

ISSN: 2306 - 9953

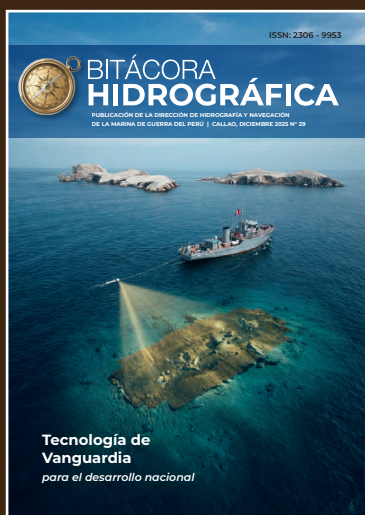


BITÁCORA HIDROGRÁFICA

PUBLICACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN
DE LA MARINA DE GUERRA DEL PERÚ | CALLAO, DICIEMBRE 2025 N° 29

**Tecnología de
Vanguardia**
para el desarrollo nacional

Directorio



BITÁCORA HIDROGRÁFICA

Publicación de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú
Calle Roca 118 Chucuito, Callao - Perú
Teléfono: (0511) 207 - 8160
www.dhn.mil.pe
email: dihidronav@dhn.mil.pe

Director:

Contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa

Sub-Director:

Capitán de Navío Carlos Oshiro Romero

Jefe Técnico:

Capitán de Fragata Carlos Oshiro Romero

Coordinador de Edición:

Capitán de Fragata Marco Bartens Olórtegui

Producción:

Técnico Segundo Luis Valencia Cerna

Comité Editorial:

Capitán de Corbeta (r) Jaime Valdez Huamán
Teresa Campos Vásquez
Myrian Tamayo Infantes

Diseño y Diagramación:

Maritza Rojas Quispe

Colaboración:

Milagros Aguilar Rojas
Técnico Primero Henry Muñoz Valqui
Técnico Primero Jaime Velarde Puma

Agradecimiento:

Archivo Fotográfico DIRCOMINMAR

Impresión:

Talleres Gráficos de la Dirección de Hidrografía y Navegación

Las ideas y opiniones publicadas en los artículos de la revista son de exclusiva responsabilidad de los autores. La Marina de Guerra del Perú y el Comité Editorial de la Bitácora Hidrográfica no se identifican necesariamente con ellas.



4 Trazando el Rumbo de la seguridad y el desarrollo para el progreso nacional

8 El rol de la hidrografía en la búsqueda y localización de objetos hundidos

12 De la incertidumbre al hallazgo
"Crónica de las operaciones durante la búsqueda submarina de la aeronave KT-1"

23 Campaña Antártica ANTAR XXXII: Presencia del Perú en el Antártida, Ciencia y Cooperación Internacional

27 Importancia de la presencia de la Marina de Guerra del Perú en el continente antártico

31 Escuela de Hidrografía:
Obtención del Certificado de Reconocimiento Categoría "A" en hidrografía al Programa de Oficiales Navales

36 Hidromorfología fluvial y gestión del riesgo en el meandro de Parahuashá

40 Estudio del Seiche en el Lago Titicaca en julio del 2019

45 Análisis estadístico de los Avisos de Oleaje Anómalo en el litoral peruano

50 Software de código libre de post proceso de datos multihaz para cartas náuticas

Contenido

55 Empleo de Energía Undimotriz para la alimentación de boyas en el Perú

59 Implementación del vuelo en tiempo real con aeronaves remotamente pilotadas en la playa Los Delfines, Ventanilla

62 Miguel Grau Seminario y la hidrografía del Puerto de Salaverry "Ciencia, rigor y vocación de servicio"

66 En Puerto Salaverry:
Evaluación de Superficie para la reducción de sondajes

70 Rutas de evacuación y zonas de refugio
Importancia en las cartas de inundación por tsunami
Caso: Playas de Tacna

75 Impacto de la norma ISO 9001 en el
Proceso de producción de la Carta Náutica Electrónica

78 Criterios de relevancia náutica para la actualización segura y eficiente de las cartas náuticas

84 Actualidad Hidrográfica

98 Hidroconocimientos

Trazando el Rumbo

de la seguridad y el desarrollo para el progreso nacional

La hidrografía es, por naturaleza, una disciplina silenciosa pero decisiva. Sus resultados no siempre son visibles a simple vista, pero constituyen la base sobre la cual se sostiene la seguridad de la navegación, la gestión responsable del litoral y de los ríos navegables, la prevención de desastres y la proyección marítima y fluvial del Estado. Cada carta náutica, cada aviso a los navegantes, cada modelo numérico o sistema de monitoreo es el resultado de un trabajo técnico riguroso, meticuloso y sostenido en el tiempo, guiado por una clara vocación de servicio al país. Esta nueva edición de la *Bitácora Hidrográfica* busca precisamente poner en valor ese esfuerzo, mostrando cómo la ciencia, la tecnología y la experiencia operativa convergen para cumplir nuestra misión institucional.

Los artículos que conforman este número reflejan una hidrografía moderna, dinámica y en permanente evolución. Se presentan metodologías innovadoras para el procesamiento de datos multihaz mediante el empleo de software de código

libre, así como enfoques orientados a optimizar los levantamientos hidrográficos, reduciendo el número de sondeos sin comprometer la calidad, la seguridad ni la confiabilidad de la información. Estos trabajos evidencian un objetivo común: hacer más eficientes nuestros procesos, fortalecer la soberanía tecnológica y garantizar productos cartográficos oportunos, precisos y alineados con los estándares internacionales.

En esa misma línea, se incluyen contribuciones vinculadas a la actualización segura y eficiente de las cartas náuticas, al impacto de la certificación ISO 9001 en la elaboración de la Carta Náutica Electrónica y al uso de imágenes satelitales y aeronaves remotamente pilotadas como herramientas complementarias para la generación de modelos digitales del terreno. Estos artículos demuestran que la hidrografía contemporánea ya no se limita al levantamiento tradicional, sino que integra sensores, plataformas y sistemas de gestión que permiten responder con mayor rapidez y precisión a un entorno marítimo y fluvial cada vez más exigente y cambiante.

Esta edición dedica un espacio especial a la hidrografía aplicada a la seguridad y a la protección de la vida humana. El artículo “De la incertidumbre al hallazgo” describe el complejo y exigente proceso de búsqueda submarina desarrollado para ubicar la aeronave KT-1 de la Fuerza Aérea del Perú. A través de este trabajo se pone en evidencia cómo la planificación rigurosa, el empleo de sensores especializados, el análisis detallado de la información y la coordinación interinstitucional permiten transformar escenarios de alta incertidumbre en decisiones técnicas sólidas y resultados concretos. Se complementa con un análisis estadístico sobre la emisión de avisos de oleaje anómalo en el litoral peruano, que resalta la importancia de contar con información confiable y capacidades técnicas que respalden la toma de decisiones oportunas en situaciones de riesgo.

Desde la perspectiva de la hidrografía fluvial aplicada al desarrollo y a la protección de la infraestructura portuaria, se presenta el artículo referido a los estudios hidrográficos desarrollados en la ciudad de Pucallpa, orienta-

Calm. Jorge Vizcarra Figueroa
jvizcarra@dhn.mil.pe



dos a evaluar la dinámica del meandro de Parahuashá, cuya evolución pone en riesgo el acceso directo del puerto de dicha ciudad al río Ucayali. Este trabajo integra levantamientos hidrográficos, análisis geomorfológico y evaluación hidrodinámica, y constituye una herramienta técnica fundamental para sustentar la toma de decisiones sobre las mejores acciones a seguir. Más allá del caso específico, el artículo evidencia el rol estratégico de la hidrografía en la Amazonía, donde la navegabilidad fluvial es un factor clave para la conectividad, el desarrollo económico y la presencia efectiva del Estado.

Desde la perspectiva de la formación y el fortalecimiento institucional, se incluye el artículo que aborda el proceso que permitió a la Escuela de Hidrografía alcanzar la Categoría "A", un hito que refleja años de trabajo sostenido, adecuación progresiva a estándares internacionales y un compromiso permanente con la excelencia académica y profesional. Este logro no solo fortalece las capacidades técnicas del personal especializado, sino que consolida a la hidrografía nacional

como un referente regional en la formación de hidrógrafos y especialistas afines.

La revista incorpora también una valiosa mirada histórica con el artículo dedicado a los trabajos realizados por Miguel Grau en el puerto de Salaverry, recordándonos que la hidrografía peruana tiene raíces profundas y que la vocación científica y de servicio ha estado presente desde los orígenes de nuestra tradición naval. Esta contribución enlaza pasado y presente, destacando cómo el conocimiento del mar, del litoral y de los puertos ha sido, y continúa siendo, una herramienta estratégica para el desarrollo del país.

Desde la oceanografía física y costera, los estudios sobre transporte de sedimentos, profundidad de cierre, seiches y dinámica litoral aportan conocimiento fundamental para la gestión portuaria, el ordenamiento costero y la evaluación de impactos en zonas estratégicas. A ello se suma el tratamiento integral de la amenaza de los tsunamis, destacando la importancia de las cartas de inundación, las rutas de evacuación, las zonas de refu-

gio y el estudio de depósitos históricos como insumos clave para la reducción del riesgo de desastres y la protección de la población.

Finalmente, la *Bitácora Hidrográfica* proyecta una mirada hacia el futuro, explorando el empleo de energías marinas para la alimentación de boyas oceanográficas y reafirmando la importancia de la presencia del Perú, a través de su Marina de Guerra, en el continente antártico. Ciencia, sostenibilidad y visión estratégica se integran en estos artículos como parte de una misma narrativa: la de un país marítimo y fluvial que entiende al agua como espacio de desarrollo, investigación y responsabilidad.

Invito al lector a recorrer estas páginas con espíritu crítico y curioso. Cada artículo es testimonio del compromiso profesional de nuestro personal y de la convicción de que la hidrografía no solo traza rutas sobre el mar y los ríos, sino que también marca el rumbo del conocimiento, de la seguridad y del desarrollo nacional.

El Director

Charting the Course

of safety and development for national progress

Hydrography is, by its very nature, a silent yet decisive discipline. Its results are not always visible at first glance, but they form the foundation upon which navigational safety, the responsible management of the coastline and navigable rivers, disaster prevention, and the maritime and fluvial projection of the State are built. Every nautical chart, every notice to mariners, every numerical model or monitoring system is the result of rigorous, meticulous, and sustained technical work over time, guided by a clear vocation of service to the country. This new edition of *Bitácora Hidrográfica* seeks precisely to highlight that effort, showing how science, technology, and operational experience converge to fulfill our institutional mission.

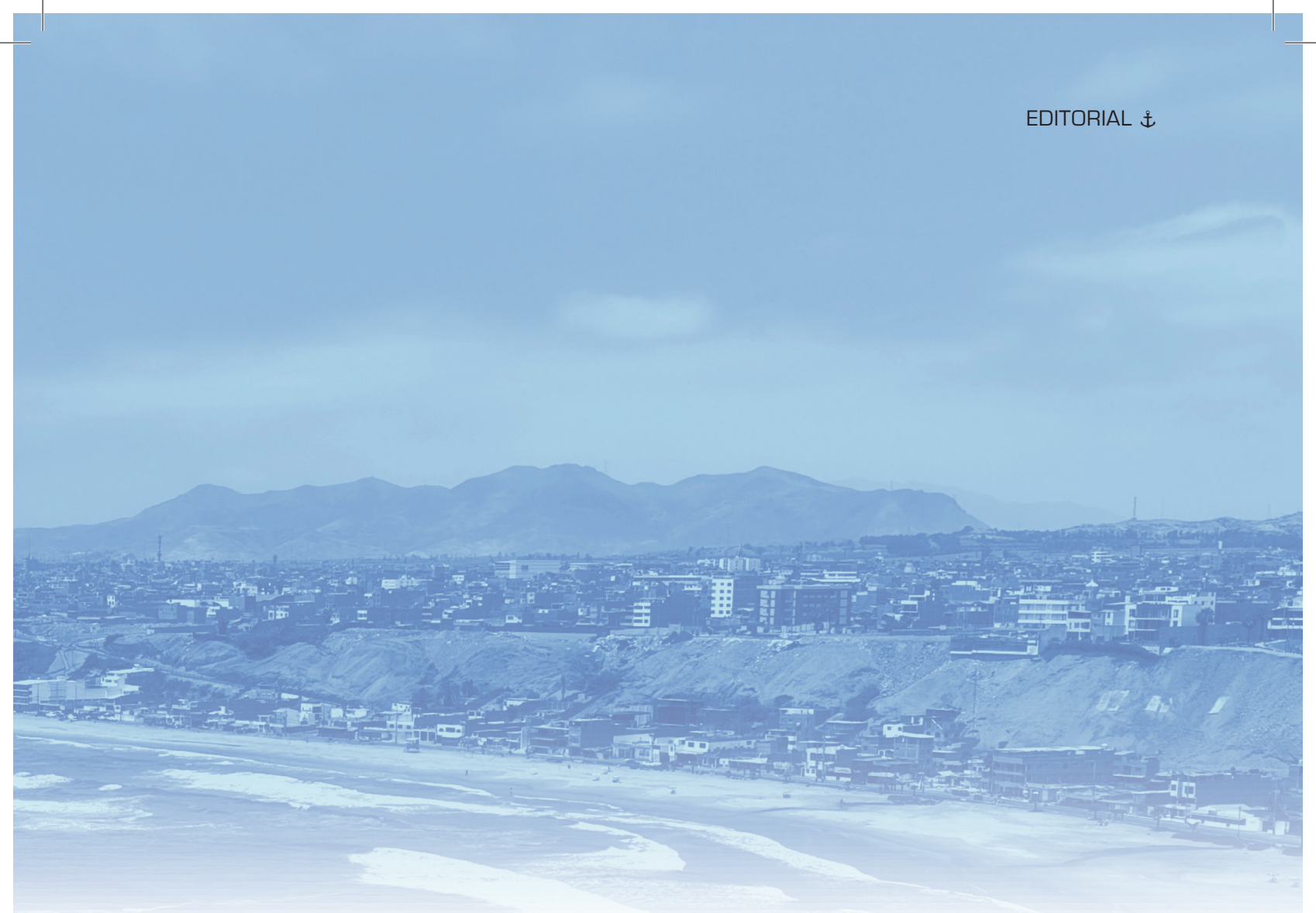
The articles that make up this issue reflect a modern, dynamic, and constantly evolving hydrography. Innovative methodologies are presented for the processing of multibeam data through the use of open-source software, as well as approaches aimed at optimi-

zing hydrographic surveys by reducing the number of soundings without compromising the quality, safety, or reliability of the information. These works share a common objective: to make our processes more efficient, strengthen technological sovereignty, and ensure timely, accurate cartographic products aligned with international standards.

Along these same lines, the issue includes contributions related to the safe and efficient updating of nautical charts, the impact of ISO 9001 certification on the production of the Electronic Navigational Chart, and the use of satellite imagery and remotely piloted aircraft as complementary tools for generating digital terrain models. These articles demonstrate that contemporary hydrography is no longer limited to traditional surveying, but rather integrates sensors, platforms, and management systems that allow for faster and more precise responses to an increasingly demanding and changing maritime and fluvial environment.

This edition devotes special attention to hydrography applied to safety and the protection of human life. The article “From Uncertainty to Discovery” describes the complex and demanding underwater search process carried out to locate the KT-1 aircraft of the Peruvian Air Force. This work highlights how rigorous planning, the use of specialized sensors, detailed data analysis, and inter-institutional coordination can transform scenarios of high uncertainty into sound technical decisions and concrete results. It is complemented by a statistical analysis of the issuance of anomalous swell advisories along the Peruvian coast, underscoring the importance of reliable information and technical capabilities to support timely decision-making in risk situations.

From the perspective of fluvial hydrography applied to development and the protection of port infrastructure, the issue presents an article on the hydrographic studies conducted in the city of Pucallpa, aimed at evaluating the dynamics of the Parahuashá



meander, whose evolution threatens the city's port access to the Ucayali River. This work integrates hydrographic surveys, geomorphological analysis, and hydrodynamic assessment, and constitutes a fundamental technical tool to support decision-making on the most appropriate actions to be taken. Beyond the specific case, the article highlights the strategic role of hydrography in the Amazon region, where river navigability is a key factor for connectivity, economic development, and the effective presence of the State.

From the standpoint of education and institutional strengthening, the issue includes an article addressing the process that enabled the School of Hydrography to attain "Category A" status—a milestone reflecting years of sustained effort, progressive alignment with international standards, and a commitment to academic and professional excellence. This achievement not only strengthens the technical capabilities of specialized personnel, but also consolidates national

hydrography as a regional benchmark in the training of hydrographers and related specialists.

The journal also incorporates a valuable historical perspective with an article dedicated to the work carried out by Miguel Grau at the port of Salaverry, reminding us that Peruvian hydrography has deep roots and that a scientific and service-oriented vocation has been present since the origins of our naval tradition. This contribution links past and present, highlighting how knowledge of the sea, the coastline, and ports has been—and continues to be—a strategic tool for the country's development.

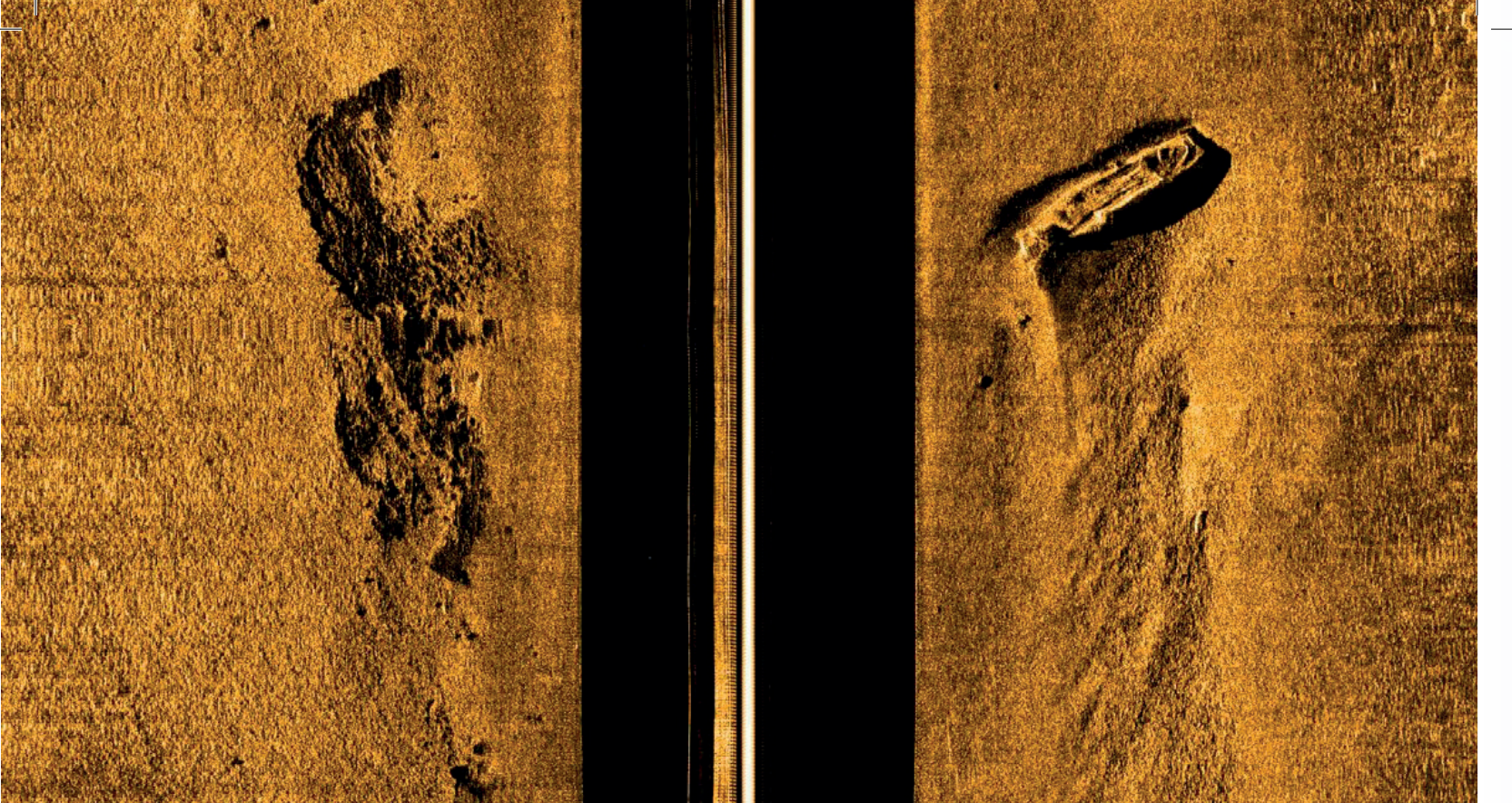
From the field of physical and coastal oceanography, studies on sediment transport, depth of closure, seiches, and littoral dynamics provide fundamental knowledge for port management, coastal planning, and impact assessment in strategic areas. Added to this is a comprehensive treatment of the tsunami hazard, emphasizing the importance of inundation maps,

evacuation routes, refuge areas, and the study of historical deposits as key inputs for disaster risk reduction and the protection of the population.

Finally, *Bitácora Hidrográfica* looks toward the future, exploring the use of marine energies to power oceanographic buoys and reaffirming the importance of Peru's presence, through its Navy, on the Antarctic continent. Science, sustainability, and strategic vision come together in these articles as part of a single narrative: that of a maritime and fluvial nation that understands water as a space for development, research, and responsibility.

I invite the reader to explore these pages with a critical and curious spirit. Each article bears witness to the professional commitment of our personnel and to the conviction that hydrography not only charts routes across seas and rivers, but also sets the course for knowledge, safety, and national development.

The Director



El rol de la hidrografía en la búsqueda y localización de objetos hundidos

A. de F. Leonardo Ponce de León Zamora
leonardo.poncedeleon@dhn.mil.pe



La hidrografía moderna constituye una herramienta estratégica para la seguridad marítima, la investigación científica y la preservación ambiental. En el contexto de la búsqueda, detección y localización de objetos hundidos, su aplicación resulta esencial para garantizar precisión, eficiencia y sostenibilidad en las operaciones subacuáticas. En el presente artículo, se analiza, desde una perspectiva técnico-académica, el papel de la hidrografía en la detección, localización e identificación de objetos sumergidos en mares, ríos y lagos. Se abordan los fundamentos teóricos, los procedimientos metodológicos empleados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DIHIDRONAV) y las normas internacionales de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), así como las tecnologías emergentes que están transformando el campo, como los sistemas autónomos AUV y vehículos operados remotamente ROV, además de la inteligencia artificial aplicada al procesamiento de datos acústicos.

Modern hydrography serves as a strategic tool for maritime safety, scientific research, and environmental preservation. In the context of searching for and locating sunken objects, its application is essential to ensure precision, efficiency, and sustainability in underwater operations. This article analyzes, from a technical-academic perspective, the role of hydrography in the detection, localization, and identification of submerged objects in seas, rivers, and lakes. It addresses the theoretical foundations and methodological procedures employed by the Hydrography and Navigation Directorate of Peru (DIHIDRONAV), as well as the international standards established by the International Hydrographic Organization (IHO), as well as emerging technologies that are transforming the field, such as autonomous AUV systems and remotely operated vehicles (ROVs), in addition to artificial intelligence applied to acoustic data processing.

Los océanos y ríos, además de ser ejes de la actividad económica y científica, constituyen escenarios de innumerables eventos históricos, accidentes marítimos y operaciones de rescate, que dejan restos sumergidos en el fondo. La identificación y recuperación de objetos hundidos es un desafío técnico complejo, en el que la hidrografía juega un papel crucial. Según la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), en su publicación del año 2022, sostiene que, la hidrografía es la ciencia que mide y describe las características físicas de los océanos, mares, áreas costeras, lagos y ríos, así como del fondo marino. Su campo de acción no se limita a la elaboración de cartas náuticas, sino que incluye el uso de sensores acústicos, sistemas de posicionamiento, magnetometría y análisis geoespacial para comprender y representar con precisión el entorno subacuático.

En el Perú, la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV) es la dependencia responsable de aplicar los estándares internacionales de levantamientos hidrográficos, garantizando la seguridad de la navegación y la calidad de los datos recolectados. Su “Norma Técnica Hidrográfica N° 27” establece los lineamientos técnicos y operativos para planificar, ejecutar y documentar misiones destinadas a la localización de pecios, aeronaves, contenedores y otros elementos antropogénicos o naturales, que pueden afectar la seguridad en la navegación.

De esta manera, la hidrografía se consolida como una disciplina científica y tecnológica capaz de integrar conocimientos de geofísica, oceanografía y cartografía digital para apoyar las operaciones de búsqueda, rescate y conservación marina.

Fundamentos teóricos

El principio de la búsqueda hidrográfica se basa en la detección acústica de anomalías en el fondo marino. Los ecos emitidos por sistemas como el side scan Sonar (SSS) o la ecosonda multihaz (MBES) permiten identificar estructuras o ele-

mentos distintos al relieve natural. La búsqueda submarina utiliza datos acústicos y geoespacialmente precisos obtenidos con sistemas GNSS, que garantizan una correcta georreferenciación de los objetos detectados. Asimismo, en la Norma S-44 de la OHI (Ed. 6.1.0) se definen los requisitos mínimos de precisión posicional, vertical y horizontal que deben cumplirse en los levantamientos hidrográficos dedicados a la detección de objetos sumergidos.

Por su parte, la NOAA (2022) establece en sus “Hydrographic Survey Specifications” que la planificación y ejecución de estas operaciones deben incluir controles de calidad basados en el “Total Propagated Uncertainty” (TPU), un parámetro que cuantifica la incertidumbre total de la medición. Estas normas garantizan que los productos hidrográficos no solo cumplan fines científicos, sino también operacionales y de seguridad marítima.

En el campo operativo, la búsqueda hidrográfica se integra con la meteorología y la oceanografía operacional (METOC), disciplina que estudia las condiciones oceánicas y atmosféricas para asegurar que los levantamientos se realicen dentro de los márgenes de seguridad. Factores como las corrientes, las mareas, la temperatura del agua y las turbulencias influyen directamente en la propagación del sonido bajo el agua y, por ende, en la calidad de los datos acústicos obtenidos.

Metodología hidrográfica en las operaciones de búsqueda

El proceso de búsqueda de objetos hundidos consta de tres etapas principales: planificación, ejecución y análisis de resultados.

Planificación

En esta fase se recopila toda la información disponible: última posición conocida (Last Known Position – LKP), reportes de radar o AIS, condiciones meteorológicas y batimetría previa. La delimitación del área de interés se realiza considerando modelos numéricos de corrientes y predicción de

mareas, que permiten estimar el desplazamiento probable del objeto.

Ejecución

Durante la operación, se despliegan los sensores seleccionados en función de la profundidad, la extensión del área y el tipo de fondo.

- En aguas someras (<100 m), se utiliza preferentemente el sonar de barrido lateral (SSS), que ofrece imágenes acústicas bidimensionales de alta resolución.
- En aguas profundas, se emplean vehículos autónomos submarinos (AUV) con sensores multihaz y ROV para la verificación visual.
- En aguas intermedias y profundas, se emplean ecosondas multihaz de baja frecuencia, así como vehículos autónomos submarinos (AUV) también con sensores multihaz y ROV para la verificación visual.
- Los magnetómetros marinos complementan la detección de objetos metálicos no visibles en el sonar.

Los hidrógrafos mantienen la altura del sonar entre el 10 % y 20 % del rango lateral, asegurando imágenes acústicas claras y nítidas. El espaciamiento entre líneas de barrido se define de acuerdo con el rango del sonar, procurando un solapamiento lateral del 70 %, mientras que para ecosondas multihaz se busca una cobertura del 200 % en áreas críticas.

Análisis e interpretación

La información recolectada es procesada con software especializado, como Caris Hips & Sips, Hypack, QPS Qimera o SonarWiz, que generan mosaicos acústicos y modelos digitales del terreno (DTM). La comparación entre mosaicos SSS y batimetría multihaz permite validar la posición de los objetos detectados y eliminar errores producidos por el layback; es decir, la distancia entre el sensor remolcado y el punto georreferenciado en superficie.

Finalmente, las anomalías confirmadas son verificadas mediante ROV, que registra imágenes y vídeos de alta definición para su documentación.

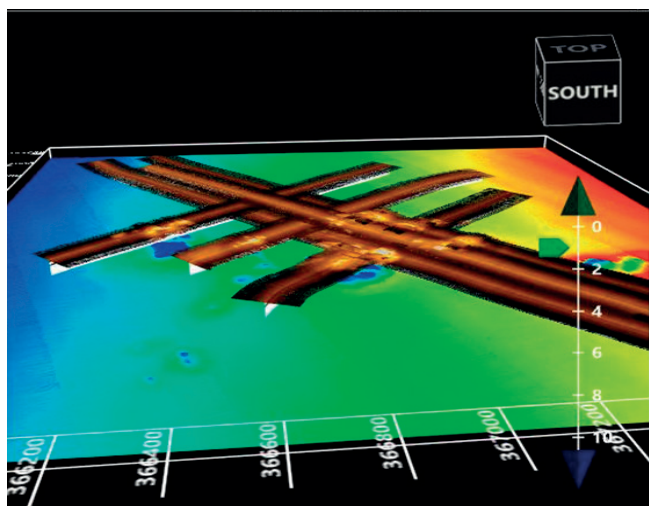


Figura 1. Visualización en 3D de capas de data batimétrica multihaz y de Side Scan Sonar creado en el software SonarWiz.

