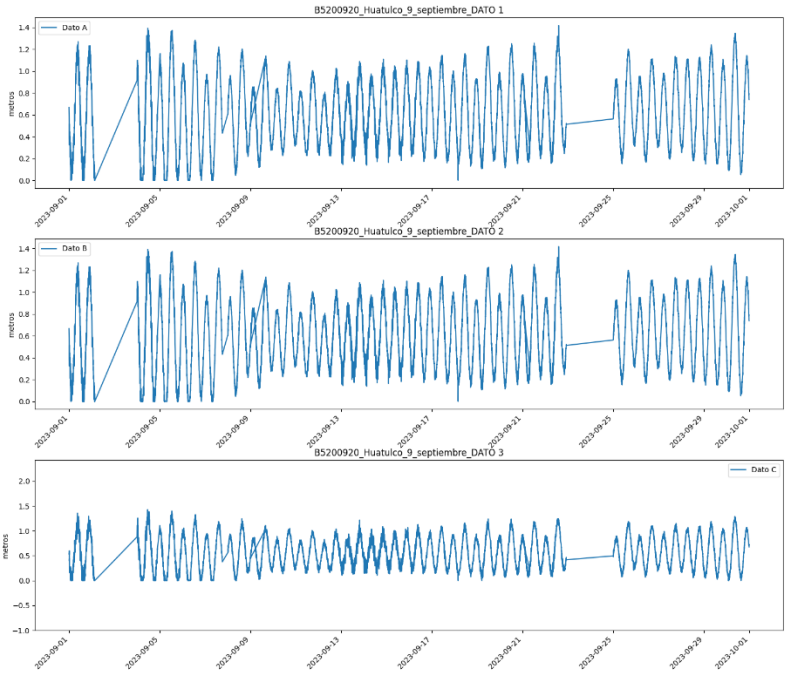

Figura 24. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de septiembre registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

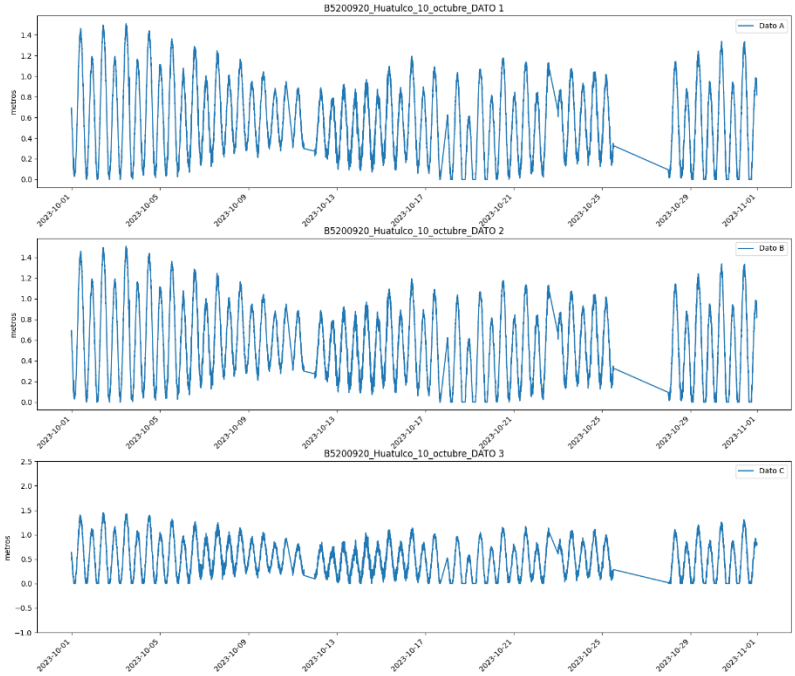

Figura 25. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de octubre registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

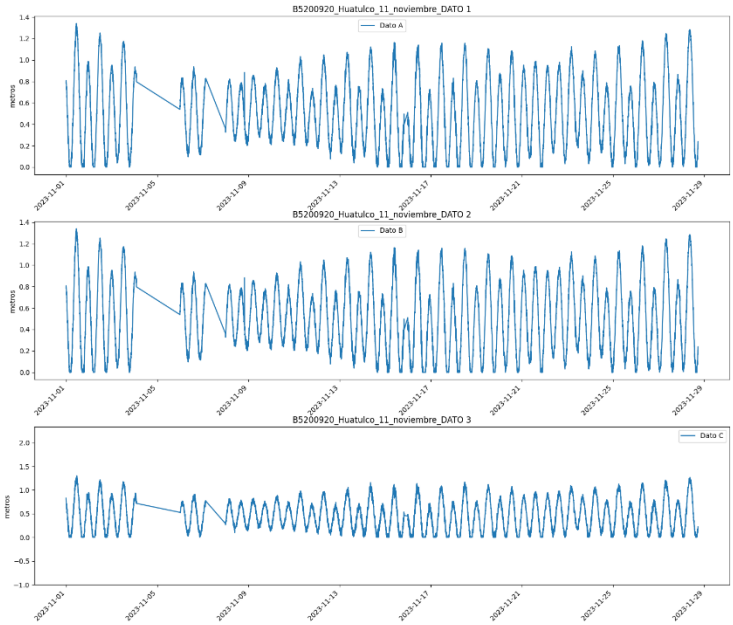

Figura 26. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de noviembre registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

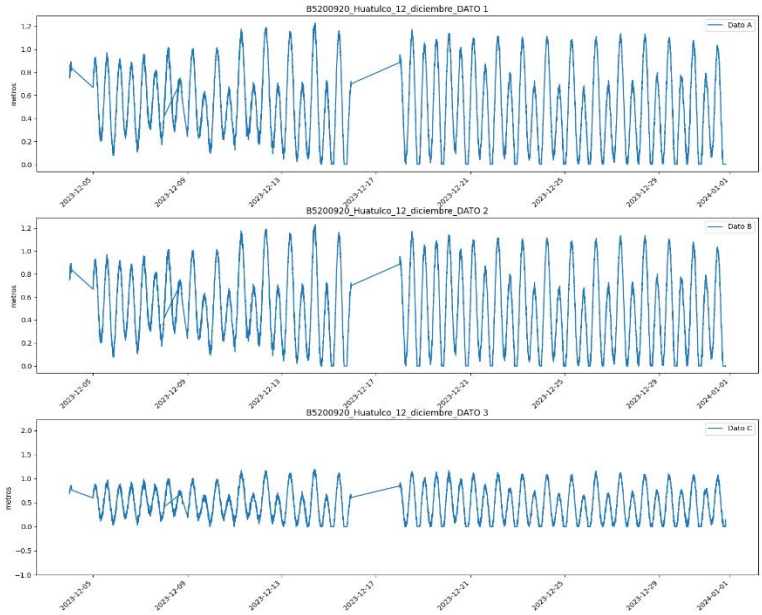

Figura 26. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de diciembre registrado por la estación mareográfica de Huatulco.

g) Salina Cruz, Oax.

La estación mareografia de Salina Cruz, Oax., presentó fallas en la batería y envió información hasta agosto de 2023.

Figura 27 Estación mareográfica de Salina Cruz, Oax.

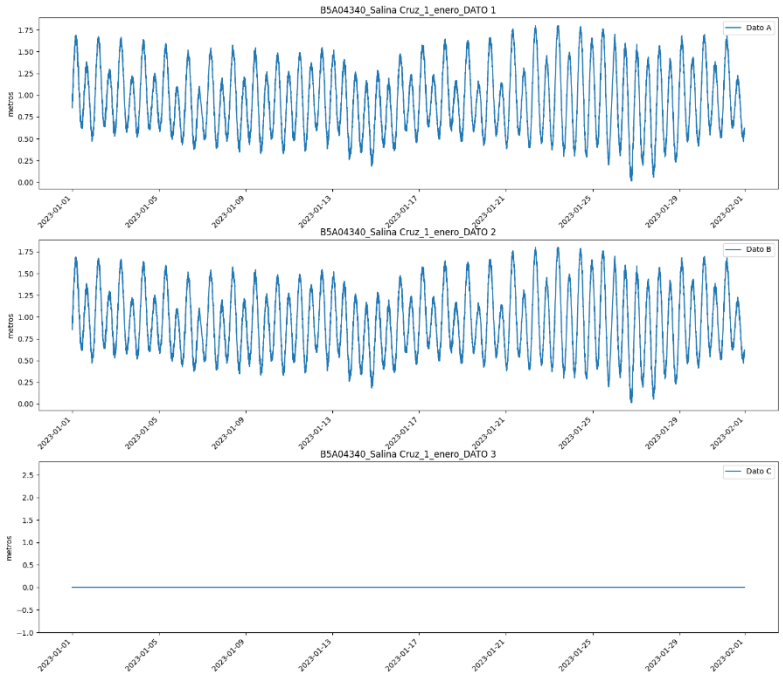

Figura 28. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de enero registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