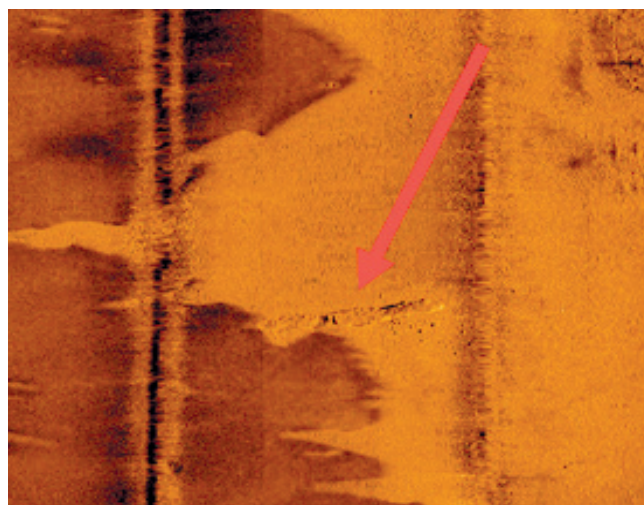


Figura 2. Visualización de un objeto hundido en un mosaico creado, con la data generada por un SSS, creado en el software SonarWiz.

Tecnologías hidrográficas aplicadas

Sonar de barrido lateral (SSS)

El SSS es una herramienta esencial para la detección inicial de objetos hundidos. Opera emitiendo pulsos acústicos laterales que, al reflejarse en el fondo, generan imágenes detalladas. Según la OHI (2020), este tipo de sonar es ideal para distinguir entre objetos naturales y artificiales, incluso en fondos con baja reflectividad.

Ecosonda multihaz (MBES)

Este equipo emite múltiples haces acústicos, que permiten generar modelos tridimensionales del lecho marino. De acuerdo con la NOAA (2022), las ecosondas multihaz son indispensables para construir modelos digitales de terreno (DTM), en los que cualquier elevación o depresión anómala puede indicar la presencia de un objeto hundido.

Magnetometría marina

Los magnetómetros miden las variaciones del campo magnético terrestre causadas por objetos ferrosos. Son especialmente útiles en zonas donde los objetos están cubiertos por sedimentos. En combinación con los mosaicos acústicos, permiten discriminar estructuras metálicas de formaciones geológicas naturales.

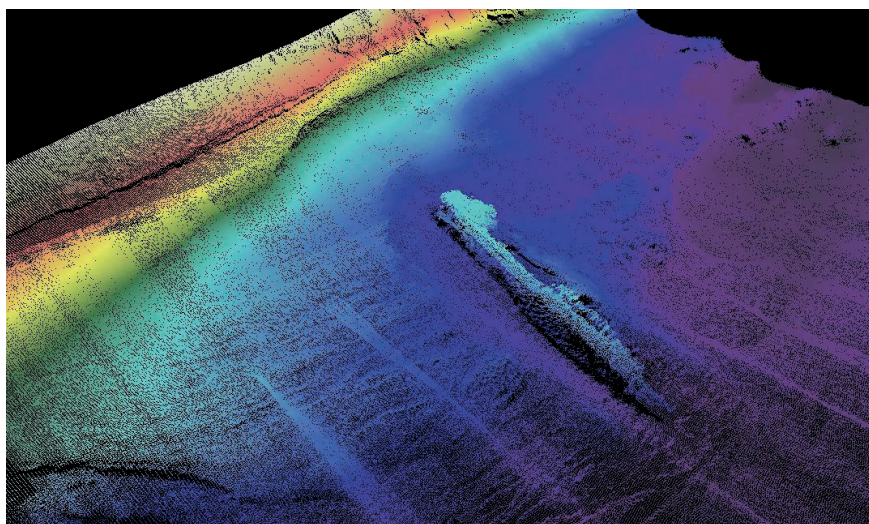


Figura 3. Recreación con nube de puntos del lecho fluvial para la representación de la posición actual en el río de la embarcación "Deo Rego" empleando el software Caris Hips & Sips.

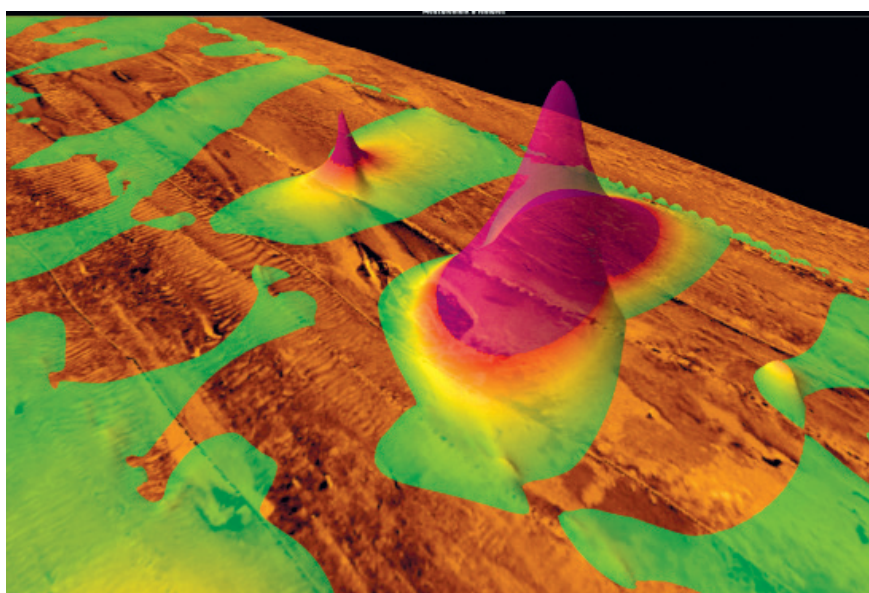


Figura 4. Visualización en 3D de la data obtenida por un magnetómetro en el Software SonarWiz.

Vehículos submarinos autónomos (AUV) y remotamente operados (ROV)

Los AUV realizan misiones de reconocimiento de grandes áreas sin intervención directa, mientras que los ROV ejecutan inspecciones visuales y manipulaciones a profundidad. Ambos sistemas son hoy parte fundamental de la hidrografía moderna, que permite reducir riesgos humanos y optimizar los tiempos de exploración.

Sistemas de posicionamiento y control

Los sistemas GNSS diferenciales (RTK y PPP), junto con los sistemas inerciales de navegación (INS), proporcionan precisión milimétrica en la georreferenciación de los datos. Estos sistemas aseguran la trazabilidad de cada hallazgo y son compatibles con las normas ISO 19115 sobre metadatos geospaciales.

Casos de aplicación y relevancia operativa

La hidrografía aplicada ha sido clave en numerosos proyectos internacionales. En 2009, la localización del vuelo Air France 447, siniestrado en el Atlántico, se logró mediante el uso combinado de sonar multihaz, magnetómetros y modelos de deriva oceánica. Asimismo, en 2017, la detección del submarino argentino ARA “San Juan”, a 907 metros de profundidad, representó un ejemplo de cooperación hidrográfica internacional, en la que se aplicaron procedimientos definidos por la NATO (2019) en su “Submarine Search and Rescue Manual”.

En el ámbito nacional, la DIHIDRONAV ejecuta periódicamente brigadas hidrográficas de inspección y monitoreo portuario, que incluyen la detección de obstáculos sumergidos y la verificación de estructuras colapsadas en zonas de fondeo o canales de navegación.

Siendo así que, solo en el 2025, la DHN llevo a cabo múltiples operaciones hidrográficas de búsqueda, detección y localización.

Entre los casos más representativos del período señalado destaca la búsqueda y localización del avión KT-1P de la Fuerza Aérea del Perú, desaparecido en aguas jurisdiccionales, cuya ubicación fue posible mediante el empleo integrado de equipos acústicos de alta resolución y la aplicación sistemática de la metodología hidrográfica descrita, permitiendo obtener resultados precisos y confiables.

Asimismo, durante el mismo año se realizó la detección y localización del naufragio del remolcador Westport en el puerto del Callao, empleando batimetría multihaz para caracterizar con detalle la morfología del fondo marino y la posición del casco. De igual forma, se ejecutaron operaciones de búsqueda y ubicación de contenedores perdidos en la rada exterior del puerto del Callao, así como la localización y recreación de la superficie del lecho fluvial en el área del naufragio de la embarcación Deo Rego, puerto de Iparia, proporcionando una representación clara de su condición y posición actual sobre el fondo.

Perspectivas tecnológicas y desafíos futuros

La hidrografía avanza hacia la automatización total de sus procesos. Los nuevos AUV híbridos integran sensores de alta resolución, cámaras ópticas y sistemas de transmisión acústica de datos en tiempo real.

Según la NOAA (2022), el uso de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático permitirán, en breve identificar automáticamente anomalías acústicas y clasificar objetos sumergidos con base en patrones geométricos.

Otro desafío es la gestión de datos masivos. Las operaciones modernas generan terabytes de información por jornada, lo que exige estándares de almacenamiento robustos y respaldos con trazabilidad digital.

La cooperación internacional, la interoperabilidad de plataformas y la formación de especialistas en el ámbito serán ejes fundamentales

para el desarrollo sostenible de la hidrografía en las próximas décadas.

Conclusión

La hidrografía contemporánea constituye el pilar científico y tecnológico que sustenta la exploración subacuática moderna. En las operaciones de búsqueda y localización de objetos hundidos, los hidrógrafos actúan como planificadores, analistas y operadores, integrando sensores acústicos, datos oceanográficos y modelos de predicción para generar información confiable y precisa.

De acuerdo con la OHI (2022) y la DIHIDRONAV (2020), la aplicación rigurosa de las normas internacionales y de los procedimientos técnicos garantiza que los resultados de las misiones no solo sean útiles para la navegación, sino también para la investigación científica, la arqueología y la protección del medio ambiente.

En este sentido, la hidrografía trasciende el ámbito estrictamente técnico para consolidarse como un instrumento de conocimiento y de gestión sostenible del espacio marítimo.

Referencias Bibliográficas

- Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú (DHN). (2020). NTH N° 27: Procedimientos para la determinación de profundidades. Lima: DHN.
- International Hydrographic Organization (IHO). (2022). Norma S-44: Estándares para levantamientos hidrográficos (6.1.0). Mónaco: OHI.
- International Hydrographic Organization (IHO). (2020). Manual on Wrecks and Objects on the Sea Floor (C-13, 5th ed.). Mónaco: OHI.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2022). Hydrographic Survey Specifications and Deliverables. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce.
- North Atlantic Treaty Organization (NATO). (2019). Submarine Search and Rescue Manual (Allied Tactical Publication). Bruselas: NATO.



DE LA INCERTIDUMBRE AL HALLAZGO

◀ CRÓNICA DE LAS OPERACIONES DURANTE LA BÚSQUEDA SUBMARINA DE LA AERONAVE KT-1 ▶

Calm. Jorge Vizcarra Figueroa
jvizcarra@dhn.mil.pe



La ciencia hidrográfica, en sus diversas ramas de aplicación, cumple en determinados momentos críticos una función de especial relevancia para el país; su participación directa en las operaciones de búsqueda, localización y recuperación de objetos hundidos en el medio marino. En estos escenarios, donde la incertidumbre, el tiempo y las condiciones ambientales imponen severas restricciones, la toma de decisiones técnicas oportunas resulta determinante para el éxito de la operación.

La Dirección de Hidrografía y Navegación cuenta con una amplia experiencia en este tipo de misiones, obtenida a lo largo de años de trabajo sistemático, inversión en capacidades especializadas y formación de personal altamente calificado. El presente artículo tiene por finalidad poner en valor ese conocimiento acumulado y destacar cómo, en una situación real y de alta complejidad, se aplicaron criterios técnicos, operativos y humanos que permitieron conducir una operación de búsqueda submarina con método, precisión y responsabilidad institucional, en un contexto donde el tiempo constituía un factor crítico para alcanzar resultados concretos al servicio del país.

La llamada que activó la operación

Al atardecer del 20 de mayo de 2025, me encontraba en el extranjero, en los primeros días de un viaje familiar profundamente significativo, la celebración de los quince años de mi hija mayor, cuando recibí una llamada telefónica que alteró de manera abrupta el curso de los acontecimientos. La información, aún preliminar y no difundida por los medios de comunicación, indicaba que una aeronave de instrucción KT-1 de la Fuerza Aérea del Perú había perdido contacto y que su ubicación era aún incierta.

Los primeros reportes eran imprecisos, pero todo apuntaba hacia un escenario posible y particularmente preocupante: el mar. Sin demora, me comuniqué con el Jefe de Operaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación y con los Comandantes de las Unidades Hidrográficas, a fin de recabar la información obtenida y disponer de inmediato el alistamiento operativo de nuestras capacidades, ante la alta probabilidad de un despliegue hacia el área de operaciones. La participación de estas unidades resultaba esencial, dado que contaban con el equipamiento especializado requerido para este tipo de búsqueda. En ese marco, y como corresponde a cualquier Oficial de Marina en una situación de esta naturaleza, gestioné mi retorno inmediato al país. Era indispensable estar presente, siguiendo de cerca el desarrollo de unas operaciones que, con toda certeza, estaban por iniciarse.

Horas después, un comunicado oficial de la Fuerza Aérea del Perú confirmó que aproximadamente a las 16:08 horas del martes 20 de mayo se había perdido contacto con una aeronave de instrucción KT-1, matrícula FAP 446, perteneciente al Grupo Aéreo N.º 51, mientras ejecutaba una misión de navegación táctica en las proximidades de Pisco. La última comunicación se había registrado cuando la aeronave se encontraba cerca de la isla Zárate y debía culminar su navegación a las 16:25 horas. Ante la ausencia de contacto y conforme a los protocolos establecidos, la Fuerza

Aérea activó de inmediato su sistema de Búsqueda y Rescate (SAR).

La incertidumbre respecto al punto exacto de la caída era considerable; sin embargo, existía un elemento que otorgaba al suceso una dimensión particular. La aeronave era piloteada por una Alférez de Fragata, muy joven, espada de honor de la Promoción 2022 de la Escuela de Oficiales de la Fuerza Aérea del Perú, reflejo del avance sostenido y meritorio de la mujer dentro de las Fuerzas Armadas. Este hecho generó una inmediata resonancia en la opinión pública y añadió una fuerte carga emocional al desarrollo de los acontecimientos. De manera paralela, la natural y comprensible preocupación de su familia se hacía cada vez más evidente, incrementando la presión moral sobre todos los involucrados en la operación. Mientras transcurrían las horas y luego los días, la urgencia por ubicarla se intensificaba, la angustia crecía y las probabilidades de encontrarla con vida disminuían progresivamente.

El planeamiento en medio de la incertidumbre

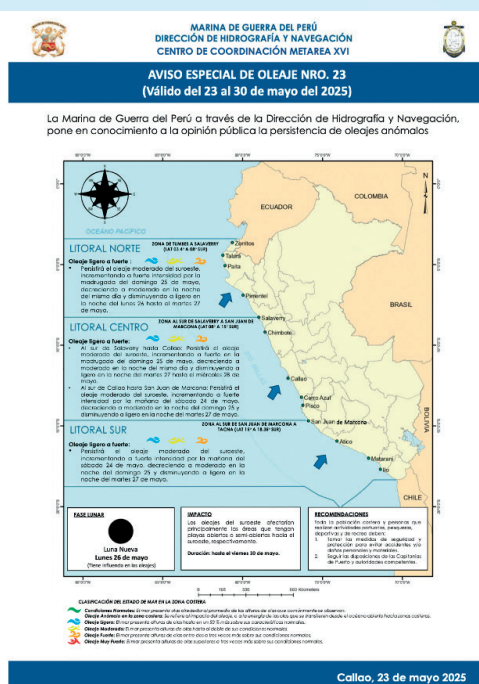
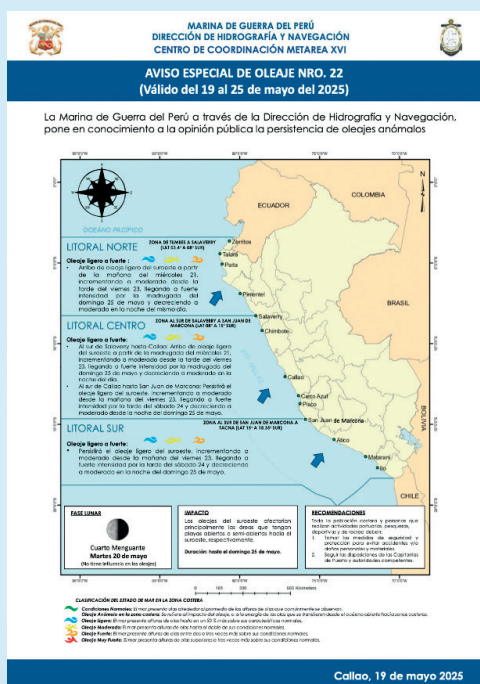
El análisis del área de operaciones se inició con la revisión de la cartografía náutica disponible. Se evaluó la carta HIDRONAV N.º 2264 y la información batimétrica que sustentó su elaboración, verificándose que correspondía a una carta de recalada, diseñada para apoyar la navegación de aproximación a la costa. En consecuencia, su levantamiento se había ejecutado mediante mediciones de profundidad a lo largo de líneas batimétricas espaciadas, un estándar adecuado para la seguridad de la navegación, pero insuficiente para garantizar una cobertura total del fondo marino, dejando sectores intermedios sin información directa sobre sus características.

Esta condición respondía al estricto cumplimiento de la normativa internacional vigente para zonas de bajo riesgo y escaso tránsito, y no a una deficiencia del trabajo hidrográfico previo. No obstante, al tratarse de una operación de búsqueda submarina en un área costera, esta limitación exigía

extremar las precauciones, dado que en los espacios no cubiertos podían existir irregularidades del fondo no registradas. Por ello, se determinó como indispensable la ejecución de un barrido completo del área mediante ecosondas multihaz, con el propósito de obtener una caracterización precisa del 100 % del fondo marino antes de desplegar equipos de búsqueda remolcados. Por ello, se definió un polígono de búsqueda dividido en subáreas organizadas en cuadrantes, los cuales servirían como referencia operativa para la ejecución sistemática de los levantamientos y búsqueda.

En cuanto a las condiciones oceano-meteorológicas, el mar frente a Pisco presenta características particulares, entre las que destaca la intensificación de los vientos durante las horas de la tarde. Para el mes de mayo, las velocidades promedio se sitúan en torno a los 7,8 nudos, pudiendo alcanzar valores cercanos a los 8,2 nudos, con una dirección predominante del suroeste. Las corrientes marinas superficiales muestran una tendencia dominante hacia el norte-noroeste, asociada al sistema de la Corriente Costera Peruana, con velocidades que oscilan entre 0,10 y 0,29 nudos, mientras que la temperatura del agua de mar se mantenía alrededor de los 16 °C, este último dato de particular interés por su relación directa con la propagación de las ondas acústicas en el mar.

Sobre este escenario pesaba además los Avisos Especiales de Oleajes N.º 22-2025 y N.º 23-2025 para el litoral peruano, que anticipaba condiciones adversas para los días siguientes. Estos advertían que a partir del 22 de mayo se preveía oleaje ligero, el cual se intensificaría a moderado entre el 23 y 24, para luego alcanzar condición fuerte, antes de debilitarse nuevamente a moderado el 25 de mayo y retornar a un estado normal recién hacia el 30. Estas proyecciones no constituían datos abstractos: el oleaje ligero implica un incremento aproximado del 50 % en la altura de las olas, el moderado duplica su tamaño habitual y el fuerte puede elevarlas hasta tres veces por encima de lo normal.



Avisos Especiales de Oleajes N.º 22-2025 y N.º 23-2025, que anticipaban condiciones adversas para los días siguientes que incidieron fuertemente en las operaciones de búsqueda.

El análisis detallado de estas condiciones hidro-oceanográficas resultó determinante para el planeamiento de la operación, pues permitía anticipar las ventanas operativas disponibles y evaluar los riesgos asociados al empleo de sensores, equipos remolcados y medios de buceo. Con este panorama, era evidente que el mar no daría tregua y que las labores de búsqueda estarían fuertemente condicionadas, especialmente considerando que debían ejecutarse muy cerca de la costa, en sectores donde la energía del oleaje se manifiesta con mayor intensidad y en áreas dominadas por acantilados. En consecuencia, cada decisión operativa debía sustentarse en un análisis previo riguroso, priorizando la seguridad del personal y la eficiencia del esfuerzo de búsqueda.

Durante el análisis inicial se pasó por alto un elemento clave del entorno que el mar se encargaría de revelar con claridad: la abundante presencia de algas de gran porte, conocidas localmente como zargazos, que se desprendían del fondo marino y, en algunos sectores, alcanzaban la superficie. Este factor, no considerado durante la fase de planeamiento, introdujo dificultades operativas imprevistas que

condicionaron de manera significativa el desarrollo de la búsqueda y que se harían evidentes conforme avanzaban las operaciones.

Pese a ello, el nivel de alistamiento hidrográfico era sólido y oportuno. A lo largo del litoral peruano, diversas brigadas se encontraban desplegadas

ejecutando trabajos de campo conforme a su programación regular; sin embargo, la Dirección de Hidrografía y Navegación contaba, además, con una capacidad fundamental: la posibilidad de asumir de manera inmediata una operación de búsqueda submarina especializada, sin afectar el cumplimiento de sus tareas habituales.



Personal del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), con sede en Pisco, evalúa regularmente las praderas de macroalgas pardas, comúnmente conocidas como zargazos, ubicadas en la zona marino-costera entre punta Zárate y Playón, dentro de la Reserva Nacional de Paracas.

El equipamiento disponible permitió sostener ese esfuerzo con solvencia. Se contaba con ecosondas multihaz aptas para aguas profundas, intermedias y someras, así como con equipos side scan sonar (SSS), magnetómetros y vehículos de operación remota (ROV), listos para ser desplegados y explorar con detalle objetivos no visibles desde la superficie. Complementariamente, se disponía de vehículos autónomos submarinos (AUV), cuyo empleo quedaba supeditado a la evolución del escenario, y de la capacidad para ejecutar inmersiones de buzos, respaldadas por la eventual incorporación de cámaras hiperbáricas, garantizando en todo momento la seguridad del personal. Las Unidades Hidrográficas, plenamente operativas, permitieron actuar con rapidez y flexibilidad desde las primeras horas.

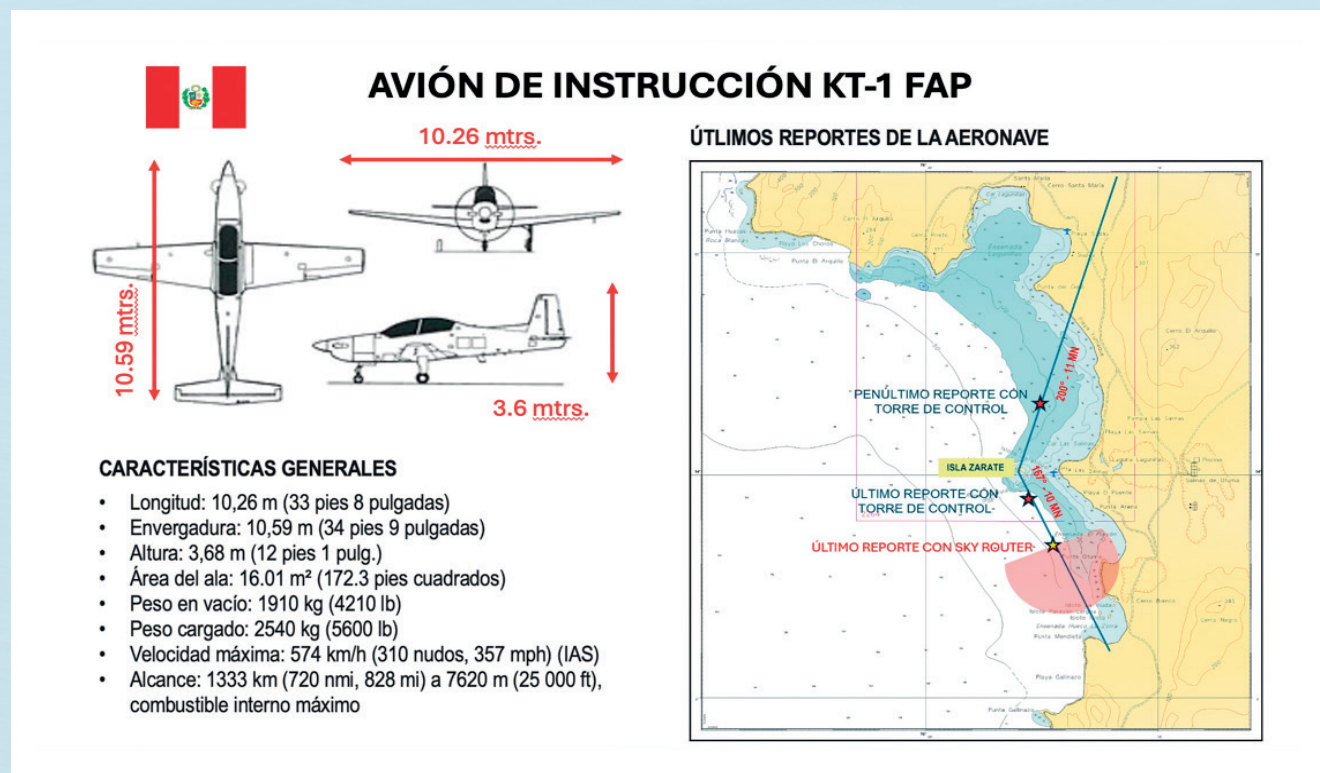
Una vez iniciado el planeamiento táctico dentro del área de operaciones, resultó indispensable analizar con detalle las características físicas de la aeronave, pues estas constituían un insumo esencial para la localización del objeto en el fondo marino.

El KT-1 presentaba una envergadura de 10,59 metros, una longitud total de 10,26 metros, una altura de 3,6 metros y una superficie alar de 16 m²; dimensiones que, con el transcurso de las horas, quedaron claramente fijadas en la mente de todos quienes participábamos en la búsqueda, dado que cada cálculo, patrón de barrido y análisis acústico giraba en torno a ese perfil. En cuanto a los datos del vuelo, se contaba con un último reporte registrado a las 16:33 horas por el sistema SkyRouter, que transmite la posición de la aeronave cada 30 segundos; a partir de ese instante, no se obtuvo ningún otro registro.

Con esta información se podría reconstruir la trayectoria final de la aeronave, considerando su rumbo, velocidad y altura, variables que no estuvieron disponibles de manera inmediata y cuya ausencia complicó las primeras decisiones operativas. Posteriormente, se logró establecer que el avión volaba con rumbo 167°, a una velocidad aproximada de 150 nudos y a una altura cercana a los 200 metros. Estos datos permitie-

ron delimitar con mayor precisión el área probable de impacto y se convirtieron en la base para definir los sectores prioritarios de búsqueda submarina.

Con estos antecedentes consolidados, la decisión fue inmediata: desplegar sin demora al B.A.P. "Zimic". El buque contaba con una ecosonda multihaz instalada en casco, lo que le permitía iniciar de manera inmediata el levantamiento batimétrico del área. Asimismo, se dispuso el embarque de dos equipos de Side Scan Sonar (SSS), los cuales serían empleados en forma remolcada una vez completada la caracterización batimétrica, permitiendo iniciar la búsqueda del objeto con método y seguridad. A ello se sumó el embarque de una ecosonda multihaz portátil, diseñada para ser instalada en una embarcación menor capaz de operar en sectores donde el buque no podía acceder, especialmente considerando que los pronósticos advertían la llegada de oleajes de moderada a fuerte intensidad, una variable que condicionaría cada maniobra en el mar.



Ficha técnica de la aeronave: a la izquierda se muestran sus características generales y a la derecha el patrón de vuelo reconstruido, donde se identifica el área de mayor probabilidad de impacto. No obstante, durante los primeros días, el fuerte oleaje impidió el ingreso a la totalidad del área con el equipamiento especializado.

De manera paralela, se dispuso que el B.A.P. "Carrasco" incrementara su alistamiento operativo, con el embarque de buzos y de una cámara hiperbárica, decisión visionaria dada por el Comandante General de Operaciones del Pacífico que se concretaría pocas horas después. Todo este proceso de planeamiento y despliegue fue supervisado y autorizado por el Director General de Capitanías y Guardacostas, quien realizó un seguimiento permanente de cada etapa de la operación.

En estrecha coordinación con las acciones de búsqueda desarrolladas por la Fuerza Aérea del Perú, la Marina de Guerra del Perú dispuso asimismo el despliegue de una aeronave de exploración B200, que ejecutó misiones continuas de reconocimiento durante varios días sobre el área marítima. De igual forma, se ordenó el empleo de la patrullera de costa *Coshco*, la cual permaneció en la zona desde las primeras horas posteriores al evento, contribuyendo de manera sostenida a las labores de búsqueda y a la cual se le instaló posteriormente una ecosonda multihaz portatil. Estas acciones se complementaron con el reconocimiento sistemático del litoral mediante patrullajes terrestres realizados por personal y vehículos de la Capitanía de Puerto de Pisco.

Hasta ese momento, la zona de impacto no se encontraba claramente definida, lo que obligaba a mantener una búsqueda simultánea en tierra y mar, con patrullas desplegadas en sectores de difícil acceso y unidades aéreas ejecutando inspecciones visuales sistemáticas sobre áreas costeras y marítimas. Esta situación se clarificó a partir de un hallazgo decisivo: la localización de un fragmento del fuselaje en las proximidades del islote Zaratillo, que confirmó que la aeronave había caído al mar y permitió reorientar de manera definitiva los esfuerzos de búsqueda. Sin embargo, pese al fuerte oleaje presente, no se evidenciaban restos significativos ni mar adentro ni a lo largo de la línea de costa.



Equipamiento Hidro Oceanográfico del BAP "Carrasco".

La búsqueda sostenida: esfuerzo constante bajo el mar

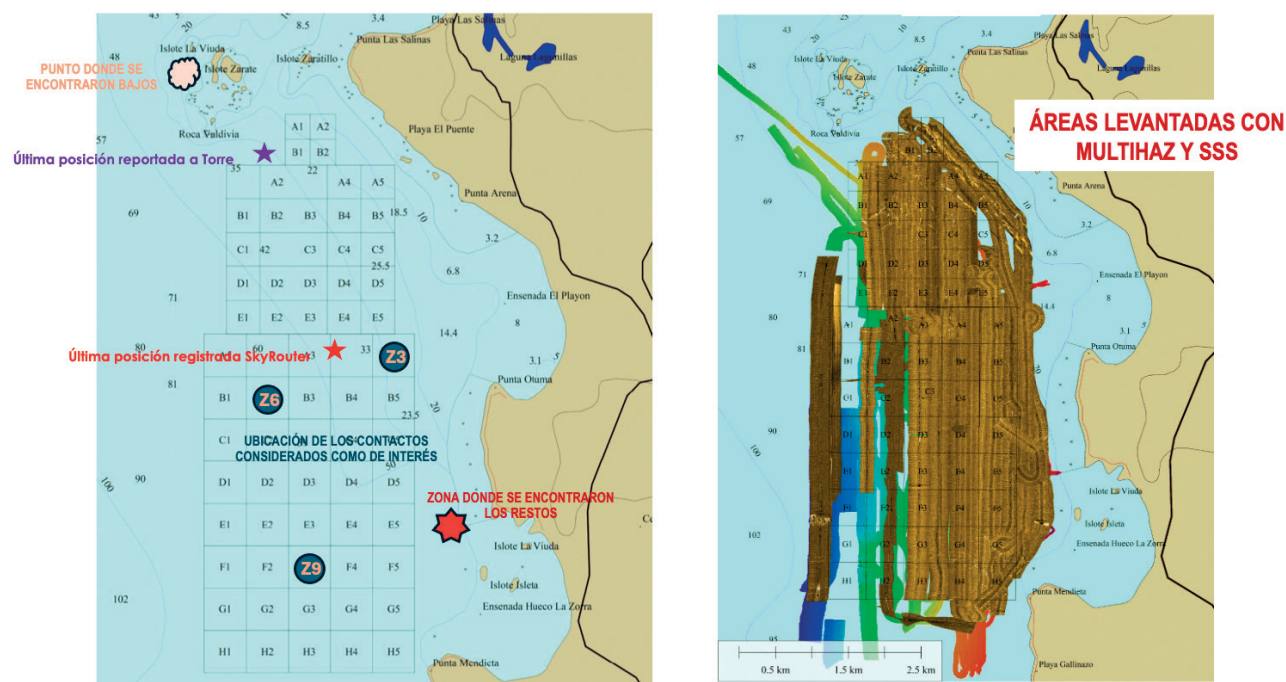
El 21 de mayo, un día después del acontecimiento, zarpó del Callao el B.A.P. "Zimic" con rumbo al área de operaciones, marcando el inicio formal de las labores de búsqueda submarina. Tal como había sido planificado, la primera fase se concentró en la ejecución de un levantamiento batimétrico exhaustivo, orientado a determinar con precisión las profundidades en el 100 % del fondo marino del área. Esta etapa era indispensable: solo con una caracterización completa del relieve submarino podía garantizarse el remolque seguro de los equipos, evitando riesgos tanto para los sensores como para las unidades.

Desde nuestra perspectiva, la búsqueda de objetos submarinos se debía desarrollar mediante un proceso secuencial y metódico: detección, discriminación e identificación. La detección permite identificar, mediante sensores acústicos como la ecosonda multihaz, el Side Scan Sonar y el magnetómetro, aquellas anomalías del fondo marino o del campo magnético que se apartan de su comportamiento natural. La discriminación consiste en analizar con mayor detalle esos contactos, evaluando su forma, dimensiones y respuesta acústica o magnética,

para descartar aquellos que no guardan relación con el objetivo buscado. Finalmente, la identificación implica la confirmación definitiva del objeto mediante medios de observación directa, como ROV, AUV o, cuando las condiciones lo permiten, el empleo de buzos, cerrando así el ciclo técnico de la búsqueda submarina.

En los primeros cuatro días se logró cubrir el 100 % del fondo marino del área definida, mediante el empleo simultáneo de dos ecosondas multihaz, a la que se sumó una tercera con el arribo del B.A.P. "Carrasco"; obteniendo una caracterización completa en un tiempo récord. Este esfuerzo fue clave no solo para remolcar los equipos con seguridad, sino también para detectar e identificar zonas de bajos y profundidades peligrosas no registradas, cuya presencia habría representado un riesgo real tanto para la navegación de las unidades navales como para el despliegue de equipos remolcados. El reconocimiento oportuno de estas irregularidades permitió ajustar los patrones de búsqueda y operar con mayor seguridad. No obstante, el mar impuso límites claros: algunos sectores no pudieron ser mapeados inicialmente debido al fuerte oleaje, la rompiente y la proximidad de los acantilados, debiendo ser postergados hasta días después, cuando las condiciones lo permitieron.

CARTA DE SITUACION



Carta que muestra las cuadrículas establecidas para facilitar las labores de búsqueda.

Véase la posición de los contactos detectados en el fondo catalogados como de interés, así como la zona donde finalmente se encontró a la aeronave.

De manera complementaria al uso de sensores especializados, las unidades mantuvieron en todo momento vigías permanentes en ambas bandas, atentos a cualquier indicio o contacto en superficie. Esta vigilancia visual continua, sostenida durante las horas de luz y reforzada siempre que las condiciones de visibilidad lo permitían, ayudó a descartar oportunamente avistamientos y atender de inmediato cualquier señal anómala, integrando la observación humana al esfuerzo tecnológico y asegurando que ningún elemento del área de búsqueda quedara sin atención.

Durante las primeras exploraciones frente a Punta Otuma se detectaron diversos objetivos en el fondo marino. Sin embargo, tras su discriminación, en especial por su respuesta de retrodispersión acústica, estos indicios fueron descartados como posibles restos de la aeronave. En acústica submarina, la retrodispersión corresponde a la porción de energía acústica que retorna al transductor tras interactuar con el fondo marino u objetos sumergidos, y su respuesta, expresada en términos de intensidad, textura y pre-

sencia de sombras acústicas, permite diferenciar estructuras artificiales de formaciones naturales. En la práctica, los objetos metálicos o compactos generan retornos intensos, bien definidos y acompañados de sombras acústicas claras, mientras que los sedimentos blandos, restos orgánicos o vegetación producen respuestas difusas y de bajo contraste. Bajo estos criterios, las imágenes obtenidas mediante ecosonda multihaz y Side Scan Sonar permitieron identificar algunos restos pertenecientes a embarcaciones pesqueras menores, los cuales fueron rápidamente clasificados y descartados.

El 25 de mayo, el B.A.P. "Zimic" obtuvo un contacto a 4.5 millas náuticas al oeste de la cuadra de Punta Otuma, en el cuadrante B5, designado como "Z3", a una profundidad cercana a los 22 metros. El análisis exhaustivo de la información permitió establecer que dicho eco no correspondía a las características de la aeronave, tratándose de un objeto compatible con una embarcación de madera hundida. No obstante, este primer hallazgo resultó fundamental, al confirmar que el

fondo marino del área presentaba una elevada densidad de contactos, anticipando que el proceso de discriminación sería particularmente intenso, meticuloso y decisivo.

Ese mismo día, un nuevo hallazgo en superficie, una pieza de la aeronave aparecida en las inmediaciones de la playa Supay, en la ensenada de Lagunillas, marcó un punto de inflexión. La ubicación del fragmento, situada considerablemente más al norte del primer indicio, contrastaba con el patrón de vuelo reconstruido, que delimitaba el área probable de impacto dentro de un radio aproximado de 1,25 millas náuticas desde el último reporte del sistema SkyRouter; sin embargo, la acción persistente de las corrientes marinas explicaba de manera coherente ese desplazamiento. Conforme transcurrían las horas, la posibilidad de un rescate con vida se desvanecía progresivamente, y la operación transitó de manera inevitable hacia una búsqueda submarina especializada.

Para el 25 de mayo, una vez cubierta gran parte del área batimétrica



Despliegue del AUV en el mar de Pisco.

definida, se inició el despliegue sistemático del Side Scan Sonar, lográndose la detección de un contacto submarino de particular interés. Este se encontraba a aproximadamente 60 metros de profundidad, a unas 1,2 millas náuticas frente a Punta Otuma, en el cuadrante B2 designado como "Z6", con una longitud estimada de 12,1 metros y un ancho aproximado de 1,6 metros. Su geometría y respuesta acústica generaron una expectativa razonable de que pudiera tratarse de la aeronave siniestrada. Dada la relevancia del hallazgo, se dispuso el inmediato desplazamiento del B.A.P. "Carrasco" hacia dicho punto, que ya contaba abordo con personal de buzos y una cámara hiperbárica, elemento indispensable para garantizar la seguridad ante eventuales inmersiones profundas.

Una vez posicionado sobre el punto de interés, el B.A.P. "Carrasco" procedió al descenso del ROV, concebido para la inspección visual y la discriminación segura de contactos previamente detectados por sensores acústicos. Sin embargo, la elevada concentración de zargazos en el fondo marino limitaba severamente la visibilidad, obligando a realizar múltiples descensos en condiciones además condicionadas por oleaje de moderada a fuerte intensidad. La frustración era comprensible: pese al esfuerzo sostenido, no era posible confirmar visualmente la naturaleza del objeto. A ello se sumó el enredo recurrente de vegetación en las hélices del ROV, que ocasionó un desperfecto menor y una breve interrupción de las operaciones, superada gracias al empleo oportuno

de un segundo ROV disponible a bordo. Aun así, el contacto no pudo ser discriminado de manera concluyente.

Si bien el equipo de buzos del B.A.P. "Carrasco" se encontraba completamente alistado, la profundidad del contacto, la presencia masiva de vegetación y las irregularidades del fondo introducían un nivel de riesgo elevado y difícilmente controlable. En consecuencia, priorizando la seguridad del personal, se determinó no autorizar inmersiones humanas y mantener la búsqueda mediante medios remotos y técnicas no intrusivas.

Bajo este criterio, el 29 de mayo se dispuso el despliegue de uno de los AUV del buque, cuya operación autónoma permitiría obtener información acústica y batimétrica de alta resolución. Este mismo tipo de tecnología y equipamiento especializado fue empleado, en un contexto y escenario distintos, en la localización del submarino ARA San Juan en el fondo del océano Atlántico, una operación que requirió más de un año de búsqueda submarina continua para alcanzar un resultado definitivo.

Esta decisión fue adoptada tras una evaluación exhaustiva de los procedimientos y de todos los escenarios posibles, conscientes del alto valor estratégico del equipo y de las restricciones impuestas por la cercanía a la costa, el oleaje irregular y la densa vegetación marina. Finalmente, el análisis de la información recopilada permitió concluir que la respuesta acústica del contacto no era compati-

ble con la de un objeto metálico, apreciación corroborada posteriormente, aunque con imágenes limitadas, por el ROV. Fue uno de los momentos más frustrantes de la búsqueda, pues las primeras imágenes multihaz habían generado una expectativa fundada de haber encontrado la aeronave.

En paralelo, el B.A.P. "Zimic" había continuado ejecutando de manera sistemática el mapeo submarino del área, manteniendo una búsqueda constante y el análisis permanente de nuevos puntos de interés. Durante uno de los despliegues del Side Scan Sonar remolcado, el sistema volvió a enredarse con abundante vegetación, provocando la ruptura menor de uno de los cables de transmisión. El equipo pudo ser recuperado sin mayores consecuencias, continuándose las operaciones con el segundo SSS disponible abordo, confirmando una vez más que la flora submarina constituía un factor persistente de complejidad.

El 29 de mayo, el B.A.P. "Zimic" detectó un tercer contacto de relevancia, ubicado a 29 metros de profundidad, a 3,4 millas náuticas de islote Isleta, en el cuadrante F3, designado como "Z9". El objeto presentaba una longitud estimada de 5,2 metros y un ancho cercano a 1,8 metros, dimensiones que obligaron a considerarlo con especial atención. El B.A.P. "Carrasco" se desplazó nuevamente al área y procedió a su discriminación mediante el empleo combinado de su Side Scan Sonar, magnetómetro y del ROV, determinándose finalmente que tampoco correspondía a restos de la aeronave.

Si bien no fueron los únicos contactos detectados durante toda la operación, estos tres casos demandaron un tiempo y un esfuerzo particularmente intensos, por su consistencia geométrica y por la expectativa que generaron en el equipo de búsqueda.

A lo largo de toda la operación, la búsqueda no se limitó a los sensores ni a los contactos inicialmente definidos. Se atendieron testimonios de pescadores, quienes afirmaban haber escuchado explosiones el día de la pérdida de la aeronave o incluso haberla visto caer. Si bien los testimonios resultaban disímiles entre sí y ubicaban el supuesto punto de impacto en zonas marítimas muy distintas, toda la información recibida fue considerada y analizada. En ese marco, se dispusieron levantamientos específicos en sectores señalados por estos relatos, entre ellos el área frente a Punta Mendieta y el sector comprendido entre la Isla Zárate y el Islote Zaratillo, donde se efectuaron barridos con ecosondas multihaz y Side Scan Sonar sin resultados positivos. Asimismo, se cubrieron áreas solicitadas por el Centro Coordinador de Salvamento Aeronáutico de la Fuerza Aérea del Perú, incluyendo zonas al oeste del islote Parayan Largo, sin resultados positivos.

El comando y la dotación del B.A.P. "Carrasco" y del B.A.P. "Zimic" mantuvieron durante esos días un compromiso absoluto con la misión. El trabajo fue sostenido e ininterrumpido, extendiéndose a jornadas diurnas, nocturnas y de madrugada, tanto en el

despliegue y recuperación de equipos como en el análisis exhaustivo de la información obtenida del fondo marino. Cada noche se realizaban reuniones de evaluación, donde se revisaba lo actuado durante el día, se analizaban los contactos detectados y se definían los pasos siguientes. El descanso fue escaso; las pocas horas de sueño se interrumpían con frecuencia y, aún cuando se lograba conciliarlo, la mente permanecía anclada a la operación, con un único anhelo recurrente: encontrar la aeronave y dar respuesta a una espera que se sentía interminable.

Con el transcurso de los días, la presión por obtener resultados concretos se intensificó de manera sostenida. Se hacía presente en cada jornada, en cada evaluación nocturna y en cada decisión asumida bajo la atención permanente de los niveles de Comando, amplificada además por el interés mediático que acompañaba la operación. Al interior del equipo era plenamente consciente que este tipo de búsquedas submarinas demandaban tiempo, método y análisis riguroso para ofrecer resultados confiables; sin embargo, el tiempo era precisamente el recurso más escaso, condicionado por la legítima exigencia de respuestas rápidas y por la magnitud humana del suceso. Esa tensión constante, entre la urgencia y la necesidad de hacer las cosas bien, lejos de empujar decisiones apresuradas, reafirmó la convicción de sostener el rigor técnico, la prudencia y la disciplina operativa como los únicos caminos responsables para avanzar en una búsqueda de esta naturaleza.

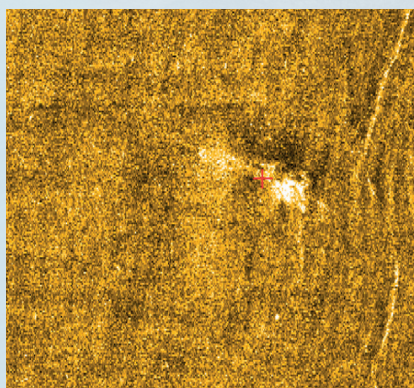
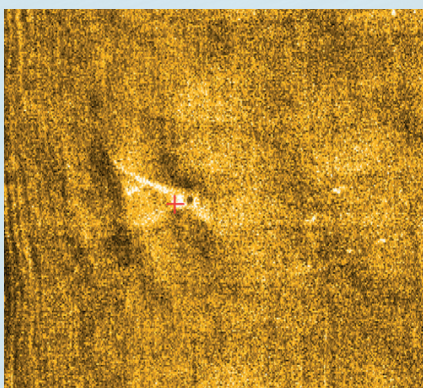
Mientras las unidades operaban día a día en el mar, la División de Meteorología Marítima de la Dirección de Hidrografía desarrollaba una labor silenciosa pero decisiva, siguiendo sin pausa la evolución de las condiciones océano-meteorológicas y señalando con precisión las ventanas operativas más favorables. Durante varios días, el fuerte oleaje obligó a suspender temporalmente el empleo de sensores; incluso la patrullera de costa Coishco enfrentó serias dificultades para aproximarse a la franja litoral.

A partir del 30 de mayo, el mar comenzó a ceder de manera gradual, permitiendo retomar las operaciones con renovado impulso y acceder a sectores más próximos a la costa, hasta entonces inaccesibles debido a la fuerte rompiente asociada a los acantilados. Al día siguiente, 31 de mayo, aparecieron dos nuevas partes de la aeronave en las cercanías de Punta Otuma.

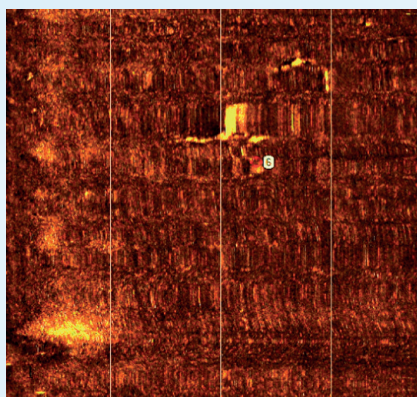
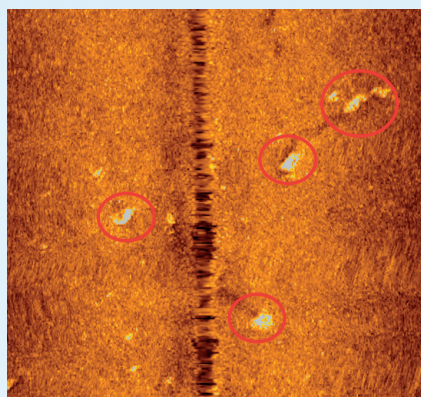
El hallazgo que puso fin a la incertidumbre: entre el alivio y la tristeza

Fue precisamente durante estas operaciones en aguas más someras cuando el B.A.P. "Zimic", gracias a su diseño, maniobrabilidad y capacidad operativa para trabajar en zonas restringidas, detectó una serie de objetos al este del cuadrante E5, cuya respuesta de retrodispersión acústica no era consistente con la de los contactos previamente analizados. Estas respuestas presentaban características diferenciadas en intensidad y geometría, lo que permitió clasificarlas como anomalías de interés dentro del proceso de detección de objetos submarinos.

De acuerdo con el protocolo técnico interno establecido, esta información fue comunicada de inmediato al "BAP Carrasco", disponiéndose el posicionamiento de dicha unidad sobre el área y la búsqueda e identificación *in situ* del objeto detectado. Ello se debe a que esta unidad cuenta con un sistema de posicionamiento dinámico, que le permite mantenerse sobre un



Imágenes del fondo submarino obtenidas mediante Side Scan Sonar, en las que se aprecian los contactos designados como "Z6" y "Z9" que demandaron mayor tiempo para su discriminación e identificación. Finalmente, se confirmó que ninguno de ellos correspondía a la aeronave.



Imágenes del fondo submarino obtenidas mediante dos equipos Side Scan Sonar diferentes, que luego se confirmó que correspondían a la aeronave KT-1.

mismo punto sin verse afectada por las corrientes, el oleaje o el viento, resultando fundamental para permanecer con precisión sobre puntos submarinos previamente ubicados.

En paralelo, se ejecutó un levantamiento batimétrico multihaz de alta resolución en toda el área adyacente, confirmándose la presencia de más objetos metálicos a una profundidad aproximada de 25 metros en un radio aproximado de 120 metros. Si bien se evaluó el descenso inmediato de buzos, las condiciones de mar de esa tarde, caracterizadas por fuertes vientos locales, impidieron realizar la inmersión en condiciones seguras.

Se dispuso que el descenso se realizara a primeras horas del lunes 2 de junio, y para entonces toda la expectativa del Comando y de la dotación estaba concentrada en esa inmersión. La operación se ejecutó de manera coordinada con el empleo de una cámara submarina, que permitió observar el fondo marino a detalle. A medida que las imágenes se hacían más nítidas, aparecieron objetos claramente metálicos, definidos, ajenos al entorno natural.

Sin embargo, en una operación de esta naturaleza, ver no era suficiente; era imprescindible confirmar con absoluta certeza que se trataba efectivamente de restos de la aeronave. Durante ese descenso se recuperaron tres piezas; pero una de ellas resultó decisiva. Se trataba de un componente similar a un pistón, posteriormente identificado como parte del sistema de eyección, el cual no había sido acti-

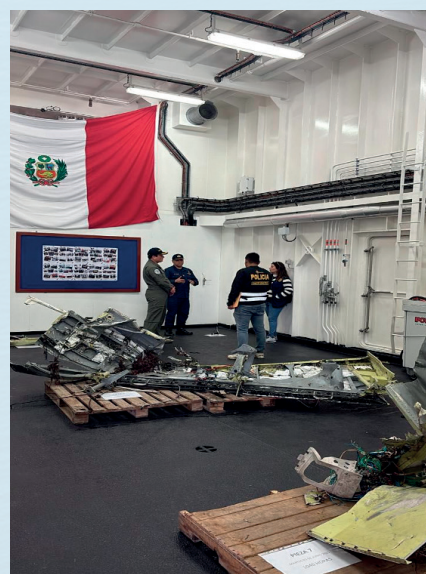
vado. La pieza conservaba su número de serie, disipando cualquier duda posible. La incertidumbre había terminado: la aeronave había sido encontrada. Era la confirmación definitiva del lugar del impacto, información que fue comunicada de inmediato a los superiores jerárquicos correspondientes.

El hallazgo generó un impacto profundo en todo el equipo, una mezcla difícil de describir entre alivio, tristeza y respeto. Éramos conscientes de que aquel fragmento marcaba el fin de la incertidumbre sobre la ubicación de la aeronave, pero no aún el cierre de la misión. La prioridad seguía siendo encontrar el cuerpo de la Alférez. Por tal motivo, y en un ejercicio deliberado de responsabilidad institucional, se decidió no difundir la información de manera inmediata, priorizando la

protección emocional de la familia y evitando generar expectativas prematuras. La prudencia se impuso a la inmediatez, y la información fue resguardada estrictamente por todo el personal involucrado hasta cumplir el objetivo final de la operación.

Adicionalmente, se evaluó que una difusión prematura del hallazgo podía atraer al área a pescadores artesanales o a curiosos, lo que habría dificultado seriamente las labores de exploración submarina. En consecuencia, la Dirección General de Capitanías y Guardacostas dispuso de inmediato el despliegue de una patrullera marítima B.A.P. "Río Pativilca" para restringir el ingreso de embarcaciones ajenas a la operación. De manera complementaria, la Comandancia General de Operaciones del Pacífico ordenó el despliegue del B.A.P. "Morales", buque tender de buzos, con el propósito de ampliar y reforzar las labores de búsqueda en el área ya identificada, con una cantidad mayor de buzos.

El martes 3 de junio, el equipo de buzos del Grupo de Buceo y Salvamento reinició las operaciones de búsqueda y recuperación, logrando rescatar once piezas adicionales de la aeronave, entre ellas dos estructuras de mayor tamaño, elevando a quince el total de restos recuperados hasta ese momento. Todos los elementos



Restos de la aeronave recuperados: a la izquierda, el componente correspondiente al pistón del sistema de eyección; a la derecha, días después, una mayor cantidad de restos recuperados, resguardados en el hangar portahelicópteros del BAP "Carrasco".

fueron trasladados al hangar porta helicópteros del B.A.P. "Carrasco", donde quedaron bajo custodia siguiendo estrictos protocolos de seguridad. Entre los restos se encontraba parte de la cúpula delantera de la aeronave, severamente dañada, lo que evidenciaba que el impacto contra el mar había sido de gran violencia.

Fue en ese momento cuando comprendimos por qué no habían aparecido más restos de la aeronave a la deriva hacia la costa: ellos permanecían atrapados entre la densa vegetación del fondo marino, un entorno donde, además, se concentraba una cantidad considerable de fauna marina. Los restos recuperados permitieron además evidenciar la violencia del impacto. Aquello que inicialmente se había considerado como una posibilidad, hallar la aeronave parcialmente íntegra, quedó rápidamente descartado. El estado de los fragmentos recuperados y su dispersión en el fondo marino confirmaban que el impacto contra el mar había sido extremadamente severo, provocando la desintegración total de la estructura. No había un fuselaje reconocible ni un conjunto coherente de piezas: lo que se encontraba eran partes destrozadas y diseminadas, testimonio silencioso de la magnitud del golpe y de la energía involucrada en el siniestro.

El miércoles 4 de junio, con el B.A.P. "Morales" ya plenamente desplegado en el área, se reanudaron las labores de búsqueda submarina y se recuperó una pieza de particular relevancia: el asiento del copiloto aún unido al paracaídas de eyección. Este hallazgo confirmó que nos encontrábamos muy cerca de localizar los restos de la piloto. Sin embargo, comenzaba a manifestarse un nuevo factor de riesgo: las operaciones se desarrollaban muy próximas a la costa, donde la presencia de personas aumentaba progresivamente. En algunos casos, los restos recuperados requerían el uso de grúas de a bordo, lo que hacía inevitable su observación desde tierra, incluso con binoculares, a lo que se sumó la presencia ocasional de drones sobre el área, incrementando la exposición mediática de la operación.

Esa misma noche comenzaron a circular informaciones periodísticas sobre la posible ubicación de la aeronave, muchas de ellas con imprecisiones y errores.

El jueves 5 de junio, en horas de la mañana, se ejecutó la fase final de recuperación del cuerpo de la Alférez. Tras días de búsqueda intensa y sostenida, el cuerpo fue finalmente ubicado a una profundidad aproximada de 20 metros, poniendo fin a una espera cargada de tensión, esperanza y dolor. Con el respeto que imponía la magnitud del momento, se procedió de inmediato a su traslado al puerto de Pisco, donde fue desembarcado para las diligencias de ley, cerrando así una de las etapas más difíciles y conmovedoras de toda la operación. Concluida esta fase de la operación, el B.A.P. "Carrasco" y el B.A.P. "Zimic", tras desembarcar y entregar a la Fiscalía la totalidad de las piezas recuperadas en el puerto General San Martín de Pisco, retornaron al Callao. En el área permaneció el B.A.P. "Morales", que continuó durante algunos días más con las labores de recuperación de restos, en coordinación con la patrullera marítima B.A.P. "Río Pativilca" desplegada.

Apenas nuestras unidades hidrográficas arribaron al puerto del Callao, me reuní con sus Comandantes y sus dotaciones. No hicieron falta mayores palabras. Nos encontramos en un abrazo fuerte y sincero que condensó todo lo vivido: los días intensos, las noches sin descanso, la presión constante y el peso de cada decisión asumida. Fue un gesto simple, pero cargado de significado, en el que se mezclaron el cansancio acumulado, el respeto mutuo y la satisfacción serena de saber que habíamos cumplido con nuestra misión hasta el final. En ese instante, sin necesidad de expresarlo en voz alta, quedó la certeza de que con esta gente, con este equipo, uno iría a la guerra sin dudar.

Luego, ya en la calma del retorno, el trabajo continuó en una revisión profunda y honesta de la operación, de la cual surgieron lecciones que enriquecieron nuestra doctrina de búsqueda submarina, recordándonos

que incluso en los momentos más difíciles, la experiencia compartida se transforma en responsabilidad para el futuro.

Más allá de la operación

Desde los primeros instantes de la emergencia, la Marina de Guerra del Perú estuvo presente de manera ininterrumpida, acompañando y sosteniendo las labores de búsqueda hasta su conclusión. Se dispuso el empleo de dos buques hidrográficos (B.A.P. "Carrasco" y B.A.P. "Zimic") una patrullera marítima (B.A.P. "Río Pativilca"), una patrullera de costa (PC Coishco), un buque tender de buzos (B.A.P. "Morales"), una aeronave B200 y más de doscientos hombres y mujeres de diversas especialidades, poniendo a disposición la totalidad de las capacidades hidrográficas y operativas, sin escatimar medios ni esfuerzos, con un solo propósito: cumplir hasta el final con la misión encomendada y acompañar a nuestra compañera de armas.