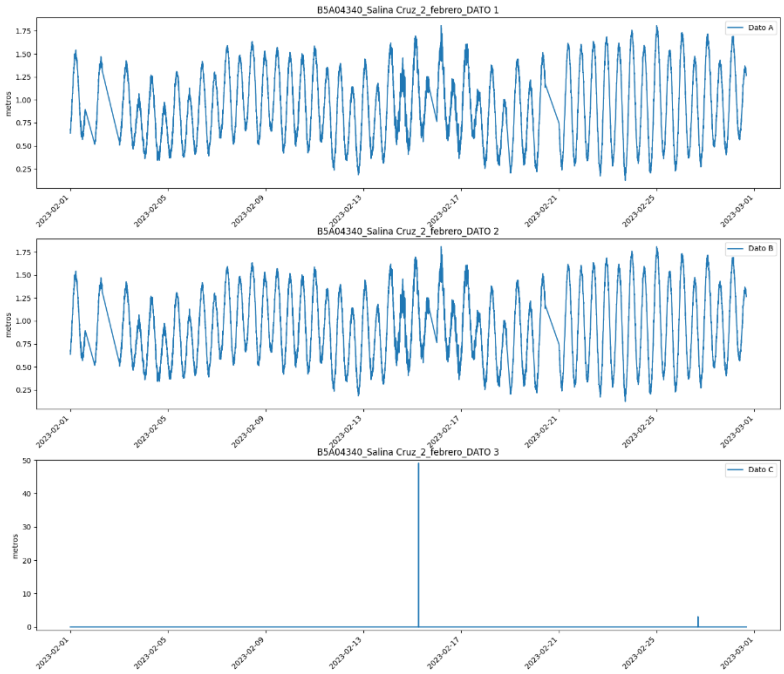

Figura 29. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de febrero registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

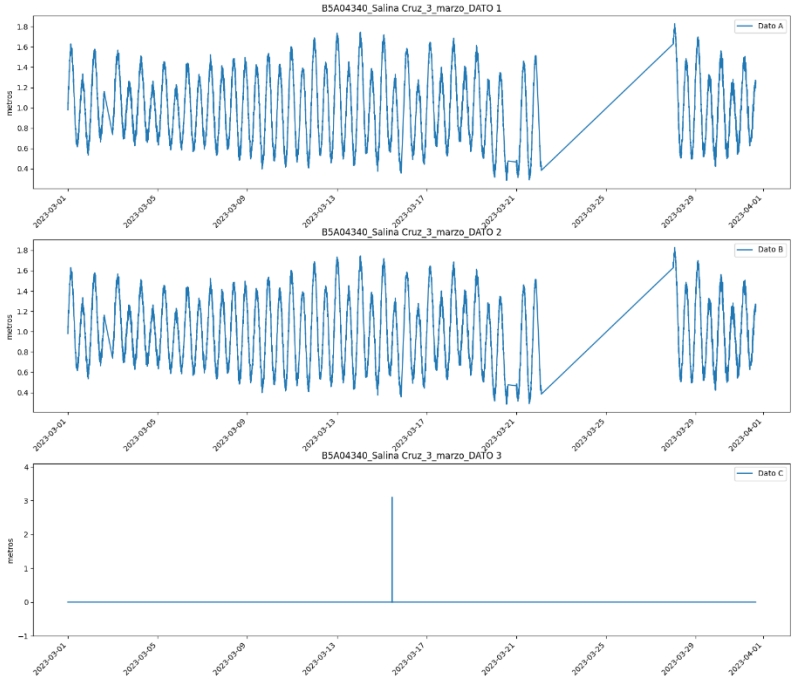

Figura 30. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de marzo registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

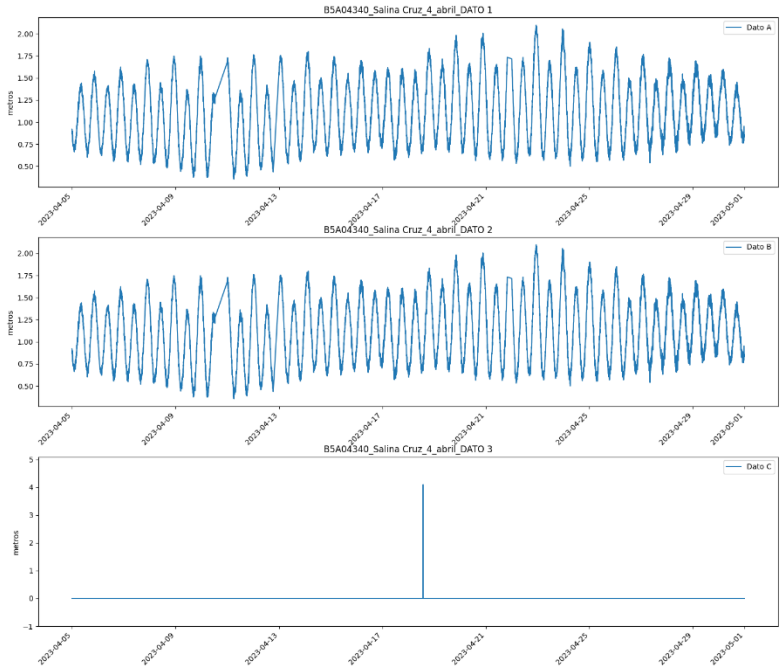

Figura 31. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de abril registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

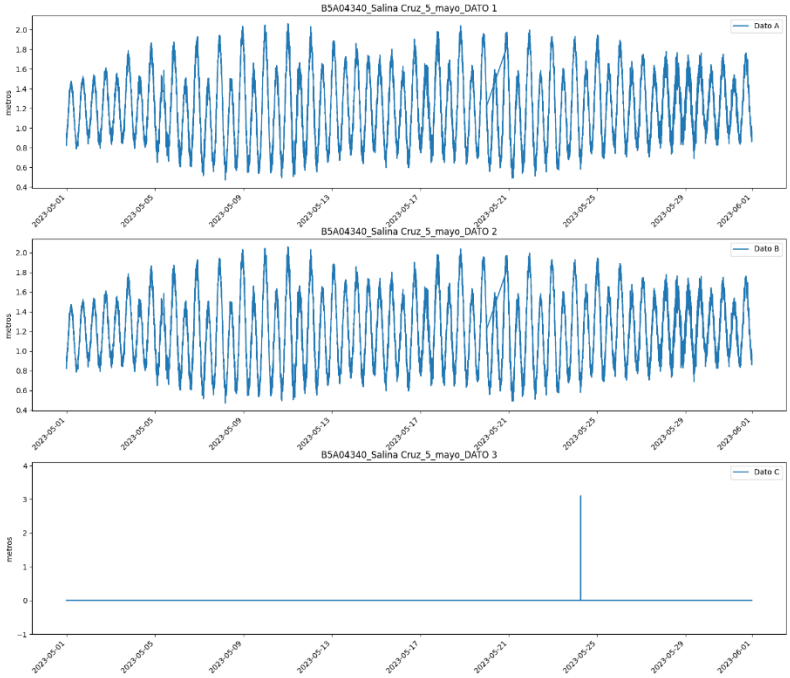

Figura 32. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de mayo registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

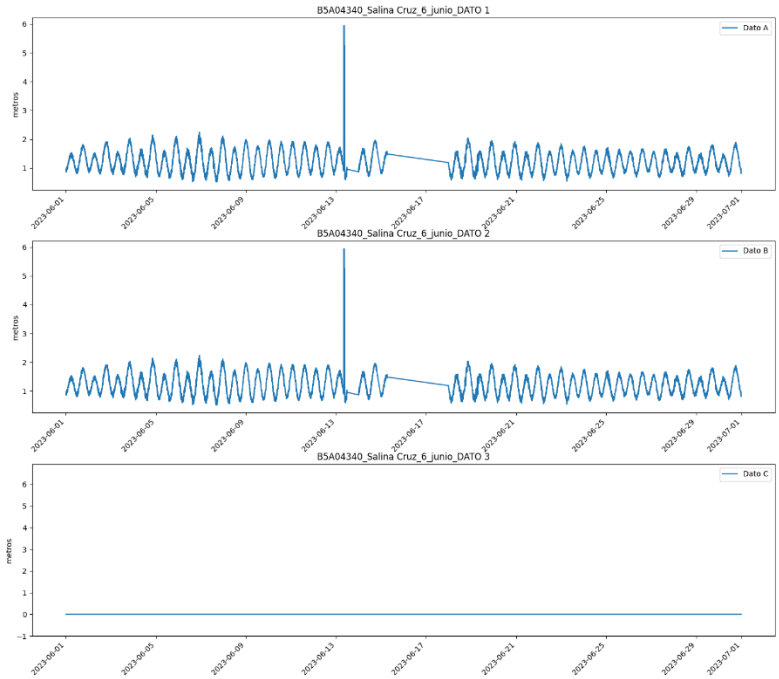

Figura 33. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de junio registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

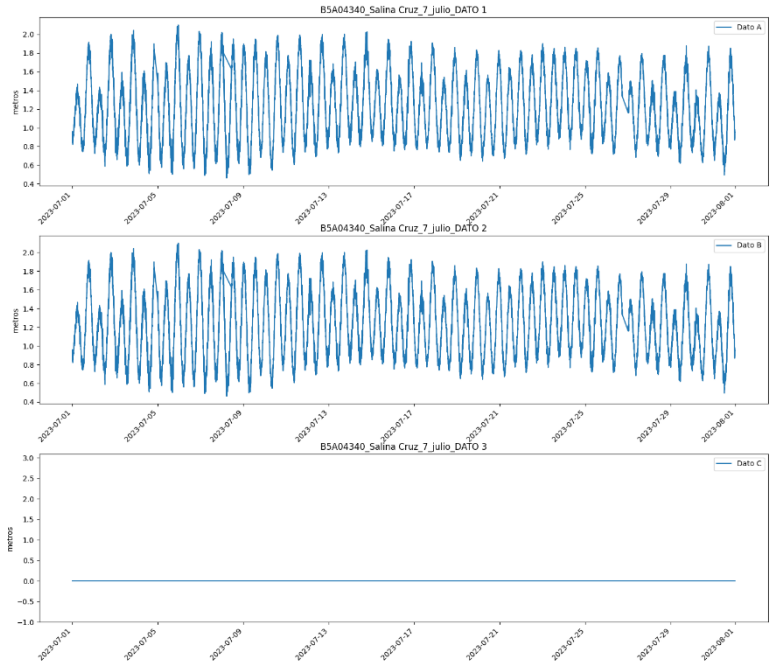

Figura 34. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de julio registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

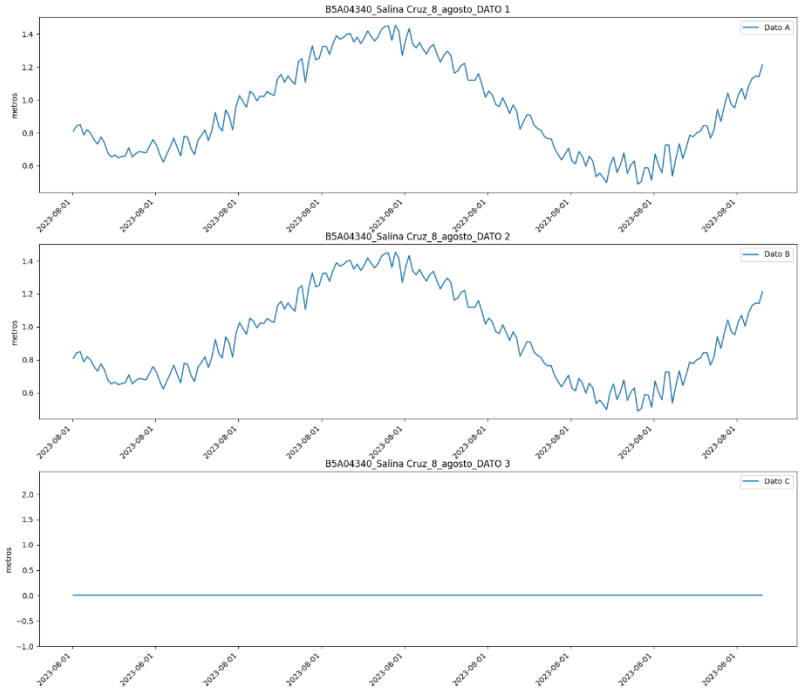

Figura 35. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de agosto registrado por la estación mareográfica de Salina Cruz.

h) Puerto Chiapas, Chis.

La estación mareográfica de Puerto Chiapas, se enecuentra operando y mandando informacion en tiempo real.

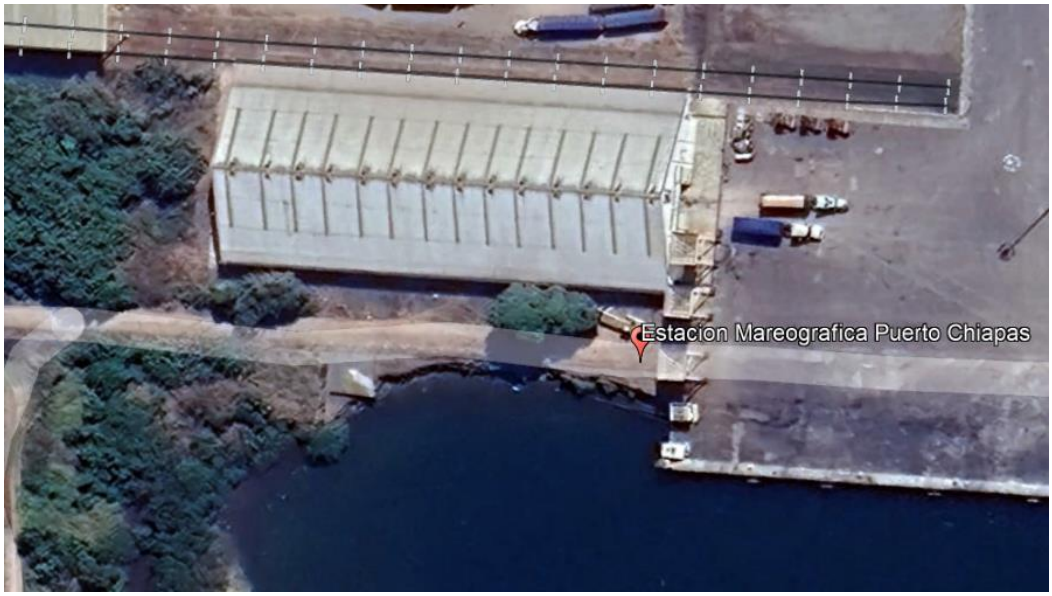

Figura 36. Estación mareográfica Puerto Chiapas.

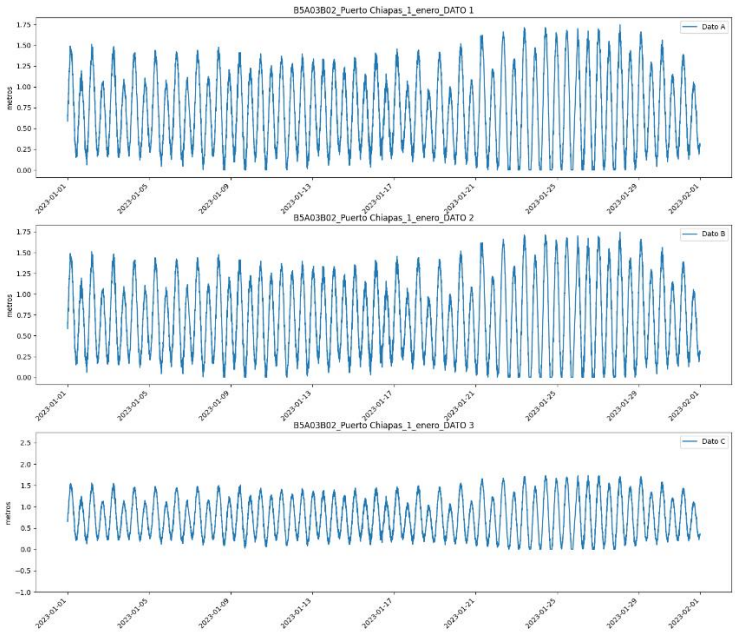

Figura 37. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de enero registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