El sepelio se desarrolló en un ambiente de profundo recogimiento y solemnidad. En representación de la Institución, el Comandante General de la Marina de Guerra del Perú expresó a la familia las más sentidas condolencias. Posteriormente, el padre y la hermana de la Alférez manifestaron, con visible emoción, su agradecimiento sincero y permanente hacia la Marina de Guerra por el esfuerzo desplegado desde el primer instante, un reconocimiento que trascendió el ámbito familiar y fue compartido por amplios sectores de la sociedad peruana.

Más allá de los resultados operativos, esta experiencia dejó en evidencia el valor del trabajo silencioso, profesional y perseverante de la Marina de Guerra del Perú. Hombres y mujeres de mar que, sin buscar protagonismo, entregaron en cada jornada su conocimiento, su experiencia y su vocación de servicio, actuando con humanidad, firmeza y compromiso.

En este esfuerzo sostenido, la comunicación permanente con los medios desplegados quienes remitían reportes diarios y oportunos, resultó



Comando y dotación del BAP "Zimic" a su arribo al puerto del Callao. Nótese el equipo Side Scan Sonar con el que se obtuvo los primeros contactos submarinos de la aeronave siniestrada.

indispensable para una adecuada toma de decisiones. La información proveniente de estos equipos permitió ajustar el planeamiento, reevaluar escenarios y orientar con precisión el empleo de los medios navales, certificando una vez más que el ejercicio del mando exige no solo capacidad técnica, sino carácter, temple y firmeza en los momentos de crisis.

El reto, el prestigio y el privilegio del Comando recaen en hombres y mujeres que han sido formados para esos momentos, cuando la presión es máxima y cada decisión pesa. Es en esas circunstancias donde la conducta, el criterio y la templanza se convierten en un eslabón decisivo de la cadena de decisiones, capaz de transformar la incertidumbre en resultados y el deber en responsabilidad cumplida.

Lo hicieron para dar certeza y paz a una familia, y para responder con dignidad a un momento que conmovió profundamente al país, demostrando que el Perú cuenta no solo con una Marina moderna, profesional y técnicamente preparada, sino, sobre todo, con marinos íntegros, comprometidos con su misión, con su gente y con la Patria.

A la familia de la Alférez, expresamos nuestro más profundo y respetuoso pesar. Su hija fue buscada con dedicación absoluta, profesionalismo y humanidad, conscientes en todo momento de que no se trataba solo de una misión, sino de una compañera de armas, contemporánea de muchos de los Oficiales que participaron en la operación. Esa cercanía generacional hizo aún más sentido el compromiso asumido y acompañó cada esfuerzo desplegado. Su recuerdo y su ejemplo

permanecerán presentes en quienes tuvimos la responsabilidad de acompañarla hasta el final de esta difícil tarea.

Que este artículo sirva como acto de reconocimiento y homenaje al esfuerzo silencioso y generoso de todos quienes participamos en esta operación. Que permanezca como testimonio vivo de una labor realizada con entrega, profesionalismo y lealtad, a la altura de las exigencias que la Patria impuso en uno de sus momentos más difíciles. Que quede también como un mensaje claro y permanente para todos los peruanos: el país cuenta con una Marina de Guerra al servicio de la Nación, preparada para actuar con firmeza, humanidad y responsabilidad allí donde los intereses nacionales lo demanden... **"Porque cuando la Patria llama, la Marina responde".**



Campaña Antártica ANTAR XXXII: Presencia del Perú en la Antártida Ciencia y Cooperación internacional



C. de N. Carlos Holguin Valdivia
cholguin@dhn.mil.pe

La Campaña Antártica ANTAR XXXII constituye una expresión concreta del compromiso sostenido del Perú con la Antártida, consolidando una presencia basada en la investigación científica, el sostenimiento logístico y la cooperación internacional. A partir de la experiencia acumulada desde la instalación de la Estación Científica Antártica “Machu Picchu” y del rol del país como Parte Consultiva del Tratado Antártico, la campaña se desarrolla entre diciembre de 2025 y marzo de 2026 a bordo del B.A.P. “Carrasco”, plataforma estratégica para la investigación polar. El despliegue integra cruceros oceanográficos y geológicos, proyectos multidisciplinarios sobre biodiversidad, krill, dinámica marina y procesos ambientales, así como el aporte especializado de la Dirección de Hidrografía y Navegación. De manera complementaria, incorpora el sostenimiento de la ECAMP, recaladas regionales y un amplio intercambio científico y naval, proyectando al Perú como un actor responsable y activo en la gobernanza, protección y conocimiento del continente blanco.

The Antarctic Campaign ANTAR XXXII represents a tangible expression of Peru's long-term commitment to Antarctica, reinforcing a sustained presence grounded in scientific research, logistical support, and international cooperation. Building upon decades of experience since the establishment of the “Machu Picchu” Antarctic Scientific Station and Peru's status as a Consultative Party to the Antarctic Treaty, the campaign is conducted between December 2025 and March 2026 aboard the B.A.P. Carrasco, a key platform for polar research. The operation integrates oceanographic and geological cruises with multidisciplinary projects addressing biodiversity, krill, marine dynamics, and environmental processes, including specialized contributions from the Directorate of Hydrography and Navigation. In parallel, the campaign ensures logistical support to the Antarctic station, regional port calls, and extensive scientific and naval exchange, positioning Peru as a responsible and active participant in Antarctic governance, environmental protection, and knowledge generation.

La participación del Perú en la Antártida se consolidó a partir de 1988, con la realización de la primera expedición nacional, marcando el inicio de un proceso sostenido de presencia, investigación y cooperación en el continente blanco. Al año siguiente, el Perú fortaleció esta proyección con la implementación de la Estación Científica Antártica “Machu Picchu” (ECAMP), estableciendo una plataforma permanente para el desarrollo de actividades científicas y para la articulación del esfuerzo nacional en el marco antártico. Este proceso permitió al Estado peruano integrarse activamente al sistema de gobernanza internacional del continente, alcanzando en 1989 la condición de Parte Consultiva del Tratado Antártico, con participación en los espacios donde se adoptan decisiones por consenso sobre la administración y protección de la Antártida.

Sobre esa base histórica, en la actualidad el B.A.P. “Carrasco”, buque científico de tecnología avanzada y referente en la investigación oceanográfica polar, constituye el medio estratégico que lleva al Perú a la Antártida y hace posible el despliegue de personal, equipos y operaciones científicas en uno de los entornos más exigentes del planeta. En ese contexto, se dio inicio a la Campaña Antártica ANTAR XXXII, con una duración total de 98 días, comprendidos entre el pasado 19 de diciembre de 2025, con su zarpe desde el puerto del Callao, y el 26 de marzo de 2026, fecha prevista para su culminación. La campaña es conducida por 72 marinos que operan el buque hacia el continente blanco, con alto conocimiento y entrenamiento en navegación en aguas polares, y que vienen demostrando su profesionalismo y capacidad operativa para garantizar el desarrollo seguro y eficiente de las actividades

previstas. Asimismo, se embarcó personal del Ejército del Perú destinado a labores logísticas para el sostenimiento de la ECAMP; en paralelo, se integra la participación de 56 expedicionarios provenientes de diversas instituciones científicas y universidades nacionales e internacionales, así como de países que desarrollan proyectos de investigación en el marco de la cooperación antártica.

En lo referido al componente científico-operacional, la planificación de la campaña considera la ejecución de dos cruceros científicos, un crucero oceanográfico y un crucero geológico, orientados a ampliar el conocimiento del Océano Austral y a generar información comparable y de utilidad para la investigación y el monitoreo ambiental. Estos cruceros permiten estructurar el trabajo por etapas y asegurar la integración de equipos, metodologías y capacidades instrumentales en el área antártica, fortaleciendo la continuidad de líneas de investigación y la obtención de resultados verificables.

Bajo ese marco, la Universidad Nacional Agraria La Molina desarrolla investigaciones orientadas a analizar el microbioma del krill y del agua de

mar para identificar variaciones asociadas a condiciones ambientales y evaluar posibles señales vinculadas al impacto de las actividades humanas; asimismo, impulsa una segunda línea centrada en la explotación de la biodiversidad. De manera complementaria, el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) ejecuta un estudio del krill durante el periodo 2025–2026.

De forma paralela, la campaña incorpora investigaciones sobre fauna y su relación con el ambiente. En este sentido, la Universidad Científica del Sur plantea la caracterización de aves y mamíferos marinos y su vínculo con descriptores oceanográficos del hábitat, incluyendo sectores como la península Antártica y el Paso Drake, lo que permitirá fortalecer el monitoreo de especies sensibles y aportar evidencia para la gestión responsable de actividades humanas en áreas de alto valor ecológico. Esta línea de trabajo, a su vez, se complementa con iniciativas que buscan entender procesos esenciales del sistema antártico, como el flujo de carbono y el estado de sedimentos en ambientes polares, clave para interpretar la productividad y los ciclos químicos.

En la misma línea, la cooperación científica también se expresa en proyectos que integran herramientas innovadoras, incorporando enfoques analíticos avanzados para el estudio del microplancton y el seguimiento de etapas tempranas de especies clave del ecosistema, así como aproximaciones orientadas a comprender el impacto de contaminantes emergentes y la interacción entre actividad humana y medio ambiente en zonas sensibles.

De manera adicional, la campaña incorpora el proyecto de la Dirección de Hidrografía y Navegación denominado “Estudio de la dinámica marina alrede-



dor de las Islas Shetland del Sur y su conexión con El Niño-Oscilación del Sur”, orientado a generar información oceanográfica de alto valor para el país. Esta investigación permitirá caracterizar la variabilidad de las condiciones marinas en el área de estudio y analizar su relación con procesos climáticos de gran escala, contribuyendo a fortalecer la comprensión del Océano Austral y a sustentar el desarrollo de conocimiento científico aplicable al monitoreo y análisis oceanográfico.

La ANTAR XXXII incorpora un componente humano-operacional con aplicación directa en la seguridad y el rendimiento en ambientes extremos. En ese sentido, la Universidad Continental desarrolla una investigación sobre la calidad de vida y labores expedicionarias del personal que permanece en las bases antárticas, con el objetivo de generar recomendaciones que contribuyan a la eficiencia y el bienestar del personal en condiciones polares.

En lo referido a la cooperación internacional en investigación, participan proyectos de Ecuador, Chile, Argentina y Colombia, los cuales amplían el alcance temático de la campaña y fortalecen el intercambio técnico-científico. Estas iniciativas comprenden, entre otros aspectos, propuestas vinculadas a la diversidad genética del microplancton y el empleo de metodologías analíticas avanzadas, el monitoreo de componentes tempranos del ecosistema, así como estudios sobre mamíferos marinos y su comportamiento ante perturbaciones por navíos, contribuyendo a promover buenas prácticas y a reducir impactos sobre la fauna en áreas de alto valor ecológico.

De manera complementaria, como parte del despliegue operacional, la campaña contempla recaladas logísticas en los puertos de Punta Arenas y Valparaíso en Chile y Ushuaia en Argentina, que cumplen una función esencial para el reaprovisionamiento, la coordinación técnica y la continui-



dad del esfuerzo en el área de operaciones. Estas recaladas, además, fortalecen los vínculos de camaradería y cooperación entre el Perú y los países de la región, al facilitar el relacionamiento institucional y el intercambio de experiencias, lo cual contribuye a consolidar un entorno de confianza y colaboración que favorece el desarrollo eficiente de las actividades previstas, en concordancia con el carácter cooperativo que distingue a las operaciones antárticas.

En paralelo a la actividad científica, la ANTAR XXXII incorpora labores logísticas asociadas al sostenimiento de la Estación Científica Antártica “Machu Picchu”, incluyendo el transporte y desembarco de materiales, víveres y equipamiento, a fin de asegurar la continuidad operativa de la estación durante la temporada antártica. Este componente logístico resulta determinante para garantizar la presencia efectiva del Perú y la ejecución ordenada de las actividades programadas en el área antártica.

A ello se suma que la campaña contempla trabajos en la Reserva Nacional Dorsal de Nasca, incluyendo acciones como levantamientos batimétricos, que contribuyen a mejorar el conocimiento del relieve submarino y la caracterización de áreas de especial interés para el país. Estos trabajos fortalecen la base técnica necesaria para la investigación científica marina y respaldan la gestión y conservación de ecosistemas de alta singularidad, alineándose con

el objetivo de la Reserva Nacional de conservar una muestra representativa de ecosistemas marinos asociados a la Dorsal de Nasca y promover la investigación científica en el área. En términos estratégicos, la generación de información hidrográfica y oceanográfica contribuye a incrementar el conocimiento del dominio marítimo y a sustentar decisiones vinculadas a conservación, gestión y proyección científica nacional.

Finalmente, la ANTAR XXXII incorpora un componente de intercambio profesional mediante el embarque de oficiales invitados de marinas extranjeras, España, Francia, Ecuador, Argentina, Guatemala, Canadá, Italia y Corea del Sur, quienes participan con el propósito de conocer la plataforma, observar la ejecución de actividades antárticas (operacionales y logísticas) y familiarizarse con la planificación de proyectos y la funcionalidad de los equipos del B.A.P. “Carrasco”. Este intercambio fortalece la camaradería profesional, promueve el aprendizaje mutuo y contribuye al entendimiento de estándares y procedimientos aplicables a campañas polares, con beneficios directos para la cooperación y la interoperabilidad en entornos extremos.

En suma, la Campaña Antártica ANTAR XXXII expresa una acción integral del Estado peruano en la Antártida: combina presencia, sostenimiento logístico, generación de conocimiento científico y cooperación internacional, proyectando al Perú como un actor comprometido con los principios del Sistema del Tratado Antártico. En su condición de Parte Consultiva, el Perú participa con voz y voto en los mecanismos donde se adoptan decisiones por consenso sobre la gobernanza, protección ambiental y cooperación en el continente blanco; en ese marco, campañas como la ANTAR XXXII constituyen un instrumento concreto de política exterior, presencia nacional e investigación, reforzando la continuidad de los intereses nacionales del Perú en la Antártida.





ANTAR XXXII

Del Mar de Grau al corazón de la Antártida

98		DÍAS DE COMISIÓN
14		DÍAS EN PUERTO EXTRANJERO (CHILE Y ARGENTINA)
12,500		MILLAS POR NAVEGAR
02		CRUCEROS CIENTÍFICOS OCEANOGRÁFICO Y GEOLÓGICO
06		PAÍSES PARTICIPANTES

73		PERSONAL NAVAL EMBARCADO
08		OFICIALES EXTRANJEROS INVITADOS
03		PERSONAL DEL EJÉRCITO EMBARCADO
56		EXPEDICIONARIOS EMBARCADOS
30		TONELADAS DE CARGA TRANSPORTADA (EP - MRE)



Importancia de la presencia de la **Marina de Guerra del Perú** en el continente antártico



C. de F. Marco Bartens Olortegui
mbartens@dhn.mil.pe

La Antártida es un vasto continente cubierto por una capa de hielo, que representa el 90 % del hielo mundial y el 70 % del agua dulce del planeta. Ha sido designado en el Tratado Antártico de 1959 como una zona exclusivamente para la investigación científica y prohibida para la explotación comercial. Perú, miembro consultivo de dicho tratado desde 1989, es responsable de preservar la Antártida y sus recursos como patrimonio de la humanidad, contando para ello con la Marina de Guerra del Perú, que desempeña un papel crucial en la ejecución de la Política Nacional Antártica y las expediciones científicas.

Antarctica is a vast continent covered by an ice sheet representing 90% of global ice and 70% of freshwater, designated by the 1959 Antarctic Treaty exclusively for scientific research, prohibiting commercial exploitation. Peru, a consultative member since 1989, is responsible for preserving Antarctica and its resources as a heritage of humanity, with the Peruvian Navy playing a crucial role in national Antarctic policy execution and scientific expeditions.



La Antártida, un continente sólido de más de 14 millones de kilómetros cuadrados, está cubierto en su mayor parte por una capa de hielo, que representa aproximadamente el 90 % del hielo mundial y el 70 % del agua dulce del planeta. Este continente alberga uno de los ecosistemas más puros y menos alterados por la actividad humana, con una notable ausencia de enfermedades (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014). Además, es un reservorio de recursos estratégicos, como petróleo, gas, carbón y metales (oro, cobre, plata, zinc, cromo, níquel, vanadio, platino, uranio), junto con una gran biodiversidad, que incluye peces, focas, lobos marinos, aves y ballenas. Sin embargo, en el Tratado Antártico se regula estrictamente el acceso y la explotación de estos recursos, promoviendo su uso exclusivo como laboratorio natural para la investigación científica y la cooperación internacional, prohibiendo actividades comerciales (Tratado Antártico, 1959).

El Perú, como miembro consultivo del Tratado Antártico desde 1989, tiene la responsabilidad de preservar la Antártida como patrimonio de la humanidad, garantizando la protección de su medio ambiente y fomentando el avance científico en beneficio de las generaciones presentes y futuras (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014). Con este fin, la Marina de Guerra del Perú (MGP) desempeña un papel crucial en la ejecución de las políticas nacionales antárticas y en la consolidación de la presencia peruana en el continente.

Antecedentes

La participación de las Marinas ha sido históricamente esencial en el acceso marítimo y el desarrollo de actividades en la Antártida, incluyendo el reabastecimiento logístico de bases mediante rompehielos y buques de apoyo (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). En el caso del Perú, el interés por la Antártida se formalizó tras la firma del Tratado Antártico en 1959 y su ratificación en 1961 (Tratado Antártico, 1959). En 1961, el Capitán de Fragata Juan Soria Díaz fue el primer oficial peruano en participar en actividades antárticas durante el Año Geofísico Internacional (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.).

En 1979, la Asamblea Constituyente del Perú emite una declaración oficial en la que destaca la necesidad y la importancia de una futura explotación racional y equitativa de los recursos antárticos (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014). En 1983, se crea la Comisión Nacional de Asuntos Antárticos, que diseñó la Política Nacional Antártica, con la Marina de Guerra como actor central en la logística y ejecución de expediciones (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.).

Entre 1980 y 1987, oficiales de la Institución participan en campañas antárticas de Argentina, Chile, Brasil, Australia y Estados Unidos de América, adquiriendo experiencia en navegación polar y operaciones científicas bajo la cooperación fomentada por el Tratado Antártico (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). En 1988, la Marina

lidera la Primera Expedición Científica Peruana (ANTAR I) con el buque B.I.C. "Humboldt", adaptado para aguas antárticas, con el objetivo de localizar un sitio para una estación científica y realizar investigaciones en oceanografía, meteorología y sobre el recurso del krill. En 1989, la Segunda Expedición (ANTAR II) permitió la instalación de la Estación Científica Antártica "Machu Picchu" en la isla Rey Jorge, consolidando la presencia peruana y asegurando su estatus de miembro consultivo (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.).

Desde 1988 hasta el 2013, con el B.I.C. "Humboldt", y desde el 2017 hasta la actualidad (campaña ANTAR XXXI), la Marina de Guerra ha conducido 31 expediciones científicas, con las que ha fortalecido la presencia del Perú en el Continente Blanco (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.).

¿Cuál es la importancia de la presencia de la Marina de Guerra en la Antártida?

La Marina de Guerra ha sido un pilar fundamental en la consolidación de los intereses nacionales en la Antártida, con un impacto significativo en las dimensiones estratégica, científica, logística y geopolítica.

Dimensión científica

Impulso a la investigación científica

La Marina de Guerra ha promovido y facilitado la ejecución de proyectos de investigación en las áreas de oceanografía, meteorología, biología



marina, geodesia y medioambiente, colaborando con instituciones nacionales e internacionales (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). Innovaciones como radares atmosféricos en la Estación Científica “Machu Picchu” y a bordo del B.I.C. “Humboldt”, han generado resultados reconocidos globalmente, en línea con el Objetivo Estratégico 2 de la Política Nacional Antártica para fortalecer la investigación científica (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

Cooperación internacional y formación especializada

Oficiales de esta fuerza armada han participado en campañas de investigación científica, así como también han recibido entrenamiento en navegación antártica en países como Argentina, Chile, Brasil, Australia y Estados Unidos, y también han acogido a oficiales extranjeros en el B.A.P. “Carrasco”, fortaleciendo lazos de cooperación (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). La representación peruana en foros, como SCAR, COMNAP y RAPAL, ha consolidado la cooperación científica y diplomática, en cumplimiento con el Objetivo Estratégico 4 de la Política Nacional Antártica (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

Dimensión logística

Protagonismo en la presencia y acceso efectivo

La Institución ha liderado la logística y ejecución de las expediciones científicas peruanas, planificando y conduciendo campañas con buques, como el B.I.C. “Humboldt” y, desde 2018, el B.A.P. “Carrasco” (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). Su capa-



cidad para navegar en aguas polares, romper hielos y mantener rutas seguras ha asegurado la permanencia de equipos científicos en condiciones extremas, garantizando la continuidad de la investigación peruana (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

Dimensión geopolítica

Apoyo a la Política Nacional Antártica y compromisos internacionales

Conforme a la Ley de la Marina de Guerra del Perú y la Política Nacional Antártica, la Institución mantiene la presencia estatal en la Antártida, ejecutando políticas alineadas con el Tratado Antártico y el Protocolo de Madrid (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014). Su labor asegura el cumplimiento de los compromisos internacionales del Estado, promoviendo la Antártida como zona de paz y de investigación científica.

Como podemos observar, la Marina de Guerra ha sido y sigue siendo el motor de la presencia nacional en la Antártida, asegurando la defensa de los intereses estratégicos, el cumplimiento de compromisos internacionales y el desarrollo científico en una de las regiones más importantes y sensibles del planeta; por lo que es de vital importancia mantener al Perú dentro del Tratado Antártico como un país consultivo.

Protección de intereses económicos y estratégicos

La presencia de la Institución en el continente austral responde a la necesidad de proteger los intereses económicos del Perú ante la posible explotación futura de recursos antárticos, cuya geología es similar a la de

los Andes peruanos, y cuya apertura podría afectar la minería y la pesca nacional (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). La ubicación estratégica de la Antártida para el tráfico marítimo internacional refuerza su relevancia geopolítica (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

Dimensión estratégica

Sostenimiento de la condición de miembro consultivo

El trabajo de la Marina de Guerra ha permitido al Perú cumplir con los requisitos del Artículo IX del Tratado Antártico, que logró en 1989, el estatus de miembro consultivo con voz, voto y derecho a veto en las decisiones sobre la Antártida (Tratado Antártico, 1959). Esta condición fortalece la posición geopolítica del Perú, permitiéndole influir en el régimen jurídico internacional del continente (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

¿Cuáles son los beneficios del Perú como miembro consultivo del Tratado Antártico?

El estatus de miembro consultivo otorga al Perú múltiples beneficios estratégicos, científicos, políticos y ambientales:

Derecho a voz y voto

El Perú participa en las reuniones consultivas del Tratado Antártico, influyendo en políticas y defendiendo intereses nacionales, mediante el voto y el veto por consenso (Tratado Antártico, 1959). Este estatus le permite influir en la formulación de políticas, medidas y directrices que afectan la región, y defender sus intereses nacionales ante cualquier propuesta de otros Estados.

Co-gobernanza internacional

Comparte la responsabilidad de administrar la Antártida, asegurando su uso pacífico, científico y ambientalmente sostenible (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014). Puede frenar, mediante el consenso,

cualquier actividad que pueda afectar sus intereses o el equilibrio ecológico del continente.

Liderazgo en investigación científica

Accede a proyectos de investigación globales sobre cambio climático, biodiversidad y oceanografía, fortaleciendo la capacidad científica nacional mediante colaboración internacional (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). La ciencia antártica peruana se beneficia de la colaboración internacional y del acceso a infraestructura y recursos compartidos, fortaleciendo la capacidad tecnológica y científica nacional.

Protección de intereses nacionales

Resguarda posibles derechos sobre recursos antárticos y participa en discusiones sobre su uso racional, protegiendo la economía peruana (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014). El estatus consultivo nos facilita la participación en discusiones sobre la conservación y uso racional de los recursos antárticos, en beneficio de la humanidad y del país.

Prestigio y cooperación internacional

Eleva el prestigio del Perú en la diplomacia polar, facilitando la cooperación con otros países y organismos internacionales (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.). Destaca al país demostrar su compromiso con la paz, la ciencia y la protección ambiental global.

Acceso a foros exclusivos

Nombra observadores y expertos en comités, accediendo a información privilegiada sobre actividades antárticas (Tratado Antártico, 1959).

Por estas razones, es importante que el Perú siga manteniendo el estatus de miembro consultivo, ya que le otorga, poder de decisión, capacidad de influencia, acceso a la cooperación científica y tecnológica, protección de los intereses nacionales y prestigio internacional; además, consolida su presencia activa y responsable en el

Continente Blanco, recayendo la responsabilidad de cumplir con los requerimientos establecidos por el citado tratado en el Ministerio de Relaciones Exteriores conjuntamente con la Marina de Guerra del Perú.

Conclusiones

La participación de la Marina de Guerra ha sido fundamental en la ejecución de expediciones científicas (ANTAR) desde 1988, liderando la instalación y operación de la Estación Científica Antártica “Machu Picchu” en la isla Rey Jorge. A través de la Dirección de Hidrografía y Navegación, ha desarrollado programas en oceanografía, meteorología, medio ambiente costero y geodesia, enfocado en el estrecho de Bransfield y la ensenada MacKellar. Buques como el B.I.C. “Humboldt” y B.A.P. “Carrasco” han proporcionado soporte logístico avanzado y han contribuido al conocimiento global del cambio climático, la corriente de Humboldt y el recurso del krill, en línea con el Objetivo Estratégico 2 de la Política Nacional Antártica (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

La Institución consolidó la presencia del Perú como parte consultiva del Tratado Antártico en 1989, al dar cumplimiento al Artículo IX, mediante las expediciones ANTAR I y II y la construcción de la Estación “Machu Picchu”. Esta condición asegura la participación en decisiones internacionales y la defensa de derechos históricos en un sector antártico (meridianos 84°-90° oeste), promoviendo la paz y la cooperación, en línea con el Objetivo Estratégico 1 de la Política Nacional Antártica (Tratado Antártico, 1959; Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

La Marina de Guerra apoya el Protocolo de Madrid (1991) mediante gestión ambiental en la Estación “Machu Picchu”, con estudios de línea base y la adopción de medidas, como incineradores y compactadoras, que preserva el ecosistema antártico y su influencia en los recursos marinos peruanos, conforme al Objetivo Estratégico 3 de la Política Nacional

Antártica (Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

Las operaciones en el paso Drake han fortalecido las capacidades de navegación polar de la Marina de Guerra, con entrenamiento en países como Argentina y Chile, y tecnología avanzada en el B.A.P. “Carrasco”. Su participación en foros como SCAR y COMNAP refuerza la cooperación internacional, cumpliendo con el Objetivo Estratégico 4 de la Política Nacional Antártica (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.; Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

La Marina de Guerra, promueve la valoración de la Antártida mediante publicaciones, como el *Atlas de Islas e Islotes*, y campañas de sensibilización, fomentando la identidad nacional como nación polar, en línea con el Objetivo Estratégico 5 de la Política Nacional Antártica (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.).

La Marina de Guerra protege los intereses económicos del Perú frente a la posible explotación de recursos antárticos, similares a los de los Andes, asegurando una voz en futuras revisiones del Protocolo de Madrid (post-2048), conforme a los fundamentos económico-estratégicos de la Política Nacional Antártica (Dirección de Hidrografía y Navegación, s.f.; Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú, 2014).

Referencias Bibliográficas

- Dirección de Hidrografía y Navegación. (s.f.). La Marina de Guerra del Perú en la Antártida. Marina de Guerra del Perú.
- Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú. (2014). Política Nacional Antártica (Decreto Supremo N° 014-2014-RE). <https://www.rree.gob.pe>
- Ministerio de Relaciones Exteriores de Argentina. (s.f.). Sobre la Antártida. <https://cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/divulgacion/sobre-la-antartida>
- Tratado Antártico. (1959). Tratado Antártico. https://www.ats.aq/documents/ATCM40/att/ATCM40_att012_s.pdf



Escuela de Hidrografía: Obtención del Certificado de Reconocimiento Categoría “A” en hidrografía al Programa de Oficiales Navales

C. de F. Christopher Serván Durán
cservan@dhn.mil.pe



La importancia de la Hidrografía para los estados se ha ido incrementando en los últimos años, debido al crecimiento de las actividades relacionadas a la seguridad de navegación marítima, comercio globalizado por vía marítima, la tendencia futura del empleo de vehículos autónomos marítimos, conservación de ecosistemas acuáticos, estudios hidrográficos y oceanográficos, gestión de riesgos naturales, gestión de recursos hídricos, etc. Para esto, se requiere la preparación de profesionales altamente calificados, con la finalidad que asuman los retos que demanda gestionar estos campos en el ámbito acuático, y la Escuela de Hidrografía contiene los programas académicos idóneos para cumplir con estos requerimientos.

The importance of Hydrography for the states has been increasing in recent years, due to the growth of activities related to maritime navigation safety, globalized trade by sea, conservation of aquatic ecosystems, hydrographic and oceanographic studies, natural risk management, water resources management, hydroelectric energy, urban planning, tourism, etc. Therefore, the preparation of highly qualified professionals is required, with the purpose of assuming the challenges that demand managing these fields in the aquatic environment, and the School of Hydrography contains the ideal academic programs to meet these requirements.