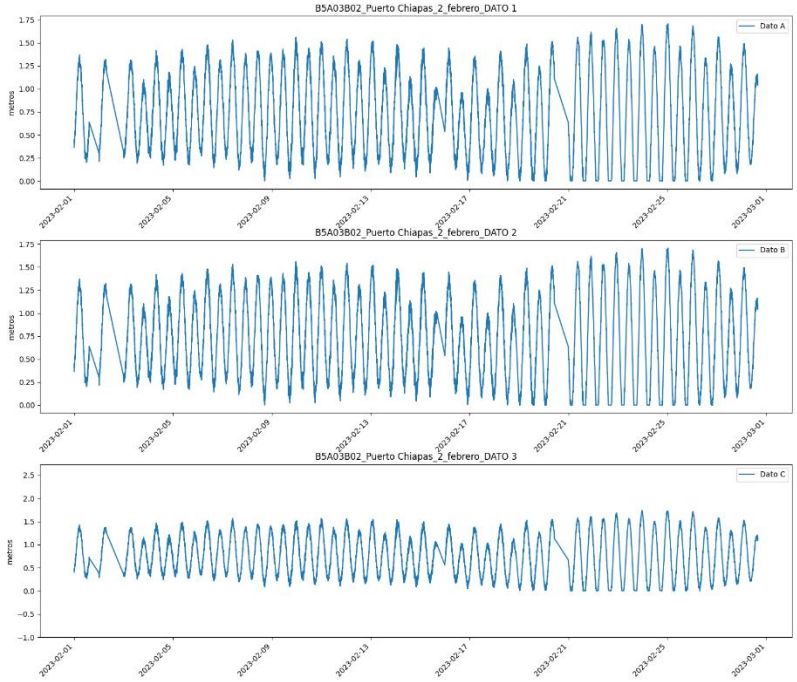

Figura 38. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de febrero registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

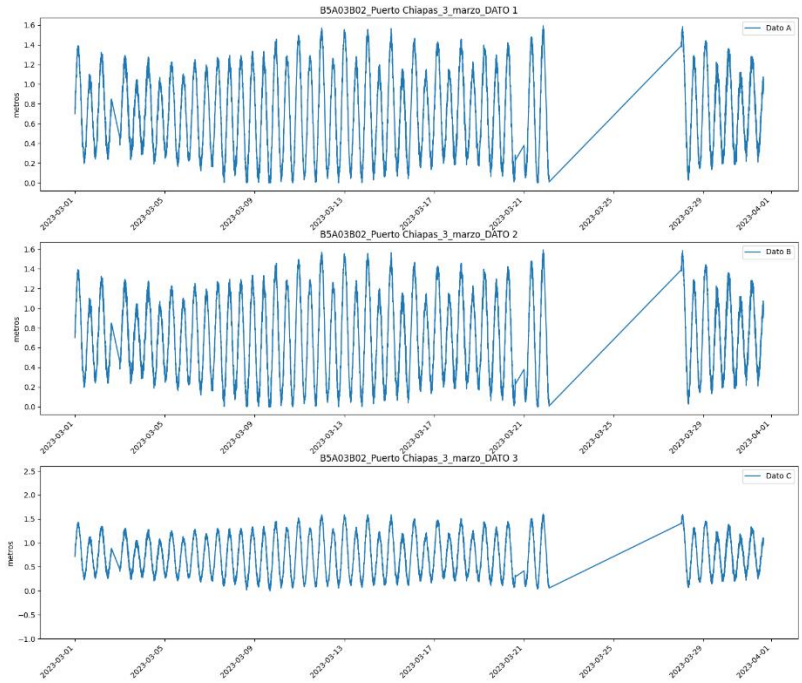

Figura 39. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de marzo registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

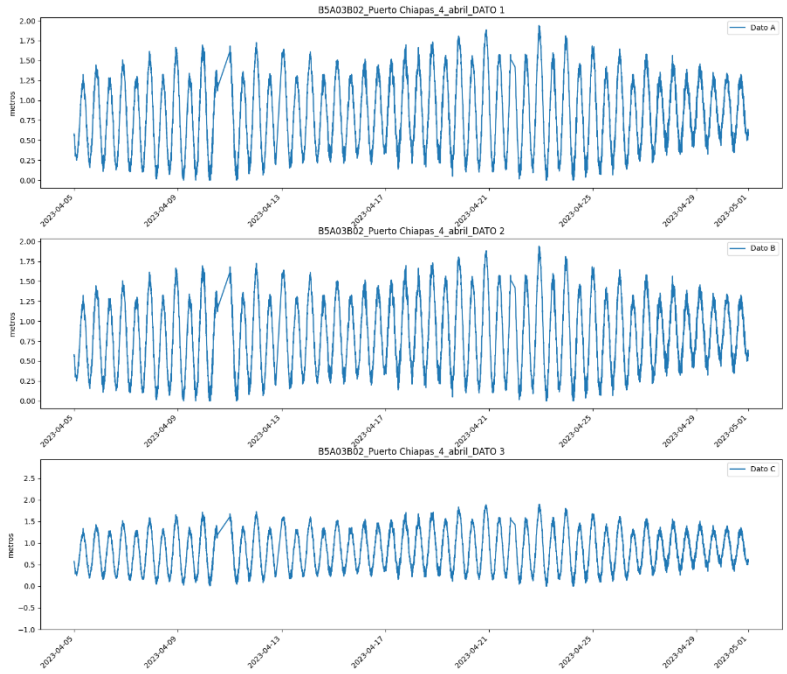

Figura 40. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de abril registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

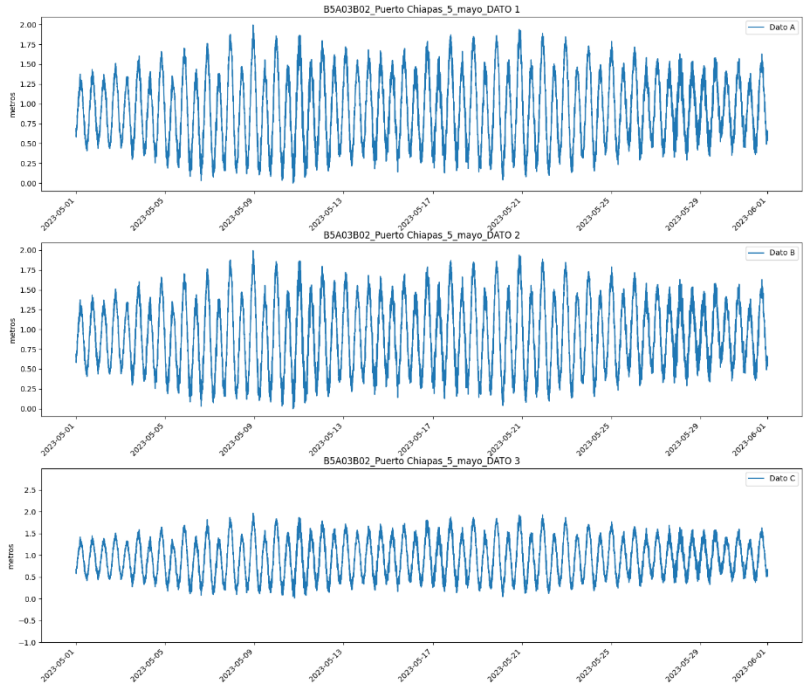

Figura 41. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de mayo registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

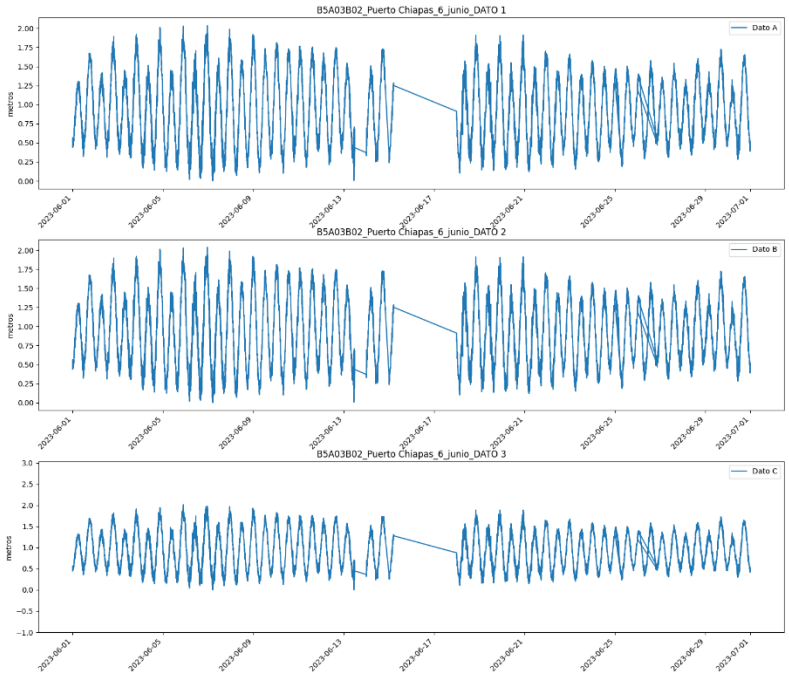

Figura 42. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de junio registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

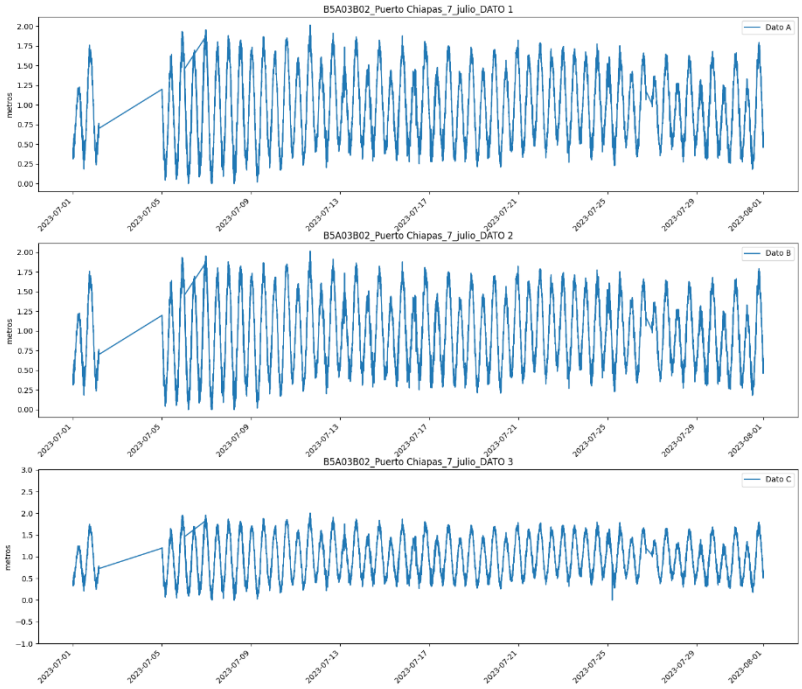

Figura 43. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de julio registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

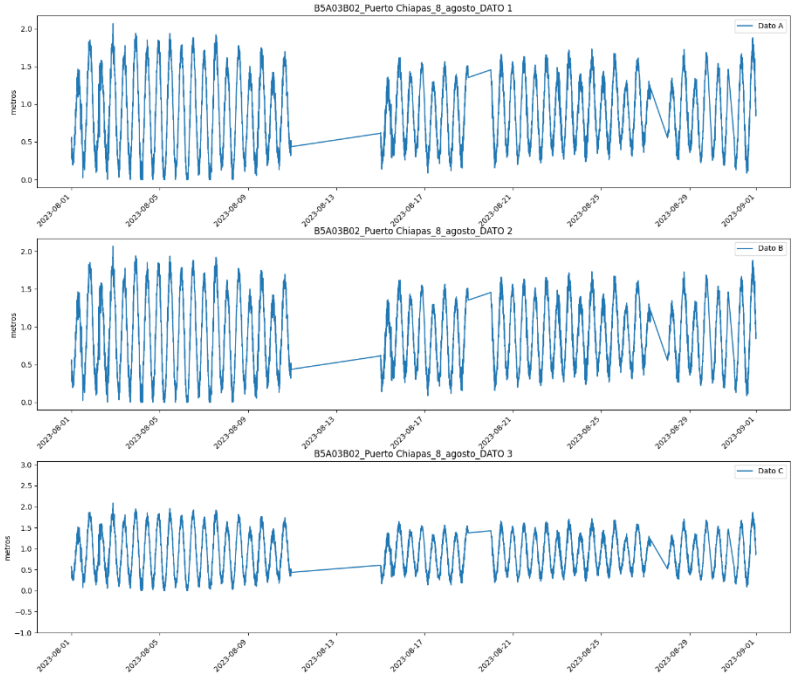

Figura 44. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de agosto registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

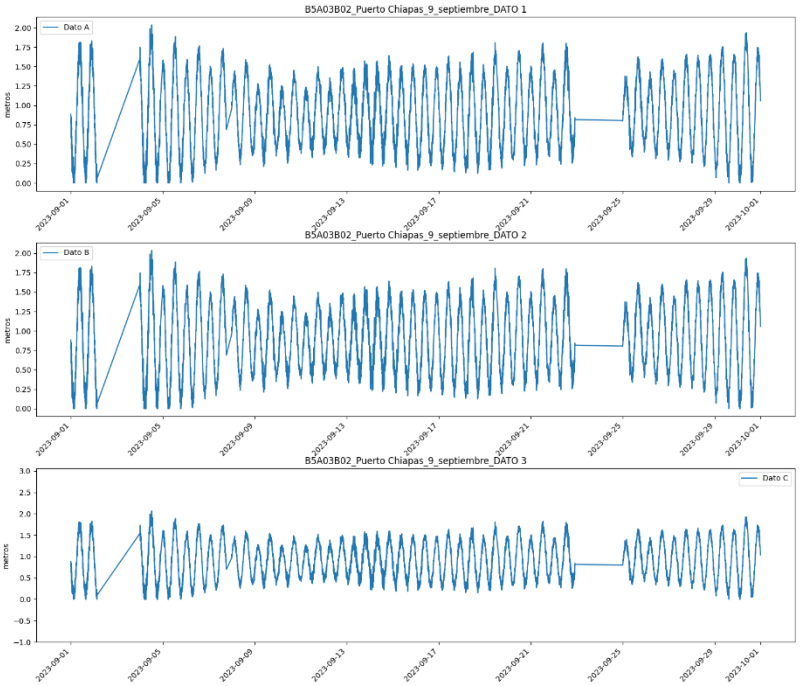

Figura 45. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de septiembre registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

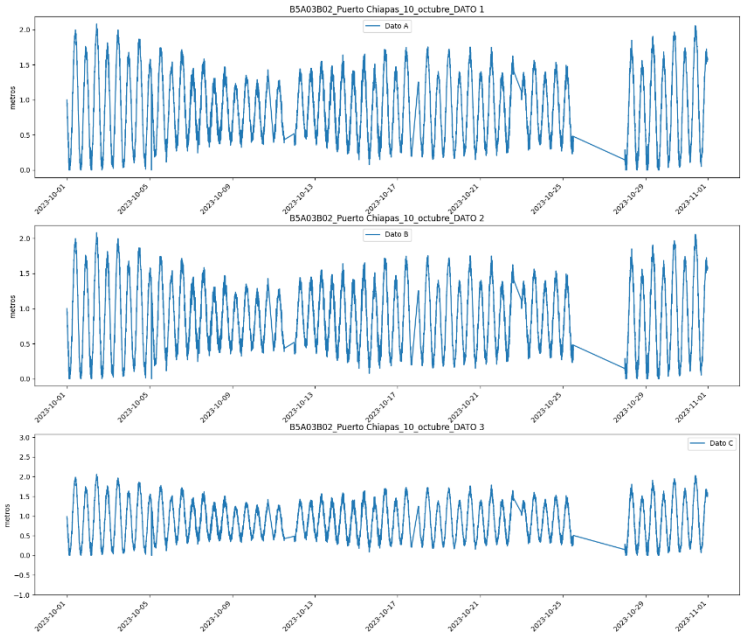

Figura 46. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de octubre registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

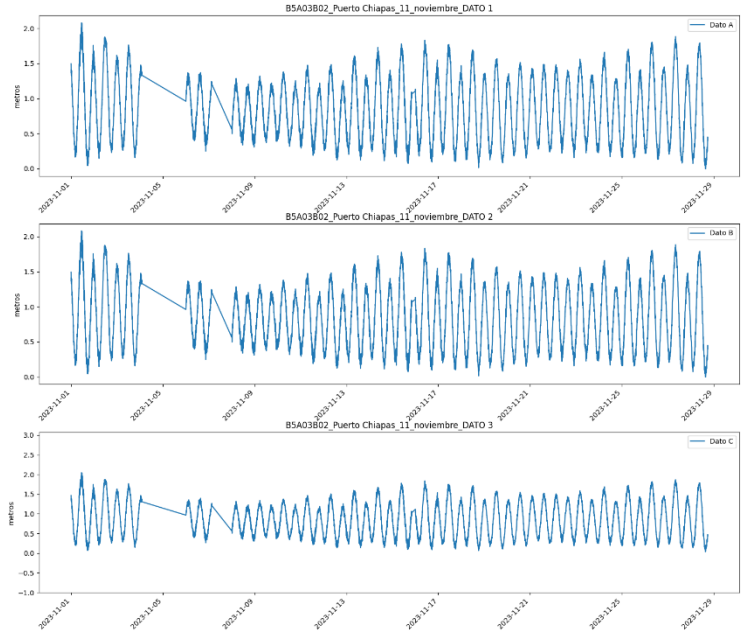

Figura 47. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de noviembre registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