La misión de la Dirección de Hidrografía y Navegación es la de administrar, operar e investigar las actividades relacionadas a las ciencias del ambiente, en el ámbito acuático, con el fin de contribuir al desarrollo nacional, brindar apoyo y seguridad en la navegación a las Unidades Navales y a los navegantes en general y contribuir al cumplimiento de los objetivos institucionales. En los diversos campos que domina, como la hidrografía, oceanografía, cartografía, geomática, navegación y señalización náutica, gestión de riesgo de desastres, se requiere de profesionales altamente especializados que puedan obtener, analizar, procesar y desarrollar datos y productos que empleen los usuarios con la finalidad de facilitarles y proporcionarles contenido preciso y de calidad para los fines que estimen pertinentes.

Para ello, la Escuela de Hidrografía cuenta con 50 años de experiencia en la formación de personal superior y subalterno capaces de asumir los retos técnicos en los diversos campos de la Hidrografía y afines, además de contar con la certificación internacional de Categoría "A" en Hidrografía para el programa de oficiales, con la proyección de obtener una categoría equivalente para el programa dirigido al personal subalterno.

La rica historia de la Hidrografía en la Institución, que cuenta con 122 años, nos concientiza a valorar todo lo hecho desde sus inicios hasta nuestros tiempos, en la cual personajes importantes y generaciones de hidrógrafos se han encargado de construir el enorme prestigio de la Calificación.

Asimismo, los trabajos técnicos desarrollados han sido fundamentales para la toma de decisiones al más alto nivel, contribuyendo al desarrollo nacional y al empleo eficiente de las fuerzas navales. Su impacto se refleja en la planificación estratégica de Instituciones Estatales y de la Marina de Guerra del Perú, asegurando productos y servicios de alta calidad para navegantes y autoridades. Además, fortalecen la gestión de recursos marítimos, la cooperación con servicios

hidrográficos regionales y la representación del país en organismos internacionales, consolidando el papel del Perú en los asuntos marítimos y la seguridad en el ámbito naval.

Antecedentes y 50 aniversario de la Escuela de Hidrografía

La actividad hidrográfica tiene una historia que data de siglos atrás, donde los navegantes, a criterio propio, representaban gráficamente las cartas por donde iban a trazar sus derrotas de navegación. Estos criterios, en muchos casos estaban alejados de la realidad para plasmar los gráficos característicos de las costas y mares, sin considerar escalas para determinar las distancias y referencias.

Con la llegada de los españoles en el siglo XVI se iniciaron los trabajos de confección de cartas náuticas en el Perú, situación que con el tiempo se fue formalizando y profesionalizando, donde incluso hubo exploraciones en la región amazónica donde se percibió navegación fluvial a menor escala en los ríos caudalosos de dicha región.

Durante el siglo XIX, se inició la navegación práctica a vapor, que con los años mejoró y proliferó las actividades marítimas reduciendo los tiempos y haciendo que las travesías lleguen a más lugares, generando una mayor producción de cartografía náutica.

Uno de los registros hidrográficos más destacados del siglo XIX fue realizado por el Gran Almirante Miguel Grau en 1870, como comandante del "Huáscar". En Salaverry, ejecutó sondeos, análisis del fondo y caracterización del puerto, recomendando mejoras para su abrigo en un informe dirigido al Ministro de Guerra y Marina. Asimismo, otros marinos peruanos, con sus conocimientos en diferentes ramas de la ciencia, contribuyeron a profesionalizar el proceso cartográfico, logrando en el año de 1903, la creación de la Comisión Hidrográfica, iniciando oficialmente las actividades correspondientes a la Hidrografía en el Perú.

En 1904, el transporte Constitución fue designado para rectificar, mediante

observaciones astronómicas, las posiciones geográficas de ciudades y puntos conspicuos del litoral y ríos del oriente, mejorando la seguridad de la navegación. El 9 de setiembre, bajo el mando del Calm. Melitón Carvajal, iniciaron los trabajos en Chimbote y Supe, impulsados por la reorganización naval tras la Guerra del Pacífico.

Asimismo, la Comisión Hidrográfica cambia de nombre a la de Dirección de Hidrografía y Faros, debido a la inclusión de las funciones de Señalización Náutica Nacional, la cuál posteriormente se denomina Dirección de Hidrografía y Navegación. Todos estos ajustes se debieron al incremento de las actividades hidrográficas que no solo realizan el proceso cartográfico (hidrografía, cartografía, geomática y navegación) sino que también la de señalización náutica (los 4 primeros faros se instalaron en el año 1908) y el amplio espectro de la oceanografía física y química (los primeros cruceros se realizaron en 1958 a bordo del B.A.P. "Bondy"); dichas actividades demandaron la preparación técnica profesional de personal que la Institución tuvo a bien destacar en misión de estudios al extranjero, a oficiales que dieron inicio a la calificación en el año de 1968, y que dio como resultado la creación de la Oficina Académica dentro del organigrama de la Dirección de Hidrografía y Navegación en el año de 1974, donde se incorporaron oficiales de la primera promoción de la calificación de Hidrografía instruidos netamente en el Perú, continuando con la extraordinaria historia de la especialidad.

Las actividades hidrográficas se siguieron realizando a finales de los años 40's a bordo del B.A.P. "Bondy", que sirvió de plataforma para realizar los cruceros oceanográficos en la década de los 50's e inicios de los 60's, donde a partir de 1964 el buque hidrográfico designado para realizar dichos trabajos, era el antiguo y ya desaparecido B.A.P. "Unanue"; sin embargo, al crecer la necesidad de optimizar la cartografía náutica, en la década de los 80's, se incorporaron las unidades hidrográficas B.A.P. "Carrillo", B.A.P. "Melo" y la "Macha" y,



Transporte "Constitución" (1904).



B.A.P. "Bondy" (1958).



B.A.P. "Unanue" (1964).



B.A.P. "Carrasco" (2017).

Figura 1. Transporte "Constitución", B.A.P. "Bondy" y B.A.P. "Unanue", primeros buques que realizaron actividades hidrográficas; B.A.P. "Carrasco", buque oceanográfico polar adquirido en los últimos años.

en 1994, el B.A.P. "Zimic" (antes B.A.P. "Carrasco"), para realizar los trabajos en el litoral peruano y, en 1980 para los levantamientos fluviales en la región amazónica el B.A.P. "Stiglich". Todas estas plataformas vienen con el desarrollo y evolución tecnológica que la especialidad requiere, y que cada cierto tiempo se actualizan las capacitaciones en las diferentes áreas de la hidrografía, cartografía, oceanografía física y química, meteorología y más reciente la geomática y los sistemas de información geográfica, con la finalidad de brindar los mejores servicios y productos a las fuerzas navales y navegantes en general. No olvidemos la importante presencia en la ciudad de Iquitos con el Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía y la realización de las Campañas Científicas del Perú a la Antártida, que desde el año 2016 se vienen realizando a bordo del B.A.P. "Carrasco", buque científico considerado el más moderno de la región con capacidades técnicas-científicas, de propulsión, posicionamiento y bienestar de última generación.

Asimismo, personal de la Calificación de Hidrografía realiza importantes trabajos de interés nacional, tales como la determinación de Líneas de Alta Marea en el litoral, el monitoreo del fenómeno El Niño y la administración del Centro Nacional de Alerta de Tsunamis; asimismo, realiza estudios hidro-oceanográficos en diferentes áreas acuáticas, entre otros. Del mismo modo, contribuye al apoyo de la política exterior mediante trabajos técnicos de carácter sensible y reservado en las áreas acuáticas (marítima, fluvial y lacustre) de fronteras y límites, siendo un hito relevante la contribución del apoyo técnico para la Delimitación Marítima entre Perú y Chile, diferendo que resultó a favor del país. Cabe señalar que los oficiales hidrógrafos han representado de manera exitosa al Estado en diversos organismos, comisiones, seminarios y convenciones, entre otros, relacionados con la temática hidrográfica y, actualmente, oceanográfica a nivel mundial. Incluso, en la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), desde el año 2016, se cuenta con un oficial hidrógrafo permanente

ocupando un cargo en la Secretaría de dicha Organización, situación de gran importancia a nivel regional.

Todos estos trabajos engloban conocimientos en las ciencias del mar, de las cuales la Escuela de Hidrografía se encarga que su personal reciba la educación del más alto nivel, con cátedráticos de renombre y realizando las prácticas necesarias exigidas por la OHI, donde este organismo ha reconocido la certificación en Categoría "A" en Hidrografía al programa de estudios del personal superior a partir del 2024.

La Escuela dicta diversos cursos para el personal naval. Para el personal subalterno, ofrece programas de Perfeccionamiento Profesional Técnico (Avanzada) y especializaciones en Topografía Hidrográfica, Cartografía Náutica y Meteorología y Oceanografía Marina. Además, imparte cursos de capacitación para personal superior y subalterno, como Actualización de Cartas y Publicaciones Náuticas, Registro de Observaciones Meteorológicas, Manejo de Cartas

Electrónicas y Adquisición de Datos Océano-Meteorológicos. El curso de Elaboración de Pronósticos Meteorológicos, dirigido solo a personal superior; prepara a oficiales subalternos hidrógrafos para embarcarse en unidades de la Fuerza de Superficie, como el B.A.P. “Unión” y buques en operativos internacionales, donde cumplen funciones como Oficial METOC (Meteorology & Oceanography Officer), siguiendo doctrinas operativas similares a la Armada de EEUU; asimismo, la Escuela recibe a los Alumnos Básicos Hidrógrafos del CITEN en su tercer año, asegurando su formación técnica con cursos y prácticas especializadas.

En relación a las instalaciones de la Escuela, en sus inicios como Oficina Académica, ocupaba un pequeño espacio en la antigua Dirección de Hidrografía y Faros, que se ubicaba en el distrito de La Punta, actual sede de la Escuela Superior de Guerra Naval, y que de la mano con la Dirección de Hidrografía y Navegación, en la década de los ochenta se mudó a las actuales instalaciones en Chucuito, Callao donde fue ocupando diversos ambientes año tras año hasta que en el año 2010, después de que se incrementaron los distintos programas aca-

démicos dirigidos al personal superior y subalterno, cambió al nombre de Escuela de Hidrografía, ocupando instalaciones que cumplían hasta cierto punto con las necesidades académicas debido a la contaminación sonora en las cercanías. Sin embargo, la alta Dirección tuvo a bien destinar la reubicación de las instalaciones a un lugar idóneo, eligiendo el primer piso del edificio “A” de la Dirección de Hidrografía y Navegación, donde se realizaron obras de construcción para su modernización y adecuación con la finalidad de tener los ambientes óptimos a finales del año 2024.

Ambos acontecimientos, la obtención de la Categoría “A” en Hidrografía al programa de oficiales y la reubicación de las instalaciones de la Escuela de Hidrografía al primer piso del edificio “A” con ambientes modernos y adecuados para la instrucción, han coincidido con su 50 aniversario desde su creación, donde han egresado 40 promociones de calificación, 224 oficiales peruanos y 29 oficiales extranjeros de Armadas hermanas, entre las que se consideran a los países de Bolivia (12), Chile (2), Colombia (1), Ecuador (2), México (6), Nicaragua (1), Panamá (3) y Venezuela (2).

Obtención del Certificado Categoría “A” en Hidrografía al Programa de Oficiales

La OHI es una organización intergubernamental que trabaja para garantizar que todos los mares, océanos y aguas navegables del mundo sean objeto de levantamientos y cartografía. Establecida en 1921, coordina las actividades de los servicios hidrográficos nacionales y promueve la uniformidad en las cartas y documentos náuticos. Publica recomendaciones sobre las mejores prácticas en materia de levantamientos hidrográficos, proporciona directrices para maximizar el uso de los datos de levantamientos hidrográficos y desarrolla capacidades hidrográficas en los Estados miembros. Es así, que emite diversas normas técnicas y estándares, diseñados para los programas de formación académica necesarios para los hidrógrafos civiles y militares en sus diversos campos, siendo mejorados con el tiempo, llegándose a determinar dos categorías, Categoría “A” y “B”, y en ambos casos para la rama en Hidrografía y en Cartografía, dependiendo del desarrollo y exigencias en cada uno de los cuatro programas.



(1973)

Oficina Académica en la Dirección de Hidrografía y Faros en La Punta, Callao.



(2010)

Escuela de Hidrografía en las instalaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación en Chucuito, Callao.



(2024)



Ambientes renovados en el año 2024 ubicadas en el primer piso del edificio “A” de la Dirección de Hidrografía y Navegación.

Figura 2: Sedes de la Escuela de Hidrografía a través del tiempo.



Figura 3: Escudos de los organismos que integran el IBSC. (Federación Internacional de Geómetras, Organización Hidrográfica Internacional y la Asociación Cartográfica Internacional).

Las certificaciones de los programas inician en el año 1979, siendo el primero en obtenerla el Reino Unido con la Categoría “B” en Hidrografía, y Francia obtuvo la Categoría “A” en Hidrografía en 1980. El primer país de la región en obtener los certificados fue Chile, en Categoría “B” y “A” en Hidrografía en los años 1990 y 1991, respectivamente; le siguieron Brasil en 1993 con la Categoría “A” en Hidrografía y, en el año 1994 Perú obtuvo la Categoría “B” en Hidrografía. La vigencia de los certificados ha variado con el tiempo, al inicio, tenían una duración de 10 años, actualmente se les otorga una vigencia de 6 años para volver a sustentar los programas. El Programa Peruano para oficiales, inició su sustento para la Categoría “A” en Hidrografía en el 2018, ante el Consejo Internacional FIG/IHO/ICA sobre Normas de Competencia para Supervisores Hidrográficos y Cartógrafos Náuticos (IBSC - International Board on Standards of Competence for Hydrographic Surveyors and Nautical Cartographers), sin embargo, recibía observaciones constructivas que le demandó presentarse en cuatro oportunidades más, logrando la certificación deseada, en el 2024.

La Dirección de Hidrografía y Navegación dispuso conformar un Comité integrado por oficiales de diferentes áreas, expertos en los temas hidrográficos con la finalidad de preparar y gestionar toda la información requerida para elaborar el expediente de presentación del programa que fue sustentado ante el IBSC de la OHI, para esto, se tuvo que revisar a detalle las “Directrices para la Aplicación de las Normas de Competencia para los Peritos Hidrográficos y los Cartógrafos Náuticos”, que disponen del contenido que deben tener los expedientes

para sustentar los programas académicos de las diferentes categorías, así como las Normas de Competencia para Hidrógrafos de la Categoría “A” S-5A, que engloban el contenido de todas las asignaturas y el resultado de aprendizaje para cada tema y brinda indicaciones para los trabajos de levantamiento de fin del curso, que se denomina “Proyecto de Campo Multidisciplinario Complejo” (Complex Multidisciplinary Field Project – CMFP), siendo esta actividad, parte esencial al considerar que los oficiales alumnos ponen a prueba todos sus conocimientos impartidos en aulas, donde se evalúa su capacidad de planeamiento, preparación, análisis y comparación de datos para presentar un producto final.

La sinergia del comité arrojó muy buenos resultados, donde se logró actualizar y detallar cada tema de las asignaturas exigidas por las normas S-5A, que sirvió para actualizar en el sistema educativo Institucional, los nuevos sílabos del programa de la Calificación de Hidrografía del Personal Superior ante la Dirección General de Educación de la Marina, así como también, se recibió el apoyo de la alta dirección al atender los requerimientos de traducción y adecuación del formato APA, para que el producto final del expediente sea de alta calidad y poder enviarlo en los plazos establecidos por el Consejo Internacional; la satisfacción de este esfuerzo se vio reflejado al recibir oficialmente la notificación del IBSC al reconocer el Programa de Oficiales con la Certificación Categoría “A” en Hidrografía, con una vigencia de seis (6) años y siendo sujeto a una supervisión inopinada por parte del Consejo Internacional que lo otorga.

Es preciso señalar que, dentro del Comité dispuesto por la Dirección de Hidrografía y Navegación, se encuentra presente la Capitán de Fragata Rosa Acosta Urbina, oficial integrante de la Secretaría de la OHI con sede en Mónaco, cuya participación fue relevante para el logro obtenido, enfatizando así la importancia de mantener, permanentemente, ese puesto ante dicha Organización Internacional.

Conclusiones

La importancia de los servicios hidrográficos para los estados es notoria, debido a la cantidad de campos que abarcan como la seguridad de la navegación, gestión de recursos naturales, defensa y seguridad nacional, prevención de desastres naturales, así como en la investigación científica, planificación y desarrollo costero, representación y cumplimiento de obligaciones ante organismos internacionales, protección del medio ambiente, y su contribución al desarrollo económico.

La obtención de la certificación de Categoría “A” en Hidrografía para el programa de oficiales es un logro institucional, debido a que representa el prestigio del nivel educativo que recibe el personal superior que va a integrar las dotaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación, el Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía y las Unidades Hidrográficas que reflejen su óptimo desempeño en los cargos que ostenten en el ámbito hidrográfico, como en otras dependencias y unidades que la Marina de Guerra del Perú los designe, ampliando sus capacidades para crear, evaluar, analizar, aplicar, comprender y recordar diferentes situaciones.



Hidromorfología fluvial y gestión del riesgo en el meandro de Parahuashá



C. de F. Luis Gutierrez Bao
lgutierrez@dhn.mil.pe

El río Ucayali, en el tramo urbano de Pucallpa, presenta una dinámica meandriforme activa que, en el meandro de Parahuashá, evidencia un proceso avanzado de migración lateral con potencial rompimiento del mismo (cutoff). Este artículo expone el marco técnico de la hidromorfología fluvial aplicado al caso de Parahuashá y describe los trabajos que viene ejecutando el Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonia para evaluar, modelar y mitigar los riesgos asociados, en beneficio directo de la población, la navegación y la infraestructura ribereña.

The Ucayali River, along the urban reach of Pucallpa, exhibits an active meandering dynamic which, at the Parahuashá meander, shows an advanced process of lateral migration with potential cutoff occurrence. This article presents the technical framework of fluvial hydromorphology applied to the Parahuashá case and describes the actions currently being carried out by the Amazon Hydrography and Navigation Service to assess, model, and mitigate the associated risks, providing direct benefits to the local population, navigation, and riparian infrastructure.

En la Amazonía, los ríos aluviales se caracterizan por tener altas tasas de transporte de sedimentos, amplias llanuras de inundación y cauces meandri-formes y multicanal en permanente ajuste, esto se agudiza más en el río Ucayali al tener un comportamiento meandri-forme, siendo el río más dinámico de la Amazonía peruana (Chicchon y Abad, 2025). El tramo del río Ucayali comprendido entre los tributarios Pachitea y Aguaytía, es uno de los tramos más dinámicos de todo el río Ucayali, es allí, donde la ciudad de Pucallpa se encuentra localizada (Chicchon y Abad, 2025).

En entornos urbanos como Pucallpa, esta dinámica natural puede transformarse en riesgo cuando la migración del cauce amenaza viviendas, servicios básicos, defensas ribereñas, la seguridad de la navegación y, sobre todo, gran parte del abastecimiento que recibe la ciudad de Iquitos y muchos poblados amazónicos, donde Pucallpa es un *hub* logístico para la región.

El meandro de Parahuashá constituye un punto crítico donde la estrechez del cuello del meandro y la concentración del flujo durante crecientes incrementan la probabilidad de un cambio abrupto en la morfología del río. Figura 1.

Hidromorfología y rompimiento de meandros

La hidromorfología fluvial integra la hidrodinámica (caudales, velocidades, esfuerzos cortantes) con el transporte de sedimentos para explicar la forma y evolución del cauce de un río.

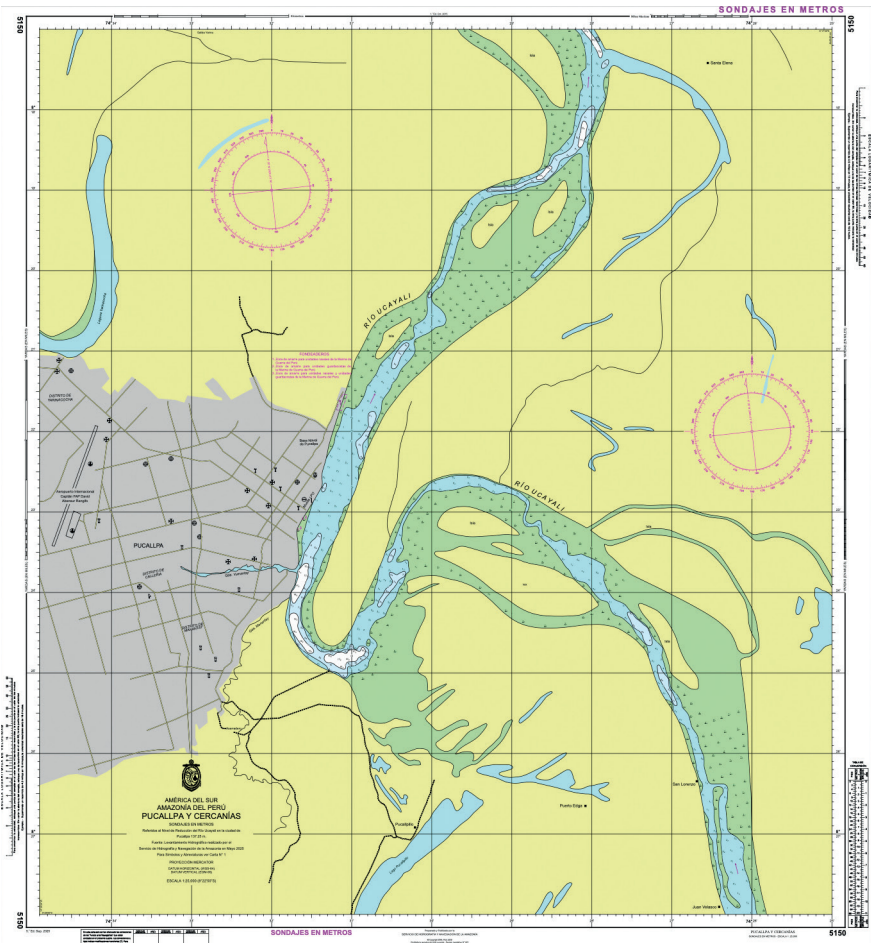


Figura 1. Portulano de Pucallpa 5° Edición, Setiembre 2025. Fuente: Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía.

En meandros activos, la erosión en la margen externa y la deposición de sedimentos en la margen interna generan migración lateral progresiva. Cuando la distancia entre tramos del meandro se reduce, pueden ocurrir dos mecanismos: corte de estrangulamiento (*neck cutoff*) o corte por atajo (*chute cutoff*), eventos usualmente relacionados a condiciones de creciente. Figura 2.

En Parahuashá se observan indicadores hidromorfológicos consistentes con un sistema cercano al corte de meandro: acercamiento de márgenes opuestas, y desplazamiento del *thalweg* hacia la ribera externa (Figura 3). Un rompimiento del meandro podría generar la redirección del flujo principal hacia zonas habitadas, alterar niveles de inundación locales, y afectar

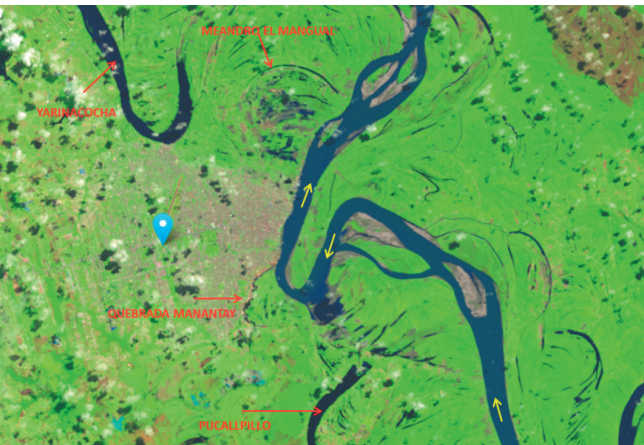


Figura 2. Imagen satelital del río Ucayali en la ciudad de Pucallpa. Fuente: Google Earth



Figura 3. Imagen satelital del meandro de Parahuashá. Fuente: Copernicus Browser.

la navegabilidad por cambios súbitos en profundidades y alineamientos del canal aunado a problemas de abastecimiento logístico en Iquitos y poblados de las riberas.

Intervención técnica del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía

En respuesta a esta problemática, la Dirección de Hidrografía y Navegación firmó un Convenio Específico con el Gobierno Regional de Ucayali para que el Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía desarrolle estudios hidromorfológicos integrales, tanto en vaciante como en creciente, orientados a la prevención y gestión del riesgo, con un enfoque eminentemente técnico y de servicio público (Figura 4). Las acciones principales comprenden levantamientos batimétricos con tecnología monohaz y multihaz en sectores críticos para definir la batimetría del río, identificar el thalweg y evaluar zonas de erosión y sedimentación, así como, topografía de riberas y planicie de inundación mediante dron, que permite cuantificar la migración de márgenes y el estrangulamiento del meandro (Figura 5). Igualmente, se realizaron mediciones de aforos líquidos y sólidos, fundamentales para describir al caudal líquido, estimar la capacidad erosiva del flujo y la dinámica del transporte de sedimentos en escenarios de vaciante y creciente, aunado a un análisis multitemporal (hidrológico y geomorfológico) que permite describir la dinámica planimétrica del río Ucayali, desde 1986 a la fecha. Adicionalmente, se está desarrollando una modelación matemática hidrogeomorfológica, con el objetivo de simular escenarios de evolución del meandro y estimar la probabilidad temporal de un corte de meandro.

Estos trabajos se ejecutan por etapas (vaciante y creciente), asegurando una representación realista del comportamiento estacional del Ucayali y proporcionando insumos técnicos confiables, así como un informe final, la presentación de un modelo numérico desarrollado por REDYAKU (coordinado por el Dr. Jorge D. Abad), para una mejor toma de decisiones (Figura 6). Actualmente, se han completado los trabajos de campo en la época de vaciante de



Figura 4. Jefe de Brigada supervisando labores de campo. Fuente: Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía.

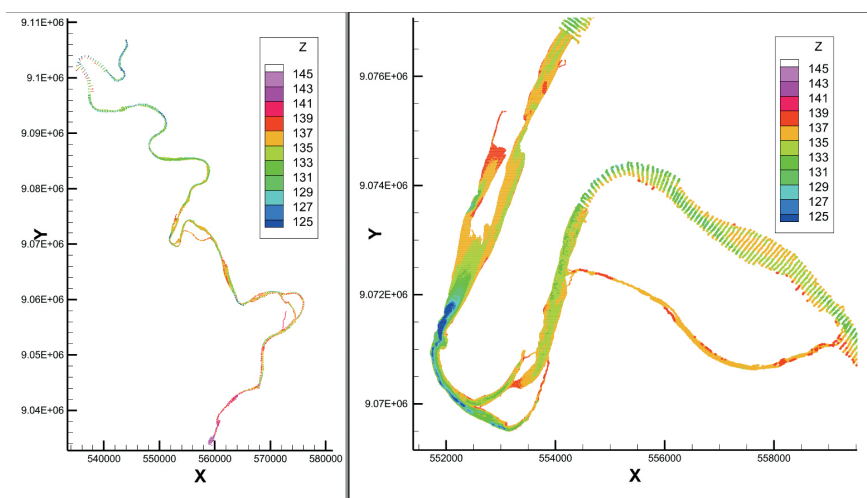


Figura 5. Mediciones batimétricas en época de vaciante, 2025. Fuente: Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía.

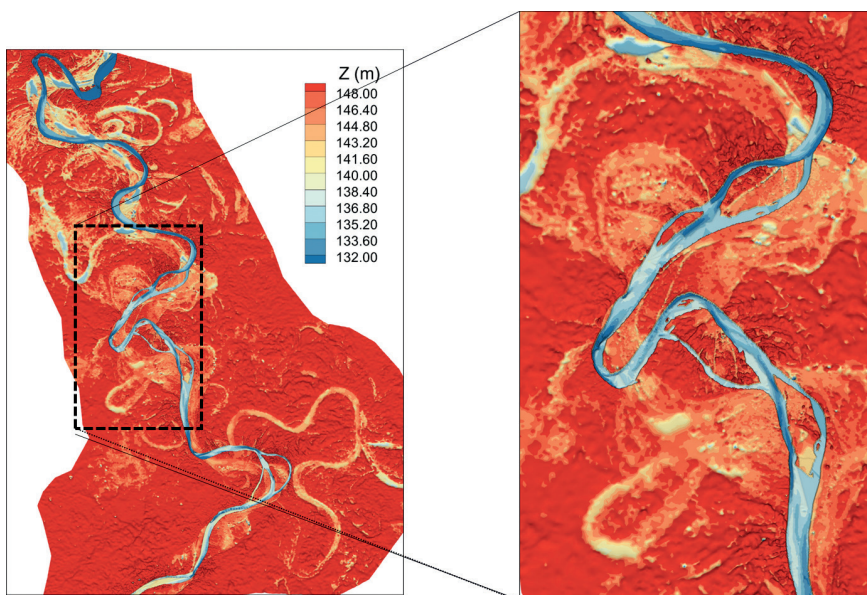


Figura 6. Modelo de Elevación Digital, 2012 combinado con la batimetría medida para vaciante 2025. Fuente: REDYAKU (2025).