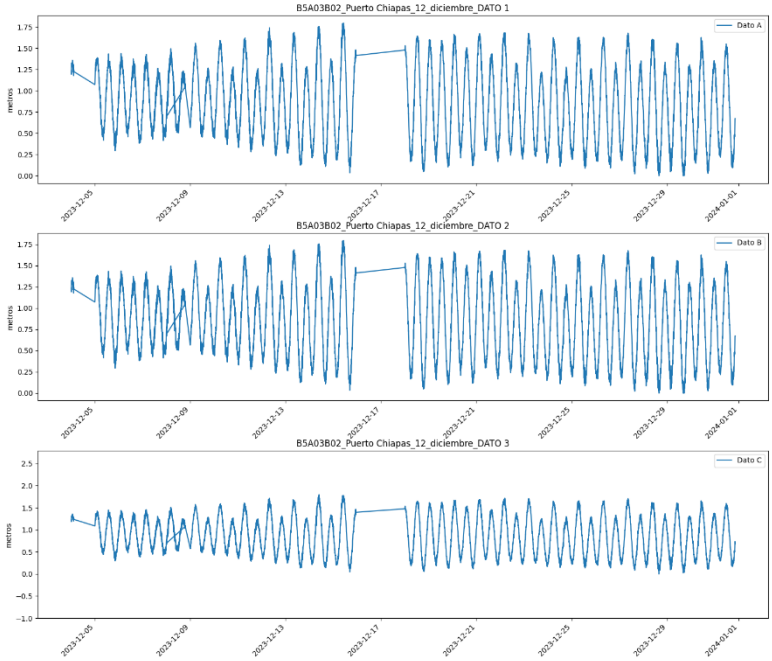

Figura 48. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de noviembre registrado por la estación mareográfica de Puerto Chipas.

i) Cuyutlán, Col.

La estación oceanografica de Cuyutlán, se encuentra en operación, y enviando informacion en tiempo real.

Figura 49. Estación mareográfica Cuyutlán.

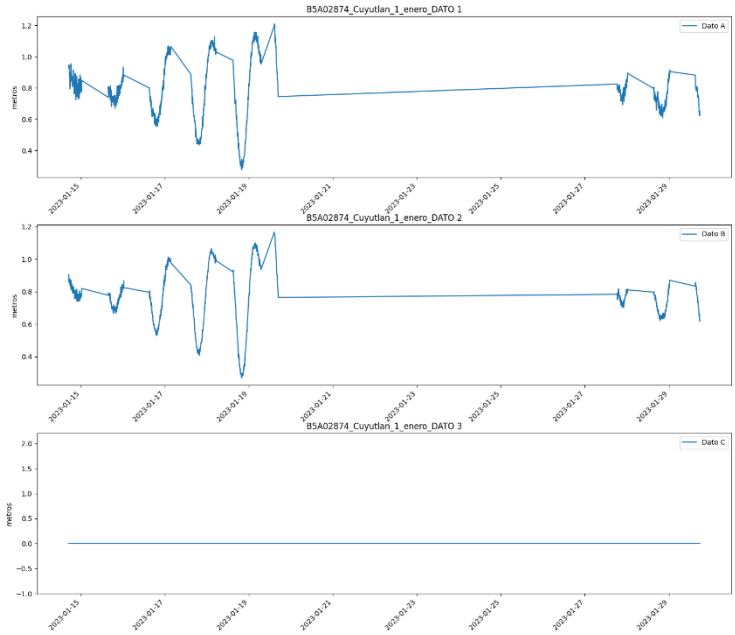

Figura 50. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de enero registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

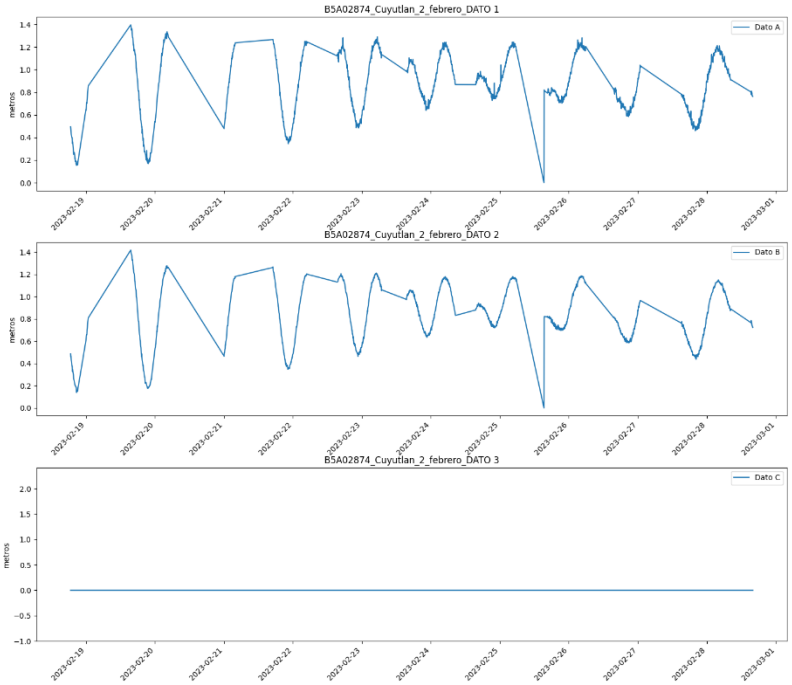

Figura 51. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de febrero registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

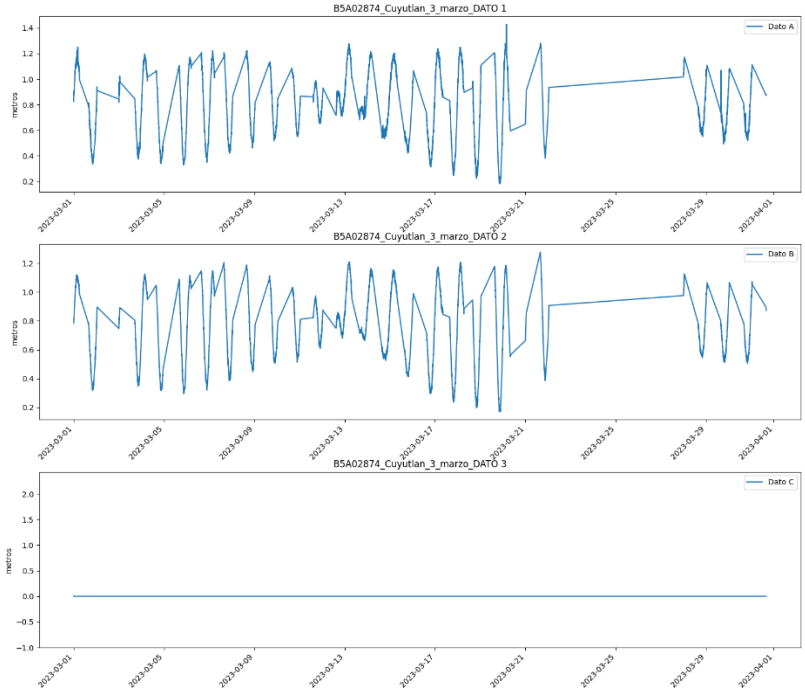

Figura 52. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de marzo registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

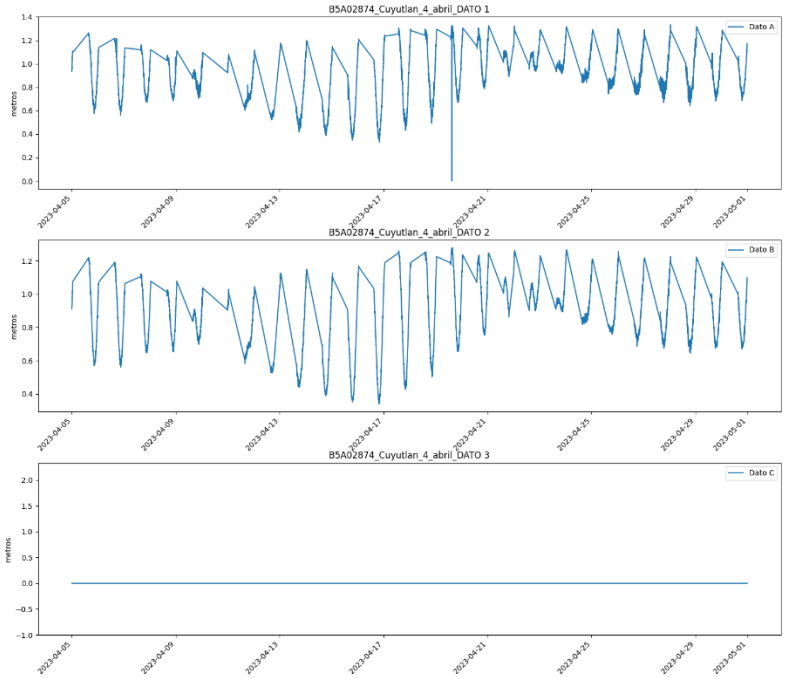

Figura 53. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de abril registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

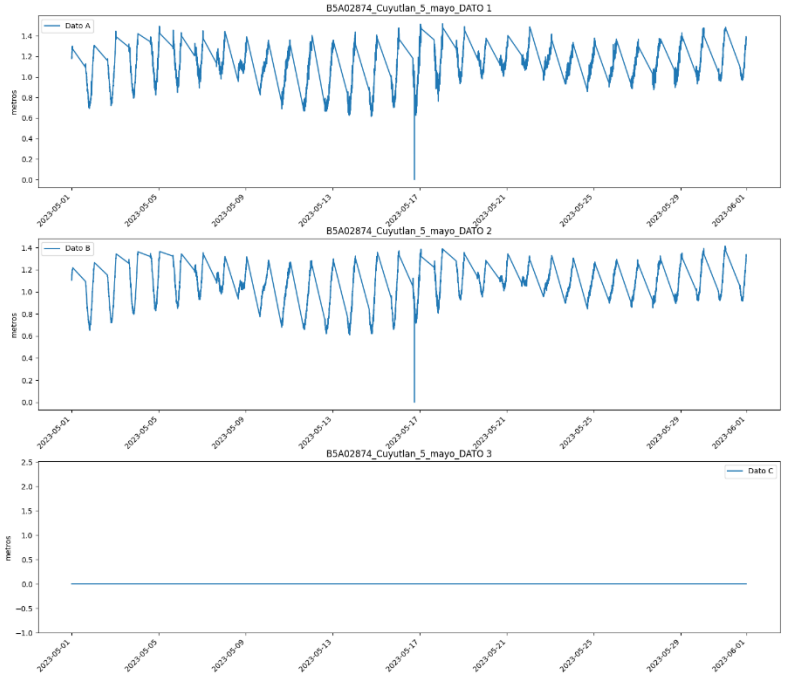

Figura 54. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de mayo registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

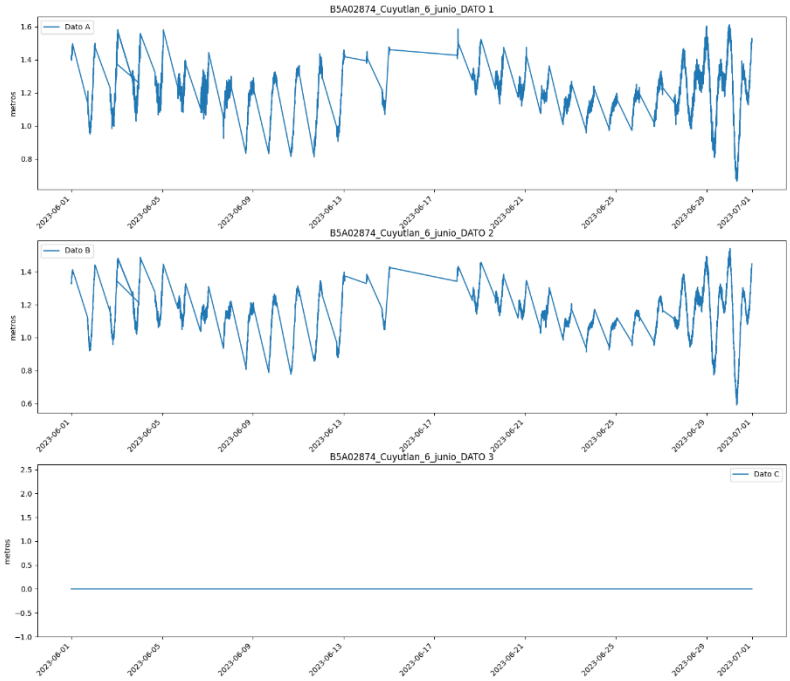

Figura 55. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de junio registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

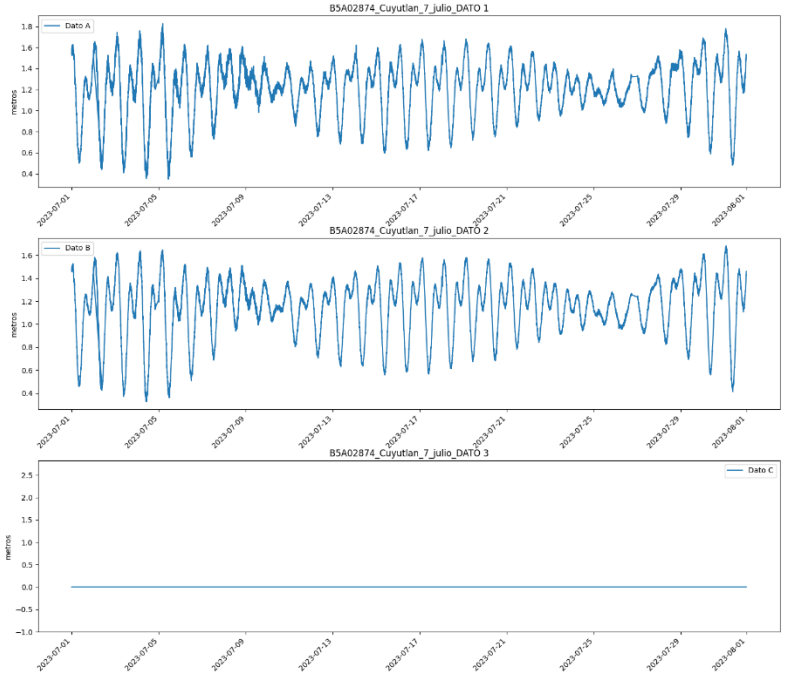

Figura 56. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de julio registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

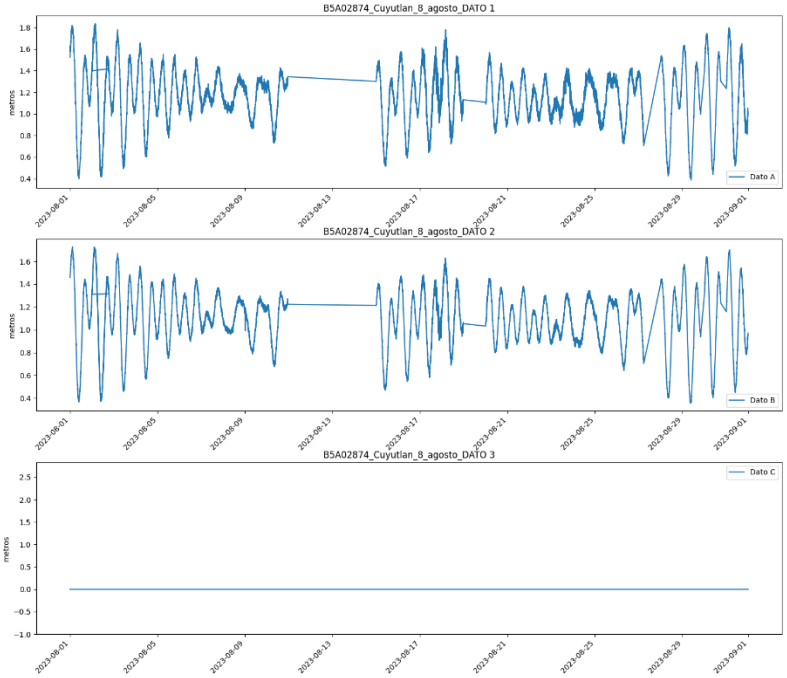

Figura 57. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de agosto registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

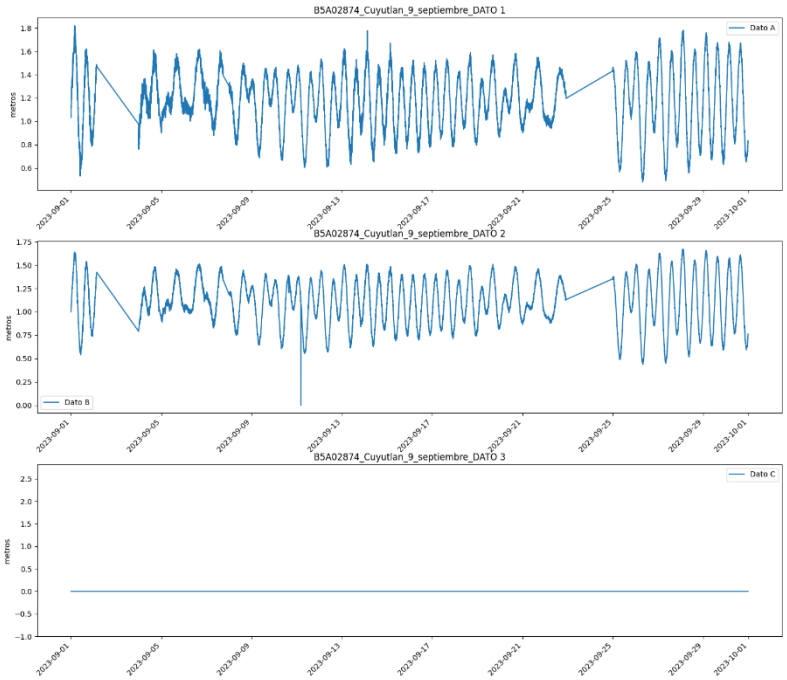

Figura 58. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de septiembre registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