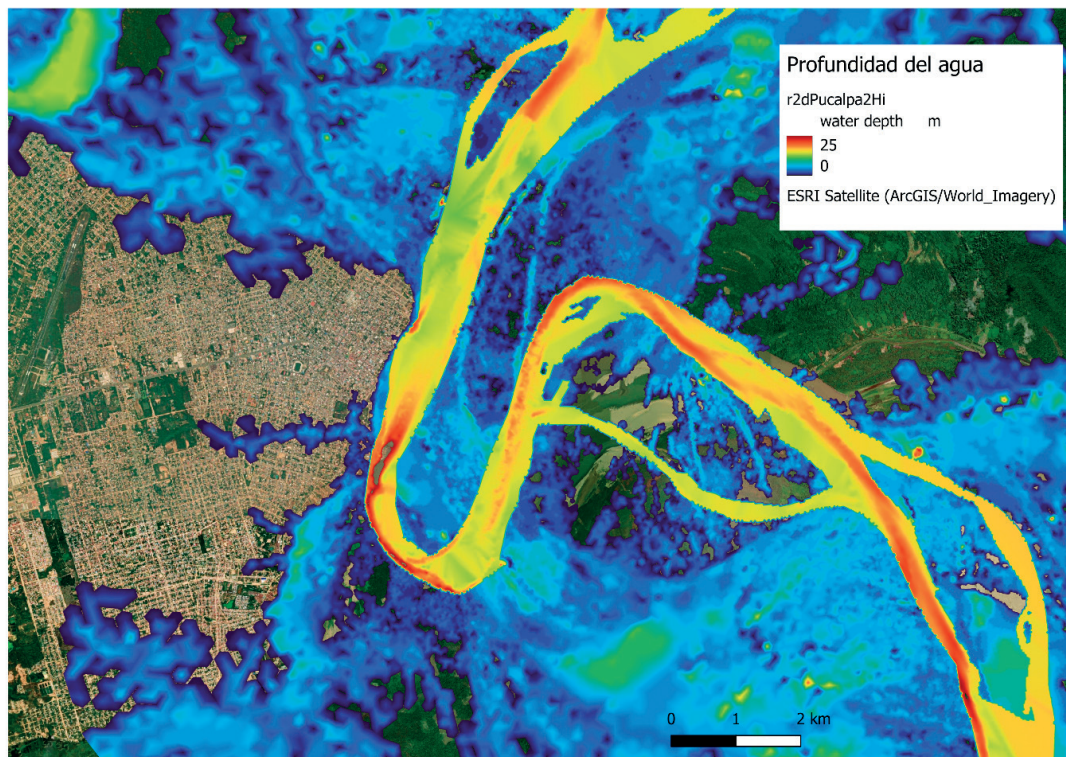


Figura 7. Predicción de la inundación para condiciones de máxima extrema (similares a creciente 2025). Fuente: REDYAKU (2025).

manera satisfactoria y se ha desarrollado la validación de este modelo; asimismo, se ha extrapolado cuales serían las condiciones de máxima crecida de presentarse el 2026. Se observa que, en base a las simulaciones, extensas áreas serán inundadas, siendo necesario tomar las respectivas medidas (Figura 7).

Beneficios para la población y la gestión pública

Los estudios permiten anticipar escenarios de riesgo, sustentar medidas de protección ribereña, orientar la planificación urbana y preservar la seguridad de la navegación fluvial, donde se podrán tener escenarios a largo plazo y poder tomar una mejor decisión. De este modo, la hidrografía aplicada se consolida como una herramienta clave para la reducción del riesgo de desas-



Figura 8. Personal técnico realizando labores con dron topográfico. Fuente: Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía.

tres, la protección de vidas y bienes, y el desarrollo sostenible de Pucallpa y del abastecimiento logístico de toda la Amazonía (Figura 8).

Conclusiones

El posible rompimiento del meandro de Parahuashá es un proceso natural propio de ríos meandriformes, pero con

consecuencias potencialmente severas en un entorno urbano. La intervención técnica del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía, basada en principios de hidromorfología fluvial, constituye una acción preventiva estratégica que fortalece la gestión del riesgo y demuestra el rol del Estado en la protección de la población ribereña y la infraestructura fluvial.

Referencias Bibliográficas

- CENEPRED – IGP (2023). Análisis hidrofluvial del cauce del río Ucayali en el sector Pucallpa–Parahuashá.
- Charlton, R. (2008). Fundamentals of Fluvial Geomorphology. Routledge.
- Chicchon, H., Abad, J. D. (2025). Peruvian Amazon Waterway, river dynamics and shallow zones. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 151 (5). <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JWPED5.WWENG-2237>
- Hooke, J. (2003). River meander behaviour and instability. Progress in Physical Geography.
- REDYAKU (2025). Informe final servicio de caracterización hidrogeomorfológica en condiciones de vaciante 2025 y proyección del flujo para creciente histórica del río Ucayali en la zona de la ciudad de Pucallpa. Gobierno Regional de Ucayali.



Estudio del Seiche en el Lago Titicaca en julio del 2019

Tte Fgta. Cgon. Kevin Silva Mallea



Msc. Marco A. Velayarce Bazán
Velayarcemarco@gmail.com



El presente estudio analiza el comportamiento hidrodinámico de los seiches en el lago Titicaca y su relación con factores meteorológicos, como el viento y la presión atmosférica. Los seiches son fenómenos de oscilación estacionaria que juegan un papel crucial en la dinámica de grandes cuerpos de agua, afectando la redistribución de masas, el transporte de sedimentos y los intercambios térmicos. Mediante la aplicación del modelo hidrodinámico Delft3D, se evaluó cómo las variaciones en la dirección e intensidad del viento inducen respuestas oscilatorias de diferente magnitud y frecuencia. Los resultados confirman la presencia de modos fundamentales de oscilación, con periodos entre 2 y 3 horas, generados principalmente por vientos del cuadrante noroeste. Este comportamiento evidencia la naturaleza resonante del lago Titicaca y su sensibilidad ante perturbaciones atmosféricas, aportando información relevante para la gestión lacustre y la seguridad en la navegación.

This study analyzes the hydrodynamic behavior of seiches in lake Titicaca and their relationship with meteorological factors such as wind and atmospheric pressure. Seiches are stationary oscillation phenomena that play a crucial role in the dynamics of large bodies of water, affecting mass redistribution, sediment transport, and heat exchange. Using the Delft3D hydrodynamic model, we evaluated how variations in wind direction and intensity induce oscillatory responses of different magnitudes and frequencies. The results confirm the presence of fundamental oscillation modes with periods between 2 and 3 hours, generated primarily by winds from the northwest quadrant. This behavior demonstrates the resonant nature of Lake Titicaca and its sensitivity to atmospheric disturbances, providing relevant information for lake management and navigational safety.

Metodología

El estudio se desarrolló mediante modelado numérico empleando el módulo Delft3D-FLOW, utilizando información batimétrica y meteorológica proveniente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y de la Autoridad Binacional del lago Titicaca (ALT). Delft3D-FLOW es un modelo hidrodinámico numérico ampliamente utilizado para simular el comportamiento de cuerpos de agua; resuelve las ecuaciones de aguas someras bajo condiciones no estacionarias, lo que permite representar procesos como corrientes, variaciones del nivel y oscilaciones tipo seiche.

Datos utilizados

Para la construcción del dominio numérico, se emplearon datos batimétricos proporcionados por la ALT, con una resolución espacial aproximada de 30 m, los cuales fueron interpolados a una malla cartesiana regular con el fin de representar adecuadamente la morfología del lago mayor del Titicaca.

Los datos meteorológicos (viento y presión atmosférica) provienen del SENAMHI, con una frecuencia temporal horaria, lo que permite capturar adecuadamente la variabilidad del evento eólico registrado entre el 23 y el 26 de julio de 2019.

Configuración del modelo

El dominio de simulación abarcó el lago mayor del Titicaca, discretizado mediante una malla cartesiana de alta resolución, adecuada para representar gradientes hidrodinámicos y variaciones espaciales del nivel de agua. El viento se aplicó como forzante superficial, reproduciendo el evento real ocurrido entre el 23 y el 26 de julio de 2019, donde se registraron ráfagas superiores a 12 m/s. La simulación se ejecutó bajo condiciones hidrodinámicas no estacionarias, resolviendo las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento.

Limitaciones y validación indirecta

Ante la falta de registros sub-horarios del nivel del lago, la validación se realizó mediante:

- Comparación periodo Merian vs. espectros del modelo
- Estructura espacial del modo fundamental;
- Correspondencia entre el máximo de viento y la oscilación barotrópica.

Fases del proceso metodológico

El procedimiento general comprendió tres etapas principales:

- Compilación e integración de datos batimétricos y meteorológicos, incluyendo verificación de consistencia y preparación de archivos de entrada.
- Configuración y validación del modelo, ajustando parámetros numéricos y garantizando la estabilidad del dominio de cálculo.
- Análisis espectral y temporal de las series simuladas de nivel del agua, con el fin de identificar los modos de oscilación, los períodos característicos y la relación de fase entre puntos opuestos del lago.

Resultados

La simulación hidrodinámica mostró que el viento generó un desplazamiento inicial de la masa de agua hacia el sur del lago Titicaca, produciendo un gradiente de nivel con acumulación en dicho sector y una depresión en la zona norte. Durante esta etapa, las corrientes superficiales se orientaron según la dirección del viento predominante, mientras que en profundidad se estableció un flujo de retorno en sentido opuesto, configurando una circulación barotrópica típica de eventos de empuje eólico en cuencas cerradas.

Fase de máximo empuje

Durante la persistencia del viento, la acumulación de agua en el sur del lago se intensificó, alcanzando el máximo gradiente de nivel del evento. Esta fase se caracterizó por velocidades más elevadas concentradas en el eje central del lago mayor, resultado de la interacción entre el forzamiento eólico sostenido y la morfología alargada del cuerpo de agua. El incremento de nivel en el extremo sur y la depresión en el norte constituyen la firma hidrodinámica del empuje máximo previo a la inversión del flujo (Figura 1).

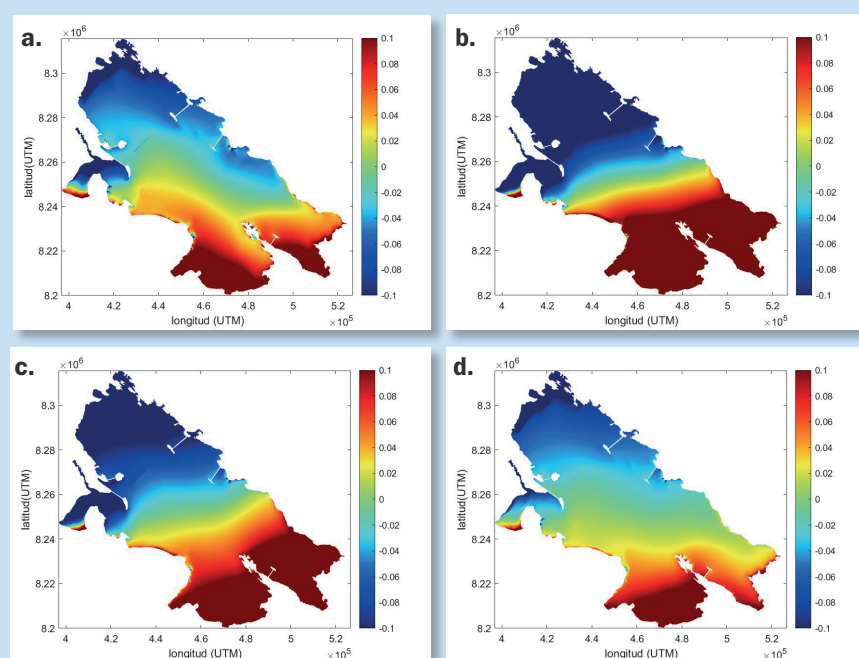


Figura 1. Variaciones del nivel del lago entre las horas del 24 de julio.

Fase de inversión y oscilación libre (inicio del seiche)

Una vez que el viento cesó, la masa de agua acumulada en el sur comenzó a desplazarse hacia el norte por acción de la restitución gravitacional. Este movimiento marcó el inicio de oscilaciones libres características de un seiche longitudinal, evidenciadas por un cambio de polaridad en el gradiente de nivel. El análisis temporal permitió identificar la formación de un nodo en la parte central del lago y antinodos en ambos extremos, consistente con el modo fundamental de oscilación de una cuenca elongada como el Titicaca.

Fase de amortiguamiento

En esta etapa, la amplitud de las oscilaciones disminuyó gradualmente debido a la disipación de energía por fricción interna, rozamiento con el fondo y pérdidas en zonas someras. El sistema tendió a un nuevo equilibrio hidrodinámico, presentando únicamente movimientos residuales de baja amplitud. Este comportamiento confirma la respuesta natural de la cuenca ante perturbaciones impulsivas, así como la influencia de las características morfométricas del lago en la atenuación del seiche.

Análisis espectral de las oscilaciones y relación de la dinámica con el lago

El análisis espectral de las series de nivel en puntos opuestos del lago mayor, como Copacabana y Koasia, mostró un pico energético dominante entre 2 y 3 horas, correspondiente al modo fundamental de seiche longitudinal. Este pico indica que el lago Titicaca posee una resonancia natural en este intervalo de frecuencias, lo que facilita la acumulación de energía y la amplificación de las oscilaciones cuando se presentan vientos predominantes del cuadrante noroeste. Esta condición resonante explica por qué incluso eventos de viento de corta duración pueden inducir oscilaciones de magnitud significativa y persistencia temporal.

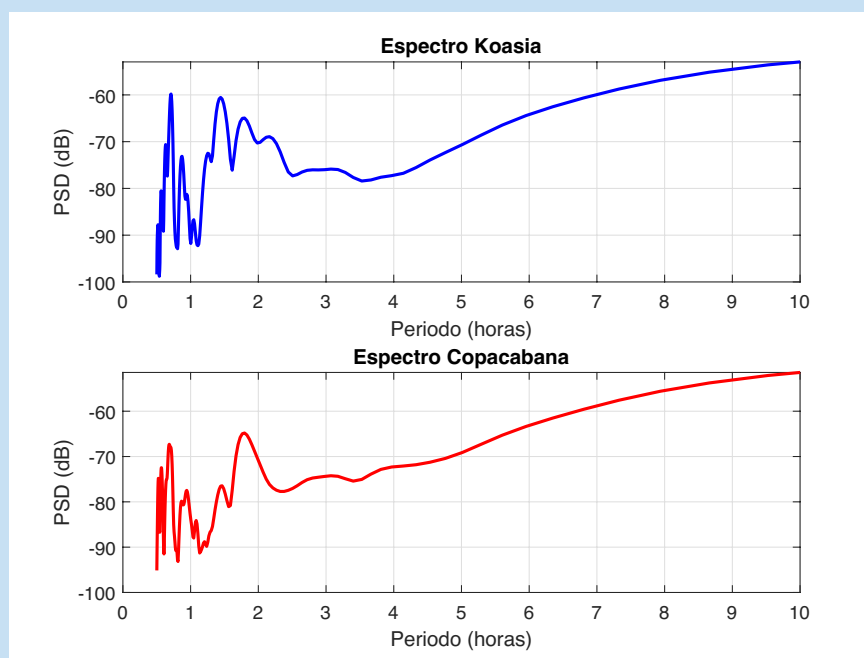


Figura 2. Espectros de densidad de potencia de las oscilaciones del nivel de agua en puntos opuestos del lago mayor.

La energía fue mayor en el extremo norte, lo que evidencia una asimetría energética relacionada con la batimetría y la forma del lago. Los picos secundarios identificados podrían corresponder a modos superiores de oscilación o a interacciones con el lago menor a través del estrecho de Tiquina (Figura 2).

Relación espacial y temporal entre puntos de observación

La comparación entre las series de Copacabana y Contra Copacabana mostró variaciones de nivel opuestas, confirmando la presencia de un modo fundamental de seiche con antinodos en los extremos y nodo central (Figura 3).

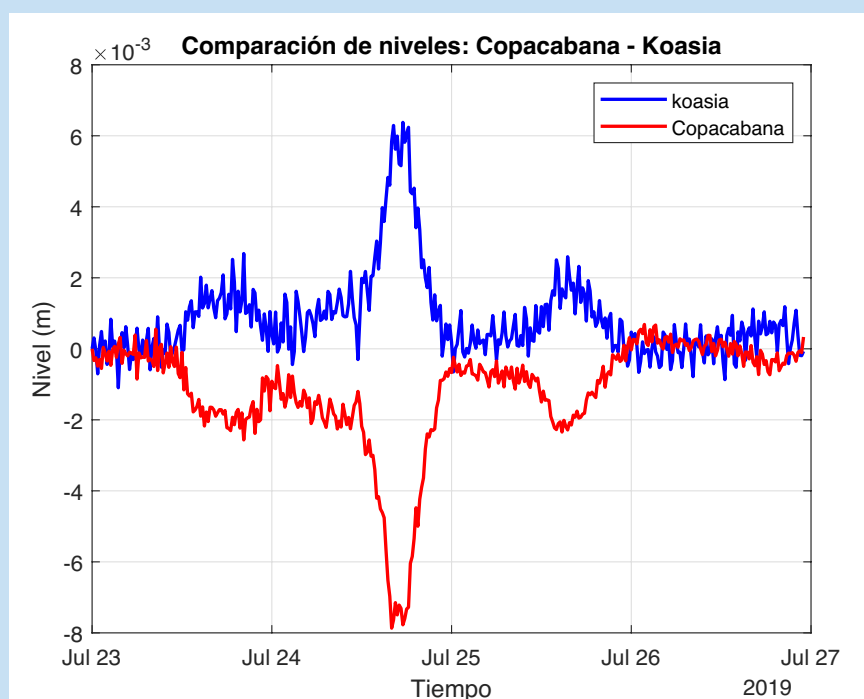


Figura 3. Diferencias de nivel entre Copacabana y Koasia y comparación de niveles entre las mismas. Se observa la diferencia de fase entre ambas series temporales.

El sistema mantiene oscilaciones libres amortiguadas tras el cese del viento, lo que indica que el lago almacena y libera energía hidrodinámica de forma gradual.

Análisis de coherencia y fase

La coherencia espectral en el rango dominante de 2 a 3 horas fue alta, mientras que la fase se mantuvo cercana a 180° , indicando una relación en contrafase entre los puntos analizados. Esto confirma que ambos extremos del lago se comportan como antinodos del modo fundamental, validando la estructura nodal obtenida en las simulaciones hidrodinámicas (Figura 4).

Evolución temporal del seiche

La serie temporal de diferencias de nivel entre Copacabana y Koasia mostró oscilaciones alternantes alrededor del cero, con amplitudes máximas del orden de 0.25 m, coherentes con el período identificado en el análisis espectral. Aunque esta amplitud pueda parecer moderada en relación con la escala del lago Titicaca, constituye una señal hidrodinámicamente significativa, ya que puede modificar la circulación interna del lago, influir en el intercambio vertical de masas de agua y afectar operaciones lacustres sensibles, como la estabilidad de infraestructura flotante y las maniobras de navegación en zonas someras.

Este comportamiento representa la manifestación directa del seiche longitudinal reproducido por el modelo Delft3D (Figura 5).

Implicancias para la gestión lacustre y la navegación

Los resultados obtenidos permiten establecer una conexión directa entre la dinámica de los seiches y la gestión operativa del lago Titicaca. Las oscilaciones de 2–3 horas y amplitudes cercanas a 0.25 m pueden afectar la estabilidad de la infraestructura lacustre, como muelles flotantes, embarcaderos y estructuras de captación de agua. Asimismo, la ubicación de antinodos y las variaciones abruptas del nivel del agua en los extremos del lago son relevantes para la seguridad de la navegación, especialmente durante o tras eventos de viento intenso.

Por tanto, la comprensión detallada de los seiches en el lago Titicaca contribuye a mejorar la planificación, operación y mitigación de riesgos hidrodinámicos, proporcionando información clave para la toma de decisiones por parte de autoridades portuarias y entidades de gestión lacustre.

Conclusiones

El estudio demostró que el lago Titicaca responde de manera resonante ante eventos de viento intenso, generando oscilaciones estacionarias (seiches) de tipo longitudinal con períodos característicos entre 2 y 3 horas. Las simulaciones realizadas con Delft3D-FLOW reprodujeron con consistencia física la secuencia hidrodinámica del fenómeno, incluyendo el empuje eólico inicial, la inversión del flujo, las oscilaciones libres y la fase de amortiguamiento.

El análisis espectral confirmó la presencia de un modo fundamental con antinodos en los extremos y un nodo central, coherente con la morfología alargada del lago mayor. La amplitud máxima de aproximadamente 0.25 m constituye una variación significativa dentro del sistema, capaz de modificar la circulación interna y los gradientes

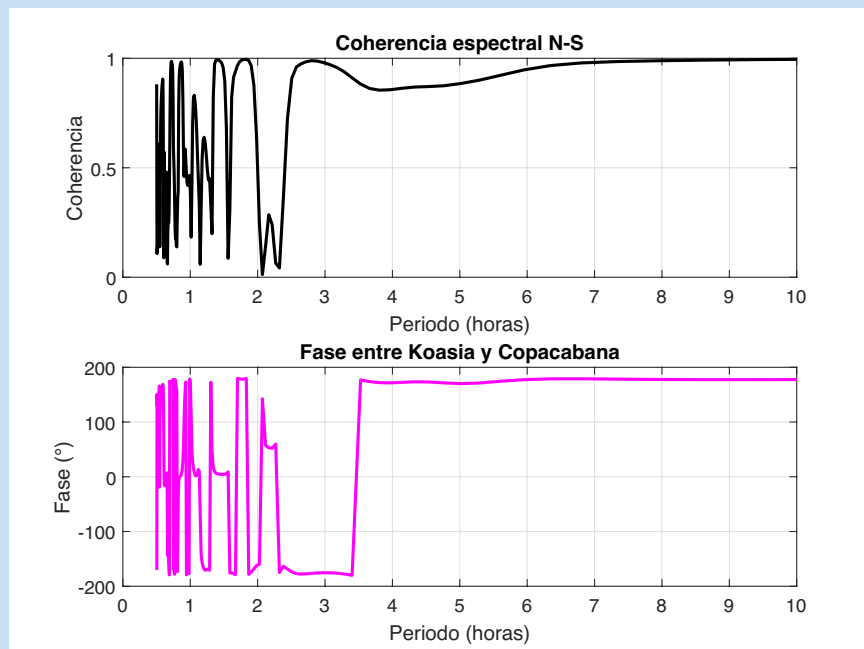


Figura 4. Coherencia espectral y fase entre Copacabana y Koasia mostrando el comportamiento de las oscilaciones en contrafase entre ambos puntos.

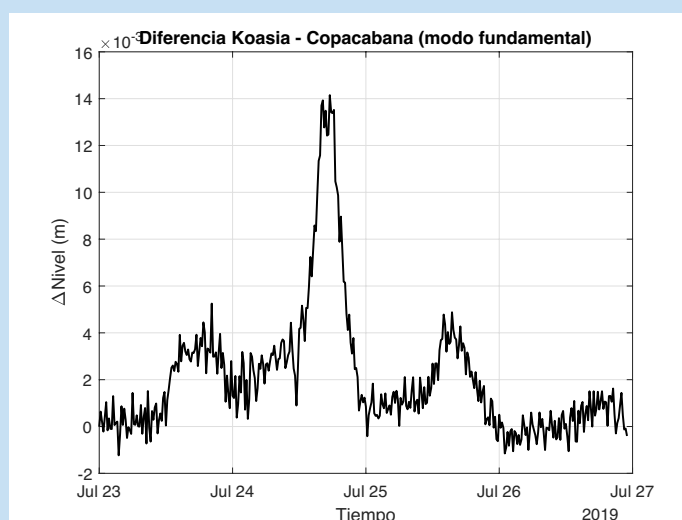


Figura 5. Diferencia de niveles entre Copacabana y Koasia.

de nivel en escalas relevantes para la operación lacustre.

Desde una perspectiva práctica, estos resultados aportan información clave para la gestión del lago y la planificación de infraestructura costera, ya que las oscilaciones del nivel del agua pueden afectar la estabilidad de muelles flotantes, embarcaderos, estaciones de bombeo y sistemas de captación. Asimismo, la identificación de zonas donde se localizan los antinodos permite anticipar condiciones de mayor variabilidad del nivel,

relevantes para la seguridad de la navegación y la operación de embarcaciones, especialmente durante o después de eventos meteorológicos intensos.

En conjunto, la caracterización detallada del seiche longitudinal contribuye a mejorar la evaluación de riesgos hidrodinámicos y proporciona elementos técnicos que pueden ser utilizados por administradores, autoridades portuarias y entidades responsables de la gestión integral del lago Titicaca.

En síntesis, este estudio no solo profundiza en la dinámica interna del lago Titicaca, sino que también proporciona herramientas aplicables a la planificación costera, la gestión de infraestructura flotante y la evaluación de riesgos asociados a fluctuaciones del nivel del agua. Estos resultados pueden ser utilizados por entidades responsables del manejo del lago para optimizar estrategias de monitoreo, incrementar la seguridad de la navegación y mejorar la resiliencia de las obras lacustres frente a eventos meteorológicos intensos.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre, C. (2017). Procesos físicos que controlan el intercambio de agua entre la Bahía de Puno y la Cuenca Principal del Lago Titicaca, en el Perú. *Revista de Investigación de Física*, 20(2), 17–24. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Funcionamiento limnológico y fotobiología del Lago Titicaca. Institut de Recherche pour le Développement. Wilson, B. W. (1972). Seiches. Consulting Oceanographic Engineer, Pasadena, CA. Deltares. (2003). Delft3D Flexible Mesh Suite – User Manual.
- Garreaud, R. D., Vuille, M., & Clement, A. C. (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 5–22.
- Mortimer, C. H. (2004). Lake Erie seiches and their effects on coastal processes. *Journal of Great Lakes Research*, 30(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(04\)70373-7](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(04)70373-7)
- Rabinovich, A. B. (2009). Seiches and harbor oscillations. In *Handbook of coastal and ocean engineering*. World Scientific, 193–236.
- Monserrat, S., Vilibic, I., & Rabinovich, A. B. (2006).
- SENAMHI. (2019). Reportes hidrológicos y meteorológicos del Lago Titicaca durante el invierno de 2019. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Lima, Perú.





Análisis estadístico de los Avisos de Oleaje Anómalo en el litoral peruano



Ing. Biby Ann Tenaud Jo
bitemaudj@gmail.com

El oleaje anómalo, definido como el impacto de la energía de las olas que se transfiere desde el océano abierto hacia las zonas costeras, generando alturas superiores a las condiciones normales (Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú [DIHIDRONAV], 2021), es monitoreado por la DIHIDRONAV, entidad encargada de emitir avisos oportunos con el fin de alertar a la población costera y reducir los impactos en las actividades marítimas del país. El presente artículo desarrolla un análisis estadístico descriptivo de los avisos especiales de oleaje anómalo emitidos durante el periodo 2013–2024, con el propósito de identificar patrones temporales y áreas de mayor incidencia. Se analizaron 681 avisos de oleaje anómalo emitidos en el periodo de estudio, observándose una tendencia creciente en su número y duración. A lo largo del litoral peruano, los oleajes ligeros fueron los más frecuentes y predominó la influencia del Océano Pacífico sur, especialmente durante las estaciones de otoño e invierno del hemisferio sur. El litoral centro registró la mayor cantidad de avisos emitidos, seguido del litoral sur, siendo zonas con mayor exposición y con presencia de oleajes que alcanzaron la categoría de muy fuertes. Estos resultados aportan información relevante para la gestión y prevención de riesgos en la seguridad marítima nacional.

Anomalous wave conditions, defined as the transfer of wave energy from the open ocean toward coastal zones that generates heights above normal conditions (Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú [DIHIDRONAV], 2021), are monitored by DIHIDRONAV, the institution responsible for issuing timely marine advisories to alert coastal populations and mitigate impacts on maritime activities. This study presents a descriptive statistical analysis of abnormal wave advisories issued between 2013 and 2024, aiming to identify temporal patterns and areas of greater incidence. A total of 681 advisories were analyzed, revealing an increasing trend in both frequency and duration. Along the Peruvian coast, light wave events were the most frequent, dominated by swells from the southern Pacific Ocean, particularly during the autumn and winter seasons of the Southern Hemisphere. The central coast recorded the highest number of advisories, followed by the southern coast, both characterized by greater exposure and the occurrence of wave events reaching the very strong category. These findings contribute valuable information for improving risk management and maritime safety at the national level.

El litoral peruano, por su ubicación frente al océano Pacífico, se encuentra expuesto a fenómenos océano-meteorológicos, que pueden modificar significativamente las condiciones del estado del mar. Entre estos destacan los oleajes anómalos, generados principalmente en las altas latitudes del Pacífico, donde los vientos intensos originan olas de gran longitud y periodo, que se propagan hasta las costas del Perú (Mognard et al., 1984). Estos eventos suelen ocasionar el cierre de puertos, la suspensión de actividades marítimas y, en algunos casos, daños materiales en la infraestructura costera.

En el ámbito nacional, la DIHIDRONAV es la entidad responsable de la elaboración y difusión de avisos especiales de oleajes anómalos, los cuales constituyen pronósticos de condiciones extremas que pueden afectar la seguridad de las operaciones marítimas, tanto en alta mar como en zonas costeras (DIHIDRONAV, 2021). Estos avisos representan una herramienta fundamental para la prevención y mitigación de riesgos asociados al estado del mar.

El presente artículo tiene como objetivo analizar la estadística de los

avisos de oleajes anómalos emitidos para el litoral peruano durante los últimos años, con el fin de identificar sus principales tendencias temporales y espaciales.

Metodología

Se analizaron los avisos especiales de oleaje emitidos por la DIHIDRONAV, y se recopiló información sobre la fecha de inicio y fin de cada evento, la categoría del oleaje (ligero, moderado, fuerte o muy fuerte) y la zona geográfica afectada, segmentada en litoral norte, centro y sur; esta información permitió caracterizar cada evento registrado. El periodo de estudio abarca desde 2013 hasta 2024. Se aplicó un proceso de normalización de los registros archivados, que incluyó la estandarización del formato de fechas (dd/mm/aaaa), la verificación de intervalos temporales, el tratamiento de valores faltantes o incompletos mediante estimación o eliminación de registros, la unificación de nomenclaturas para el origen de los oleajes anómalos (por ejemplo, SW y NW), y la validación de las categorías establecidas, conservando únicamente los registros consistentes. Posteriormente, se integró la información mediante claves

de identificación (como el número de aviso), lo que permitió asociar atributos específicos, como la duración, el origen y la categoría de cada oleaje anómalo. El análisis estadístico descriptivo se realizó utilizando Microsoft Excel, a través del cálculo de frecuencias, porcentajes y distribución temporal y espacial de los avisos.

Resultados

Análisis general de los avisos de oleajes anómalos emitidos para el litoral peruano

Durante el periodo de análisis (2013–2024) se emitieron un total de 681 avisos especiales de oleaje emitidos por la DIHIDRONAV, con un promedio anual de 57 avisos. La duración total promedio de los eventos de oleaje por año fue de 226 días, y se registraron un mínimo de 155 días en total en el 2015 y un máximo de 281 días en total en el 2023. En general, se observa una tendencia creciente tanto en el número de avisos emitidos como en la duración total de los eventos de oleaje anómalo durante los últimos años del periodo de estudio (Figura 1).

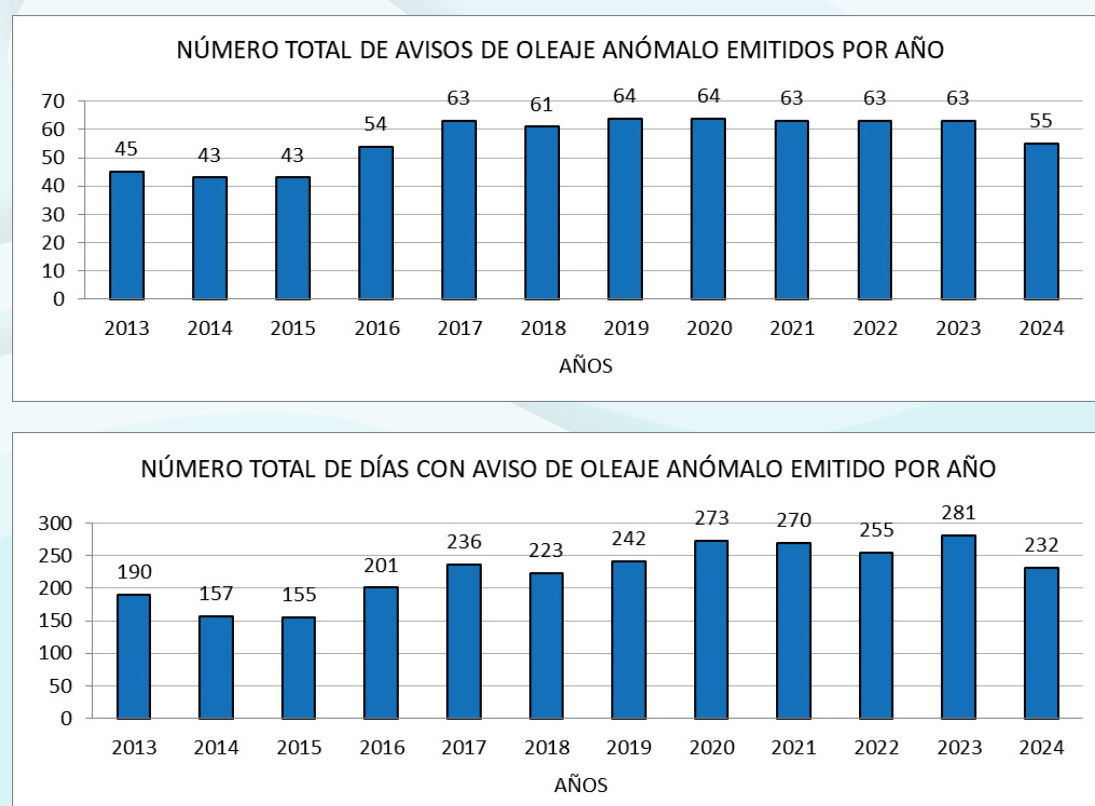


Figura 1. Número total de avisos y días con aviso de oleaje anómalo emitidos para el litoral peruano por año. Fuente: Elaboración propia.

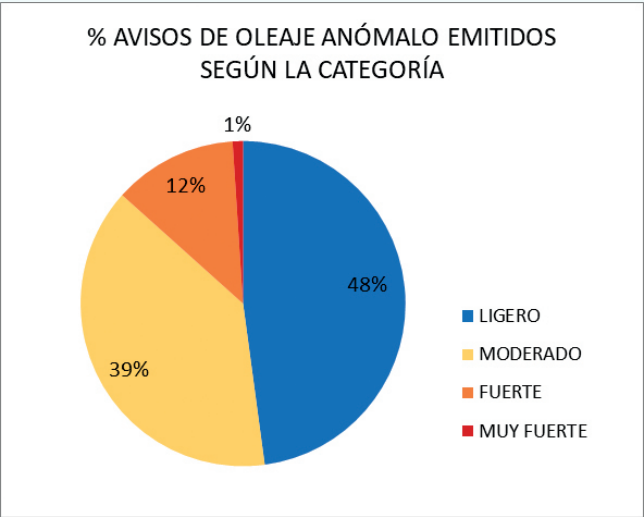


Figura 2. Porcentaje de avisos de oleaje anómalos emitidos según la categoría del evento para todo el litoral peruano durante los años 2013 a 2024. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la categoría de los oleajes anómalos informados en los avisos especiales emitidos, los oleajes ligeros representaron el 48 % del total analizado, seguidos por los moderados con 39 %, los fuertes con 12 %, mientras que los muy fuertes fueron los menos frecuentes con 1% (Figura 2). En términos anuales, el

2019 registró la mayor cantidad de días con aviso de oleaje ligero (146 días), el 2022 presentó la mayor cantidad de días con oleaje moderado (128 días), el 2021 destacó por la mayor duración de oleajes fuertes (77 días) y el 2017 por la mayor duración de oleajes muy fuertes (11 días) (Figura 3).

En relación a la zona de origen, los avisos que reportaron oleajes anómalos provenientes del océano Pacífico norte representaron el 18 % del total analizado, mientras que aquellos asociados al océano Pacífico sur constituyeron el 82 % (Figura 4). Asimismo, el año 2016 registró la mayor cantidad de días con avisos de oleaje anómalo

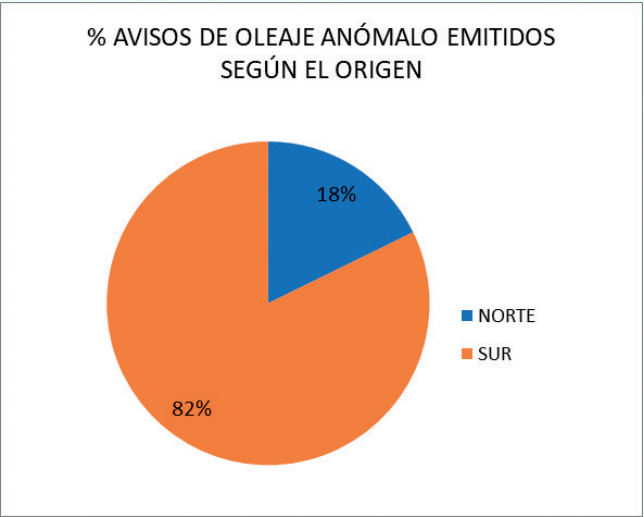


Figura 4. Porcentaje de avisos de oleaje anómalo según la zona de origen del evento para todo el litoral peruano durante los años 2013 a 2024. Fuente: Elaboración propia.

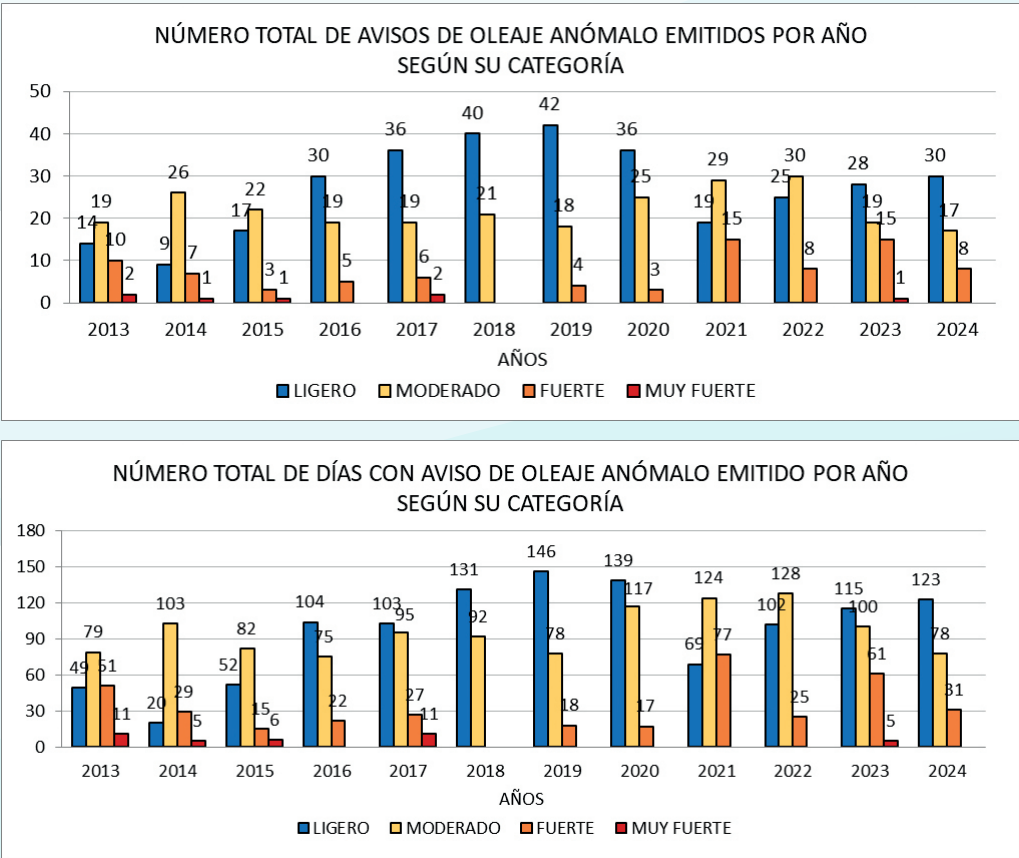


Figura 3. Número total de avisos y días con aviso de oleaje anómalo emitidos por año para todo el litoral peruano según la categoría del evento. Fuente: Elaboración propia.

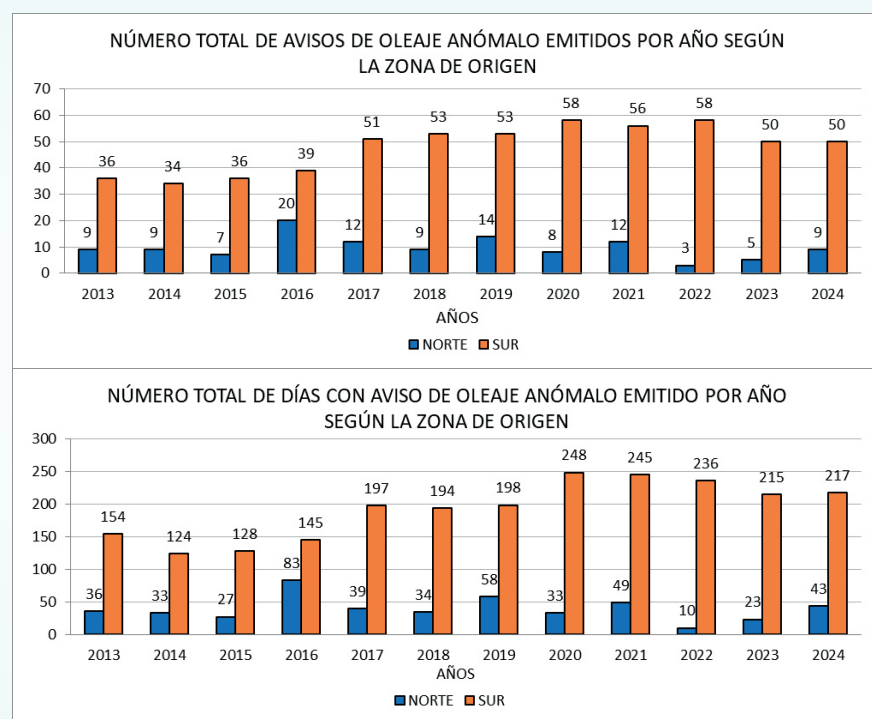


Figura 5. Número total de avisos y días con aviso de oleaje anómalo emitidos por año para todo el litoral peruano, según la zona de origen del evento. Fuente: Elaboración propia.

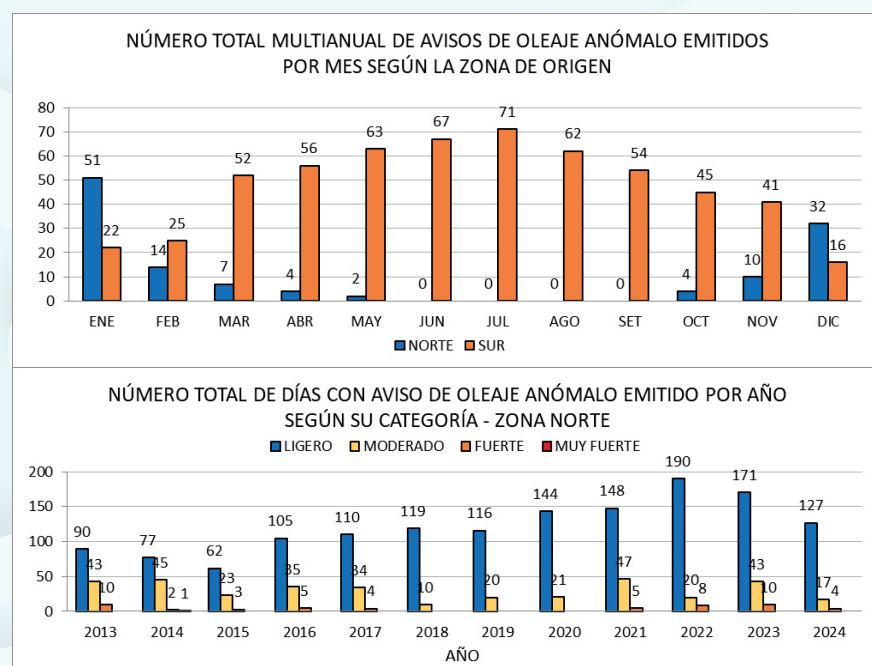


Figura 6. Número total multianual de avisos de oleaje anómalo emitidos por mes, según la zona de origen. Fuente: Elaboración propia.

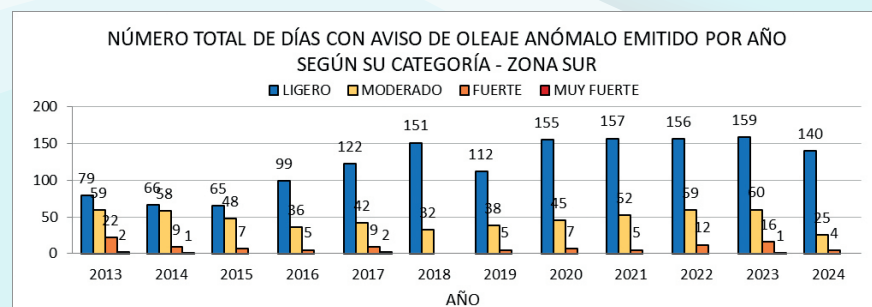


Figura 7. Número total multianual de avisos de oleaje anómalo emitidos por mes, según la categoría del evento. Fuente: Elaboración propia.

provenientes del Pacífico norte (83 días), y el año 2020 presentó la mayor cantidad de días con avisos de oleaje del Pacífico sur (248 días) (Figura 5).

La distribución temporal evidencia una mayor emisión de avisos especiales de oleajes anómalos durante los meses de otoño e invierno, lo que refleja un comportamiento estacional. En cuanto a la zona de origen, se observa que durante el verano predomina la emisión de avisos por oleajes anómalos provenientes del océano Pacífico norte, mientras que en el resto del año prevalecen los avisos asociados a oleajes del océano Pacífico sur (Figura 6). Respecto a la categoría de los oleajes, se registró una mayor frecuencia de avisos de oleaje ligero en diciembre, moderado en junio, fuerte en julio y muy fuerte en los meses de julio y agosto (Figura 7).

Análisis zonal de los avisos de oleajes anómalos emitidos para el litoral peruano

Al desagregar la información de los avisos especiales de oleaje anómalo emitidos según las tres zonas del litoral peruano (norte, centro y sur), se observan diferencias significativas tanto en la frecuencia como en la categoría de los eventos registrados. En términos generales, el litoral centro concentró la mayor cantidad de avisos emitidos, representando aproximadamente el 37 % del total, seguido por el litoral sur con el 35 % y el litoral norte con el 28 %.

En el litoral norte se observó una mayor persistencia de oleajes ligeros; sin embargo, también se reportaron episodios de oleaje moderado y fuerte. Por su parte, en los litorales centro y sur se evidenció una mayor frecuencia de oleajes de ligera intensidad, aunque con una proporción más elevada de eventos moderados y fuertes, e incluso episodios de muy fuerte intensidad. Estas condiciones reflejan la mayor exposición de dichas zonas a los oleajes provenientes del océano Pacífico sur, especialmente durante los meses de invierno austral (Figura 8). En conjunto, los resultados ponen de manifiesto una varia-

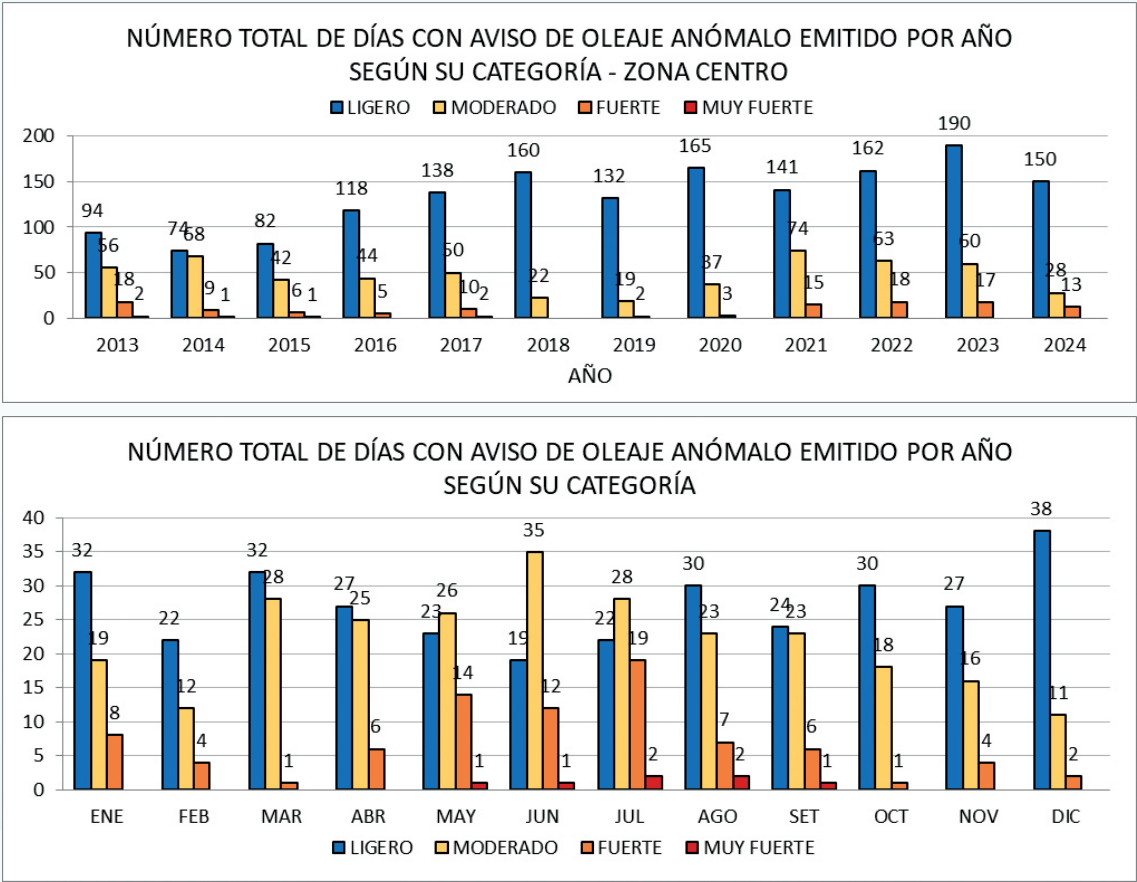


Figura 8. Número total de días con aviso de oleaje anómalo emitidos por año para cada zona del litoral peruano según la categoría del evento. Fuente: Elaboración propia.

bilidad espacial en el régimen de los avisos de oleajes anómalos emitidos, evidenciándose que el litoral centro y sur registraron la mayor frecuencia de eventos, alcanzando incluso categorías de oleajes anómalos muy fuertes.

Conclusiones

Durante el periodo de análisis (2013–2024) se registraron un total de 681 avisos de oleaje anómalo emitidos por la DIHIDRONAV, con un promedio anual de 57 avisos y una duración total promedio de 226 días de eventos por año. Se observa una tendencia creciente tanto en la cantidad de avisos emitidos como en la duración de los oleajes en los últimos años.

A nivel general, los avisos de oleajes ligeros fueron los más frecuentes, mientras que los de oleajes muy fuertes se registraron con menor

recurrencia. Predominaron los avisos de oleajes anómalos originados en el océano Pacífico sur, especialmente durante los meses de otoño e invierno, en tanto que los provenientes del Pacífico norte fueron más comunes en verano. Asimismo, los avisos de oleajes muy fuertes fueron más comunes durante los meses de julio y agosto.

A nivel zonal, el litoral centro concentró la mayor cantidad de avisos emitidos, evidenciando una mayor exposición a este tipo de fenómenos.

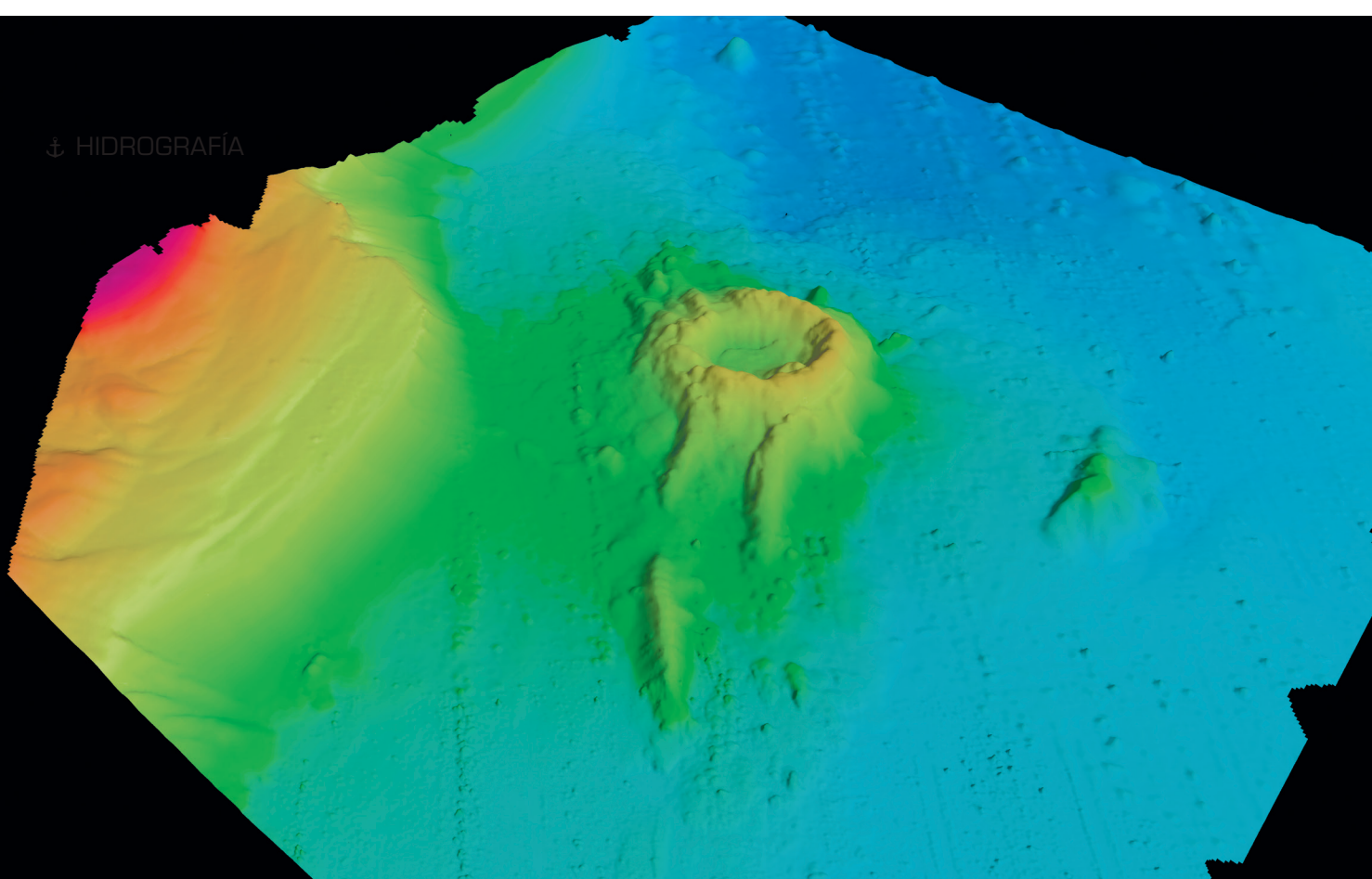
En cuanto a la categoría de los eventos, el litoral centro y sur registraron la mayor cantidad de días con avisos de oleaje muy fuerte, lo que evidencia una mayor exposición a oleajes anómalos provenientes del Pacífico sur.

En conjunto, los resultados evidencian una clara variabilidad espacial y temporal en la ocurrencia de los oleajes

anómalos a lo largo del litoral peruano informados en los avisos especiales emitidos por la DIHIDRONAV, lo que resalta la importancia de mantener una vigilancia continua y fortalecer las acciones de gestión del riesgo para la seguridad marítima nacional.

Referencias Bibliográficas

- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DIHIDRONAV). Avisos especiales de oleajes anómalos (Años 2013–2024). <https://www.dhn.mil.pe/portal/avisos-especiales/5124>
- DIHIDRONAV. (2021). Norma Técnica Hidrográfica N°41: “Lineamientos para elaborar los pronósticos meteorológicos marinos, estado del mar y avisos especiales”.
- Mognard, Nelly. Swell in the Pacific Ocean observed by SEASAT radar altimeter. Marine Geodesy, 8(1-4), 183-210 (1984).



Software de código libre de post proceso de datos multihaz para cartas náuticas



Tte. 2º Alvaro Manrique Jiménez
amanrique@dhn.mil.pe

Para la elaboración de cartas náuticas, en la actualidad se utiliza una serie de medios hidrográficos, como ecosondas multihaz, equipos topográficos, equipos geodésicos, softwares y recursos humanos. Todos estos medios tienen significativos costos operativos dado el óptimo servicio que brindan. Pero, hoy, algunos países en vías de desarrollo, que cuentan con servicios hidrográficos emergentes, no pueden contar con todos estos medios necesarios por temas económicos, lo que limita sus capacidades de producción cartográfica, exploración, investigación marina, entre otras. Ante esta problemática, existen algunas alternativas, que son los softwares Open Source o de código libre. En este caso, relacionado a temas hidrográficos, se realizará una mención al software de post procesamiento de datos multihaz, el MB - System y su aplicación en dicho proceso para la elaboración de cartografía náutica.

A variety of hydrographic resources, such as multibeam echosounders, topographic equipment, geodesy equipment, software, and human resources, are currently used to produce nautical charts. All these resources have significant operating costs, given the optimal service they provide. However, some developing countries with emerging hydrographic services currently lack the necessary resources for economic reasons, limiting their cartographic production, exploration, and marine research capabilities, among others. Faced with this problem, there are alternatives, such as open-source software. In this case, related to hydrographic topics, mention will be made of the MB - System multibeam data post processing software and its application in processing multibeam data for producing nautical cartography.