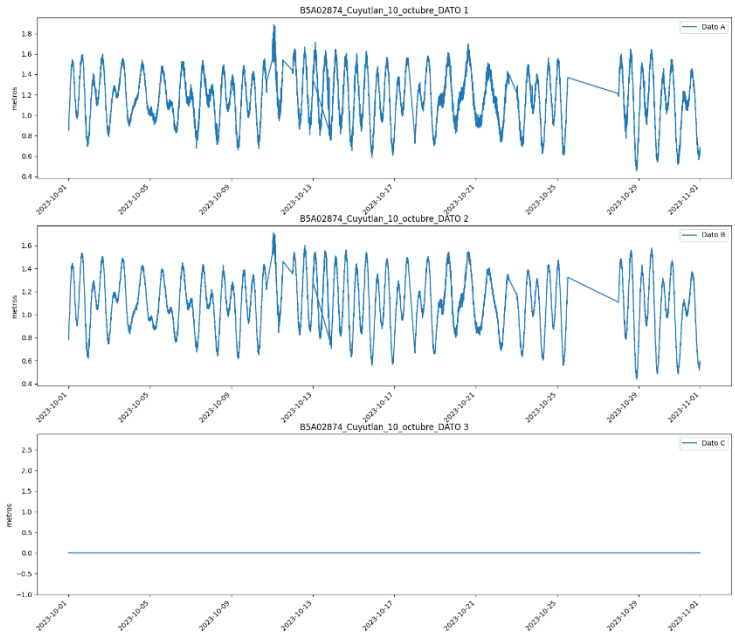

Figura 59. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de octubre registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

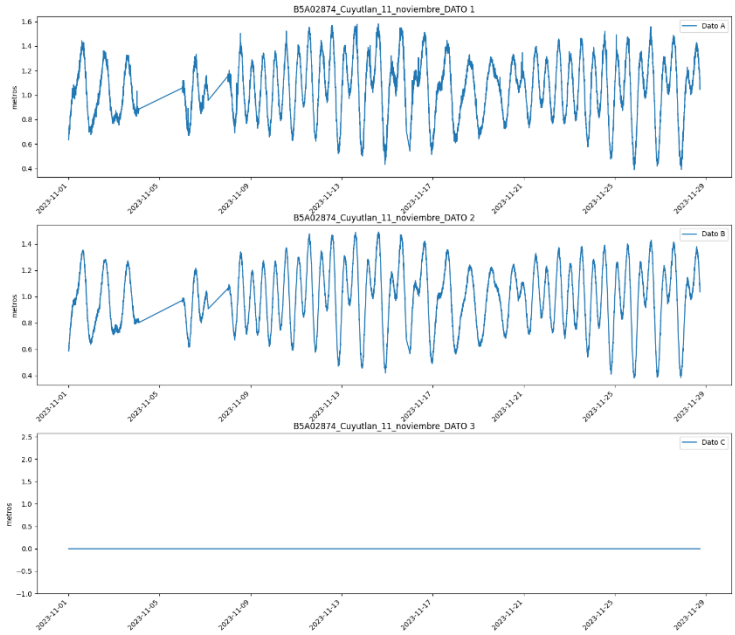

Figura 60. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de noviembre registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

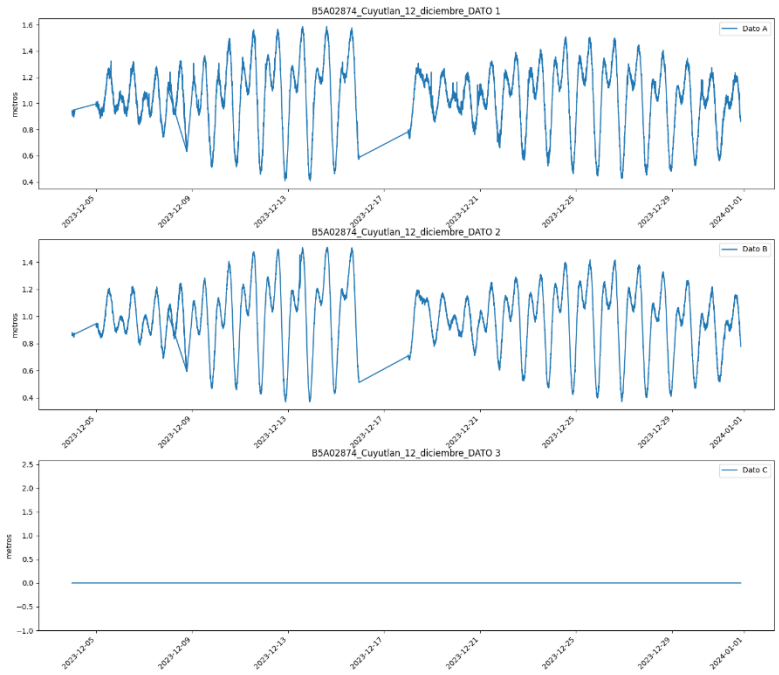

Figura 61. Gráficas de la elevación del nivel del mar en el mes de diciembre registrado por la estación mareográfica de Cuyutlán.

Conclusiones

El conocimiento de las condiciones oceanográficas y meteorológicas específicas del lugar en que va a construirse cada obra es fundamental en este sentido, pues en su defecto fácilmente pueden diseñarse, sin saberlo, estructuras sobredimensionadas que representan costos iniciales de construcción muy elevados, o bien estructuras subdimensionadas que acarrean gastos adicionales durante muchos años por concepto de reparaciones, y que ponen en peligro la integridad de las embarcaciones y las instalaciones portuarias, pero sobre todo la vida de las personas que realizan actividades en los puertos.

En este sentido, la Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas (RENEOM) ha permitido generar bases de datos que llenan un vacío crítico de información que se había tenido durante mucho tiempo en México, pues anteriormente era necesario recurrir a fuentes indirectas (de lugares más o menos lejanos del sitio real de interés) o incompletas (que no incluyen todas las variables importantes o abarcan periodos muy cortos) para dimensionar las distintas estructuras, con la consecuente incertidumbre y los riesgos y ya mencionados.

Las distintas estaciones que integran la RENEOM han sido diseñadas por sus respectivos fabricantes para operar en ambientes marinos y/o costeros. Sin embargo, por tratarse de áreas muy dinámicas en las que interactúan la tierra, el mar y la atmósfera, las zonas costeras imponen condiciones extremadamente rigurosas para la operación de estos equipos, por lo que, con relativa frecuencia resulta necesario sustituir algunos componentes de las misma aun cuando se haya cumplido con el programa de mantenimiento indicado por el fabricante.

De igual forma, la actividad humana que se desarrolla en los puertos y en las zonas costeras constituye un importante factor de riesgo para algunos equipos, algunas veces por descuido y otras, simplemente por vandalismo. Como consecuencia de todo lo anterior, aunado a las medidas de austeridad implementados por el Gobierno Federal, en la actualidad hay varias estaciones que se encuentran fuera de servicio y necesitan ser totalmente reemplazadas.

Por esta razón el presente proyecto está encaminado a reestablecer las estaciones de la RENEOM a fin de mantener los equipos en condiciones adecuadas de operación, y se pueda continuar registrando y aprovechando la información oceanográfica y meteorológica en todos los puertos, la cual representa importantes beneficios para la operación portuaria, así como para el desarrollo y modernización de la infraestructura del Sistema Portuario Nacional.

Referencias Bibliográficas

Dirección General de Programación Organización y Presupuesto. 2022: Catálogo de Tarifas Autorizado para el Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de hacienda y Crédito Público. México.

Ejecutivo Federal. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Gobierno de México. 2019.

Instituto Mexicano del Transporte. Red Nacional de Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas RENEOM. México.

Intergoverment Oceanographic Commission. 2006: Manual on Sea Level Mesurement and Interpretation. Unesco. Switzerland.

Sistema de Gestión de la Calidad del Instituto Mexicano del Transporte Procedimiento General, Gestión de Riesgos, No. RS-010.

Vaisala. 2007: Manual del usuario MAWS110. Finlandia.