Conociendo MB - System

MB - System es un software de procesamiento de datos muy potente que puede ser construido e instalado en sistemas operativos Linux y OS-X (Figura 1). Para su uso en sistemas operativos Windows es necesaria la instalación de una máquina virtual. Cabe resaltar que el software cuenta con una lista de funciones y comandos para el procesamiento de datos, que puede ser encontrado en su página Web oficial, aunque, para el procesamiento de datos multihaz para cartografía náutica, se pueden emplear `mbprocess`, `mbset`, `mbeditviz`, `mbgrid`, `mbgridviz`, entre otros que se detallarán posteriormente. Adicionalmente, este poderoso software de código libre permite la aplicación de filtros, generación y procesamiento de mosaicos de reflectividad, calibración de sistemas multihaz, entre otras opciones (Figura 2).

Ventajas y desventajas

MB - System, además de tener la ventaja de ser libre de pago, permite personalizar el flujo de trabajo a realizar de acuerdo con el requerimiento del usuario. De esta manera, fomenta la colaboración y el trabajo cooperativo entre los distintos usuarios a nivel mundial, teniendo un foro en una lista de correo electrónico en el cual se pueden colocar todo tipo de dudas, problemas y bugs encontrados durante su operación.

La desventaja del uso de un software de código libre es que tiene una curva de aprendizaje más prolongada a diferencia de un software comercial, ya que quien lo opera requiere de conocimientos de cómputo intermedios para su instalación y construcción, así como también para su uso, además no cuenta con un servicio de soporte en todo momento.

La aplicación de este software ha venido dándose para fines de investigación de fondos marinos por la comunidad científica, pero también podría aplicarse para el proceso de datos multihaz en la elaboración de cartografía náutica.

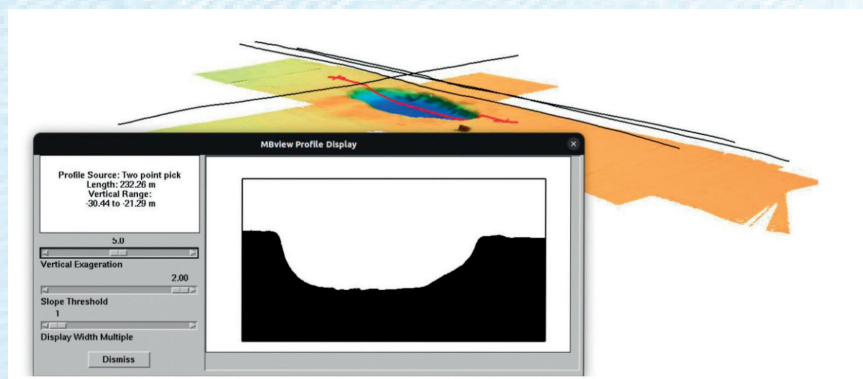


Figura 1. Interfaz gráfica del comando MBEDITVIZ con datos multihaz para efectuar la calibración de referido sistema.

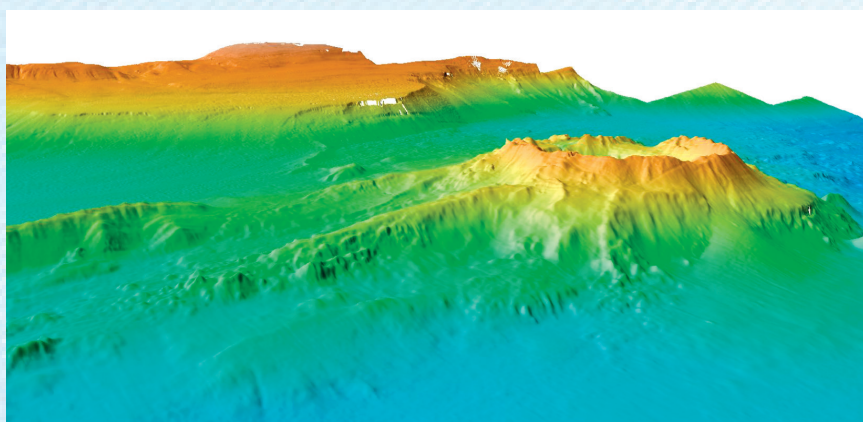


Figura 2. Superficie batimétrica procesada en MB - System a partir de datos multihaz del monte submarino "Orca", estrecho de Bransfield, Antártida.

Metodología de proceso de datos multihaz para cartas náuticas

El procesamiento de datos multihaz para cartas náuticas oficiales de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú se realiza con un software comercial de pago, pero durante el procesamiento de estos datos se efectuó un post procesamiento en simultáneo de los mismos datos, pero con el software de código libre MB - System en su versión 5.8.1 en el sistema operativo Linux en su distribución Ubuntu 22.04.5 LTS, con la finalidad de efectuar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en ambos casos para la actualización de la carta náutica HIDRONAV - 1121 "Punta Sal", teniendo en consideración siempre un posible sesgo entre los productos finales procesados.

Los comandos utilizados para el procesamiento de datos se detallarán a continuación con la finalidad de que puedan ser empleados en el futuro por otros nuevos usuarios de MB - System

con datos multihaz. Cabe resaltar que se debe tener en consideración el formato nativo de los datos de acuerdo con el sonar utilizado, ya que algunas aplicaciones no pueden ser ejecutadas y podría generar problemas durante su empleo. Los comandos son los siguientes:

- `mbm_makedatalist`: Generación de una lista de datos multihaz a procesar incluyendo el formato MB correspondiente.
- `mbdatalist`: Este comando permite ejecutar procesos con la lista de datos generada anteriormente.
- `mbprocess`: Procesamiento de datos de acuerdo con la edición efectuada. Se debe ejecutar este comando cada vez que se realicen cambios en los datos con otros comandos.
- `mbset`: Aplicación de correcciones adicionales como marea, offsets, calado, perfil de velocidad del sonido, entre otros.
- `mbotps`: Aplicación de correcciones de marea mediante un modelo de predicción de mareas.

- mbnavedit: Edición de datos de navegación en el cual se pueda registrar algún salto de posicionamiento.
- mbedit: Limpieza de los datos línea por línea.
- mbeditviz: Limpieza de datos multihaz con un visualizador en 3D.
- mbgrid: Generación de la grilla de los datos procesados. Adicionalmente, se puede visualizar la grilla con el comando.
- mbgridviz. - mblist: Extracción de los datos en un archivo de texto (xyz) utilizado para la elaboración de la hoja maestra.
- Durante el post procesamiento, se generan archivos que serán de ayuda para un flujo de trabajo más ágil (*.fht, *.esf, *.par, entre otros), así como listas secundarias que guardan los archivos procesados con los que se generarán las superficies batimétricas finales.

A continuación, en la Figura 3, se visualiza un diagrama de flujo de trabajo hidrográfico recomendado para procesamiento de datos con fines cartográficos, con el software MB – System. El comando mbprocess se debe ejecutar para la aplicación de las ediciones efectuadas con los demás comandos. La visualización permanente de los procesos ejecutados en la terminal es importante para la comprensión de los procesos computacionales en el flujo de trabajo hidrográfico.

Comparación de resultados obtenidos

Se generaron dos superficies batimétricas con los datos procesados en ambos softwares para efectos de limpieza y postproceso. Estos datos son de extensión *.all (formato MB59 en MB – System) de la ecosonda multihaz Kongsberg EM-302, en los cuales se consideró un tamaño de celda de 1.5 metros para ambos casos. A los datos se les aplicó corrección de mareas durante el postproceso con datos obtenidos de la publicación HIDRONAV 5023 - Tabla de Mareas 2024; por otro lado, cabe mencionar que los valores de calibración, *offsets* de instalación y perfil de corrección de velocidad del sonido, fueron aplica-

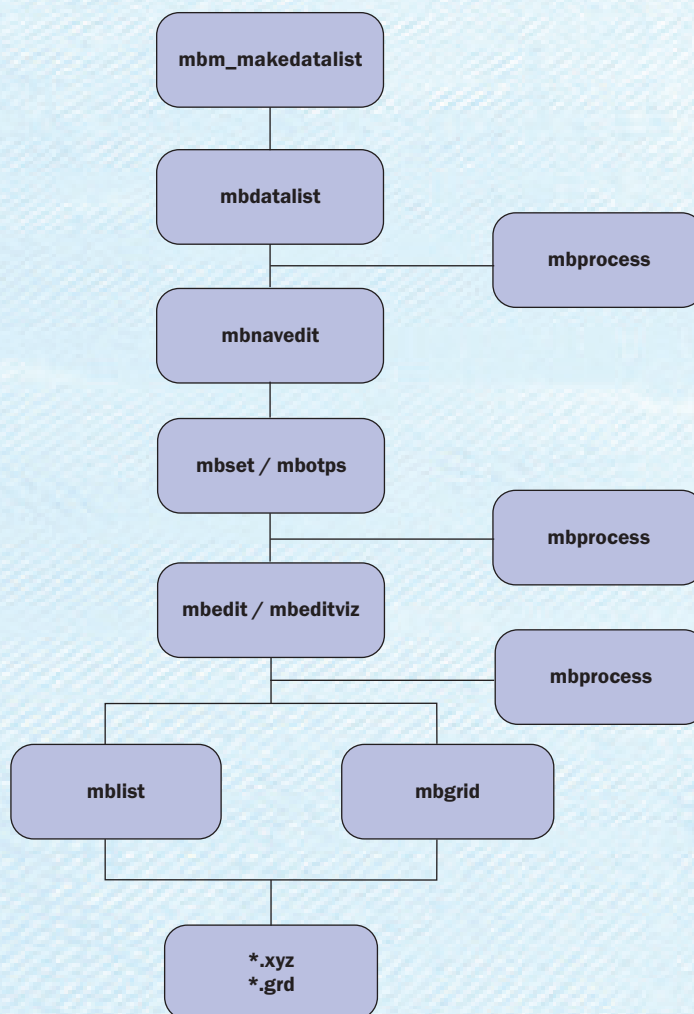


Figura 3. Herramientas del diagrama de flujo de trabajo hidrográfico utilizados del software de código libre MB System para procesamiento de datos multihaz.

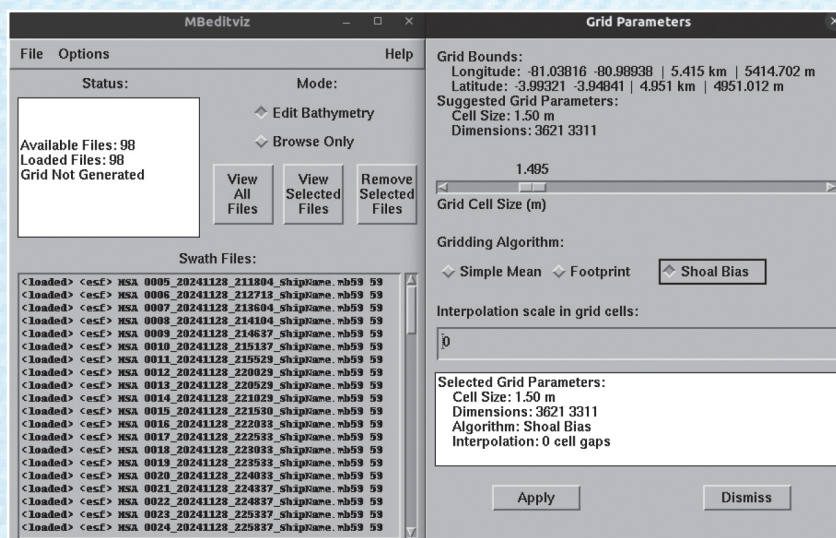


Figure 4: Generación de la grilla para el procesado con mbeditviz.

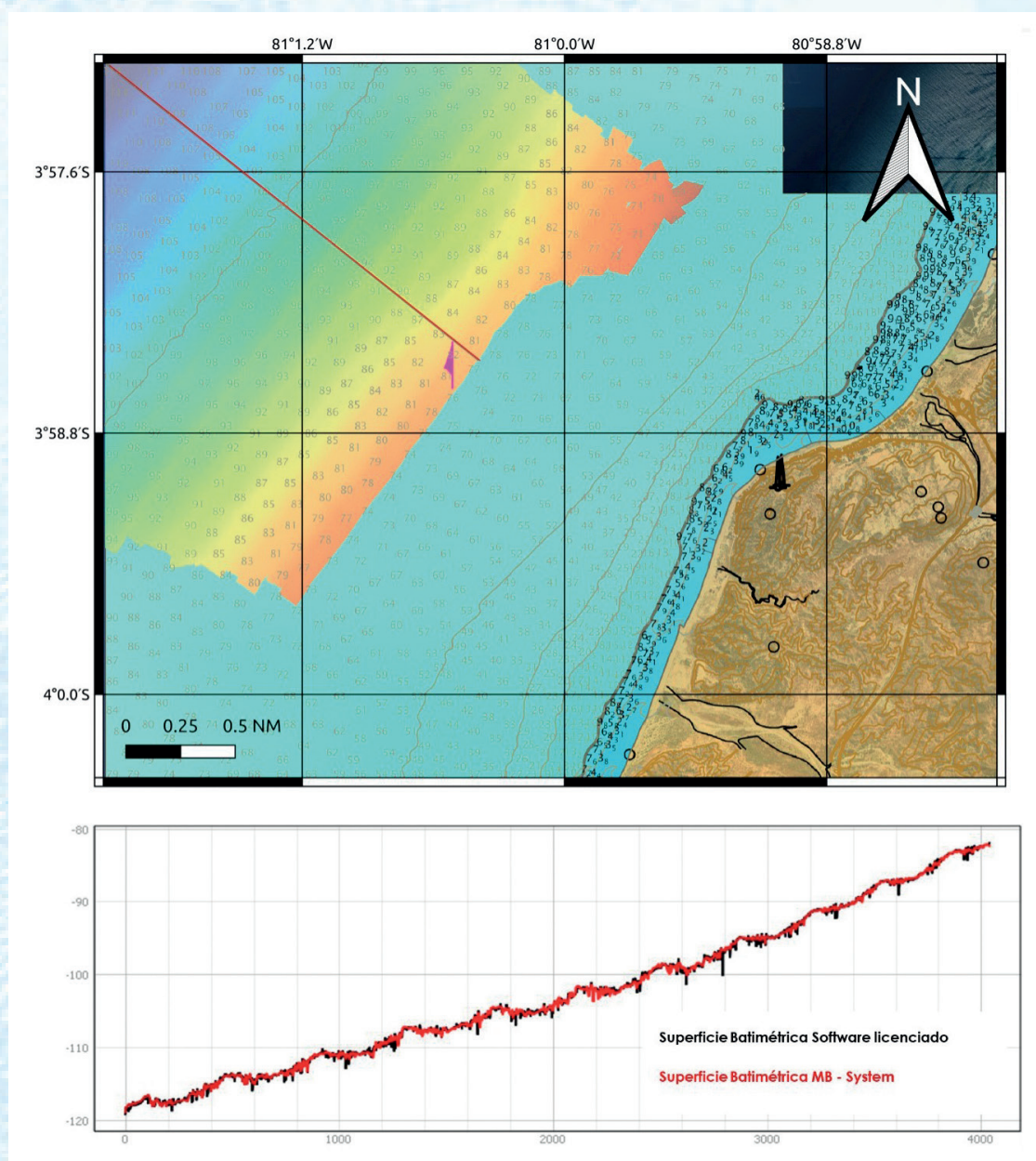


Figura 5. Mapa de comparación de superficies batimétricas (arriba) y perfil de sección trazado (abajo), valores en metros.

dos en el software de adquisición del sistema multihaz Kongsberg Seafloor Information System (SIS v4).

En la Figura 4, se visualiza la lista de datos generada inicialmente en formato *.mb59, que es el equivalente a los datos nativos de Kongsberg *.all, así como las opciones de parámetros para la grilla para efectos de procesamiento, el algoritmo de grillado (Simple mean, footprint o Shoal bias).

Una vez efectuado el procesamiento de los datos multihaz en MB - System, se genera la grilla final mediante el comando mbgrid, con el cual se ajustan los parámetros para

la superficie batimétrica final, considerando la profundidad mínima o más somera. El archivo resultante tendrá el formato *.grd. Esta superficie será comparada con la generada en el software comercial, utilizando los mismos parámetros.

El análisis comparativo entre ambas superficies batimétricas se realizó en el software de código libre Quantum GIS (QGIS) v3.34.15 Prizren. Se graficó una línea sobre la cual se trazó un perfil de sección (línea roja en la parte superior) para efectuar la comparación entre ambas superficies desde la parte más profunda hacia una de las partes menos profundas de manera

perpendicular a la línea de costa, lo cual evidenció resultados muy próximos entre las superficies batimétricas generadas con ambos software de post procesamiento (licenciado vs. código libre). Figura 5.

Este análisis se realizó con el plugin Terrain profile que utiliza la librería PyQtGraph (Python-QGIS) la cual efectúa un corte del perfil de sección en los valores del ráster geotif para efectos de visualización.

Finalmente, se generó una nueva superficie batimétrica que representa la diferencia entre ambas superficies (software de código libre vs licenciado).

Este proceso se realizó mediante la calculadora ráster de QGIS, restando las dos superficies, para luego generar un histograma de frecuencia que relaciona los datos con los valores de diferencia en metros, lo cual permite analizar las discrepancias predominantes.

En la Figura 6, en el histograma en el eje “x” se visualizan valores de diferencias en metros y en el eje “y” la frecuencia de contabilización de los mismos, el cual demuestra una distribución normal pronunciada y centrada en el valor de 0 metros, lo que indica que no existen mayores diferencias entre ambos productos de superficies batimétricas, sin embargo, se encuentran valores dispersos sobre ± 1 metro entre superficies, lo cual es aceptable dadas condiciones computacionales de trabajo distintas, criterios de limpieza y valores atípicos no eliminados durante el postproceso, considerando adicionalmente que el rango de las profundidades del levantamiento tienen exigencias menores de acuerdo a los estándares de levantamiento correspondientes como el S-44 de la OHI.

Conclusiones

El flujo de trabajo hidrográfico con *softwares* licenciados para la elaboración de cartografía náutica está diseñado para tener un óptimo producto y performance, pero las opciones de *software* de código libre son importantes como una alternativa válida para el proceso de datos de sonares acústicos cuando el factor económico limita las actividades hidrográficas para fines cartográficos, científicos, dragados portuarios, etc. Adicionalmente, se puede dar el caso de que el *software* licenciado presente algún error que no pueda ser solucionado en el momento, debiendo optar por otros medios disponibles que sean fácilmente adaptables a las condiciones de trabajo.

Los resultados obtenidos durante el análisis espacial de las superficies evidencian una diferencia entre los algoritmos de generación de grillas

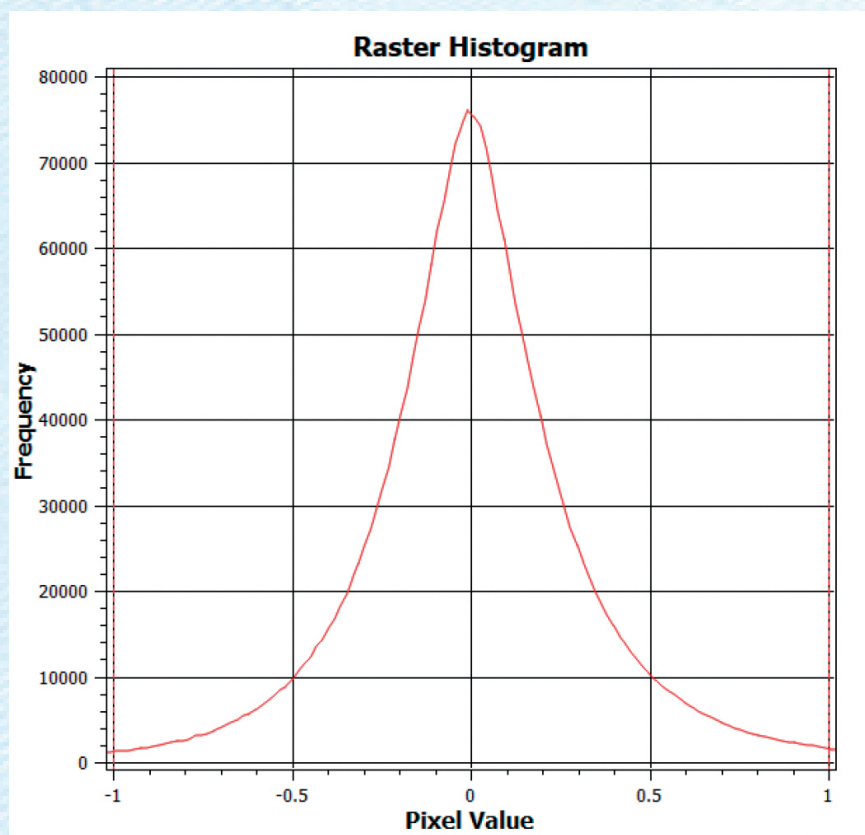


Figura 6. Histograma de diferencias de superficies batimétricas, en el eje “y” frecuencia de valores y en el eje “x” diferencias presentadas con valores en metros

batimétricas, encontrando valores entre ± 1 metro. Estas diferencias también son asociadas a criterios distintos durante el procesamiento y limpieza de datos, pero cabe resaltar que estas discrepancias pueden ser despreciables para el proceso cartográfico debido al procedimiento de selección de sonajes para la carta náutica, en el que se tomará el valor menos profundo siendo espaciados de acuerdo a la escala cartográfica. Adicionalmente, estas diferencias encontradas están dentro de los rangos permisivos para áreas con profundidades que no representen un peligro a la navegación de las embarcaciones,

teniendo un rango, en este caso, de 69 a 120 metros de profundidad.

El conocimiento y descripción de los procesos efectuados mediante comandos en el *software* MB – System generan una mejor comprensión de un flujo de trabajo hidrográfico. Esto, aplicado durante actividades formativas, sería fundamental para la capacitación de hidrógrafos, pero puede alargar la curva de aprendizaje, ya que los procesos computacionales realizados deben ser comprendidos a profundidad para que sean ejecutados correctamente, con la finalidad de asegurar un producto de calidad.

Referencias Bibliográficas

- Caress, D. W., & Chayes, D. N. (2023). MB - System: Open source software for the processing and display of bathymetric and backscatter data. Recuperado de <https://www.mbari.org/products/research-software/mb-system/>



Empleo de Energía Undimotriz

para la alimentación de boyas en el Perú



Tte 2° Greta Ruiz Laos
greta.ruiz@dhn.mil.pe

Este estudio evalúa la viabilidad del uso de energía undimotriz como fuente de alimentación para boyas oceanográficas en el litoral peruano, con el fin de incrementar su autonomía operativa y reducir los costos de mantenimiento. Se realizó un análisis teórico que abarcó la selección del área de estudio, la estimación del potencial energético del oleaje y la proyección de la eficiencia de conversión, empleando parámetros promedio de altura significativa y periodo energético mediante la ecuación de densidad de potencia undimotriz. La evaluación de factibilidad técnica, energética y logística permitió identificar zonas óptimas, destacando la bahía de Pucusana por sus condiciones de oleaje favorables. Los resultados indican una potencia disponible de 19.5 kW/m y una potencia aprovechable de 7.8 kW/m, valores que superan ampliamente los requerimientos energéticos de una boya oceanográfica convencional y permitirían disminuir hasta en 50 % las intervenciones de mantenimiento. Los hallazgos respaldan la viabilidad técnica y sostenibilidad de la energía undimotriz para este propósito, recomendándose avanzar hacia una fase experimental mediante la implementación de una boya prototipo para validar las proyecciones teóricas.

This study evaluates the feasibility of using wave energy as a power source for oceanographic buoys along the Peruvian coastline, with the aim of increasing their operational autonomy and reducing maintenance costs. A theoretical analysis was conducted, encompassing site selection, estimation of wave energy potential, and projection of conversion efficiency, using average significant wave height and energy period parameters based on the wave power density equation. The assessment of technical, energetic, and logistical feasibility allowed for the identification of optimal zones, with Pucusana Bay standing out due to its favorable wave conditions. Results indicate an available power of 19.5 kW/m and an exploitable power of 7.8 kW/m, values that far exceed the energy requirements of a conventional oceanographic buoy and could reduce maintenance interventions by up to 50%. These findings support the technical feasibility and sustainability of wave energy for this purpose, recommending progress toward an experimental phase through the deployment of a prototype buoy to validate the theoretical projections.

La búsqueda de fuentes energéticas renovables y sostenibles ha impulsado el interés por tecnologías marinas que aprovechan el potencial energético del océano. Entre ellas, la energía undimotriz se destaca por su disponibilidad constante y bajo impacto ambiental, características que la convierten en una alternativa atractiva para aplicaciones marítimas autónomas.

Las boyas oceánicas desempeñan un papel esencial en la navegación, la investigación y la observación ambiental, pero su funcionamiento depende de sistemas eléctricos alimentados por baterías que requieren mantenimiento periódico. Esta dependencia reduce su eficiencia operativa, especialmente en zonas alejadas o de difícil acceso. En este contexto, integrar sistemas de generación undimotriz en las boyas permite aprovechar el movimiento de las olas como fuente energética renovable, prolongando su autonomía y reduciendo los costos logísticos.

El presente estudio analiza la factibilidad técnica y operativa de aplicar la energía undimotriz en la alimentación de boyas en el litoral peruano. Para ello, se seleccionó un área representativa del litoral nacional a partir de criterios oceanográficos, técnicos y logísticos, se evaluó su potencial energético mediante modelos teóricos y datos oceanográficos. El objetivo es determinar la viabilidad de esta tecnología a pequeña escala y establecer las bases para una futura implementación piloto.

Antecedentes

La energía undimotriz, o energía de las olas, ha evolucionado significativamente desde su concepción a fines del siglo XIX hasta consolidarse como una de las fuentes renovables más prometedoras en el siglo XXI. Su aprovechamiento se basa en transformar la energía cinética y potencial del oleaje en electricidad mediante sistemas mecánicos o electromagnéticos.

A nivel internacional, se han desarrollado múltiples convertidores: atenuadores, columnas de agua oscilante y puntos de absorción, siendo estos

últimos los más versátiles y aptos para integrarse en estructuras flotantes, como boyas o plataformas (Pelc & Fujita, 2002). En Europa, Portugal y Escocia han liderado la experimentación con eficiencias del 35 al 45 %, mientras que Chile ha reportado resultados similares en el Pacífico sur (Rusu & Onea, 2018).

En el Perú, si bien no existen proyectos de generación undimotriz operativos, diversas instituciones han estudiado el comportamiento del oleaje. La Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) mantiene series históricas de datos oceanográficos, mientras que el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y el Comité Multisectorial Encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) registran parámetros de altura y periodo de ola en estaciones costeras. Además, el Atlas de Energía Renovable del Perú (MINEM, 2014) identifica el litoral central como un sector con potencial undimotriz moderado.

Estos antecedentes demuestran que el país dispone de información base suficiente para evaluar la factibilidad de proyectos piloto, como la aplicación de energía de olas en boyas oceanográficas o de señalización.

Desarrollo de la investigación

El desarrollo de esta investigación comprende el análisis técnico, metodológico y operativo necesario para evaluar la viabilidad de emplear energía undimotriz en la alimentación de boyas en el litoral peruano. En esta sección, se describen los criterios empleados para la selección del área de trabajo, la estimación del potencial energético de las olas, el procedimiento de cálculo aplicado, y la relación entre la potencia disponible y las necesidades energéticas de una boya tipo. Asimismo, se consideran aspectos técnicos, ambientales y logísticos que sustentan la factibilidad de su implementación en condiciones reales.

Selección del área de trabajo

La determinación del área de estudio constituye el primer paso para evaluar

la aplicabilidad de la energía undimotriz en el Perú. Para ello, se consideraron tres criterios fundamentales:

- Potencial energético del oleaje, determinado por la H_s y T_e , que definen la densidad de potencia disponible.
- Compatibilidad con actividades marítimas existentes, como la pesca, la navegación o el turismo, que pueden condicionar el uso del espacio marino.
- Accesibilidad logística y cercanía a centros de apoyo técnico, que faciliten las operaciones de monitoreo, mantenimiento y validación de equipos.

El litoral peruano presenta una amplia variabilidad oceanográfica. En la zona norte predominan olas de menor energía; en la central, el oleaje es más constante y moderado; y hacia el sur, aumenta la energía, pero también las condiciones de mar adversas.

Con base en estos criterios, se identificó que la costa central del Perú ofrece un equilibrio óptimo entre disponibilidad energética, regularidad del oleaje y facilidad de acceso. Dentro de esta región, la bahía de Pucusana, ubicada al sur de la provincia de Lima ($12^{\circ}29'S$, $76^{\circ}47'O$), presenta un régimen de oleaje estable, con alturas promedio de 1.8 a 2.5 m y periodos energéticos de 8 a 10 s. Estas condiciones, predominantes en la zona exterior de la bahía, se encuentran dentro del rango ideal para convertidores tipo punto de absorción (Rusu & Onea, 2018).

Además, su ubicación ofrece baja interferencia con el tráfico pesquero del puerto de Pucusana y ventajas logísticas por su cercanía a Lima, lo que la convierte en una zona idónea para la instalación y monitoreo de un sistema piloto.

Metodología de análisis

El estudio adoptó un enfoque teórico y comparativo, sustentado en la revisión de literatura científica (Cruz, 2008; Pelc & Fujita, 2002; Rusu & Onea, 2018) y en registros oceanográficos de la DHN y el ENFEN.

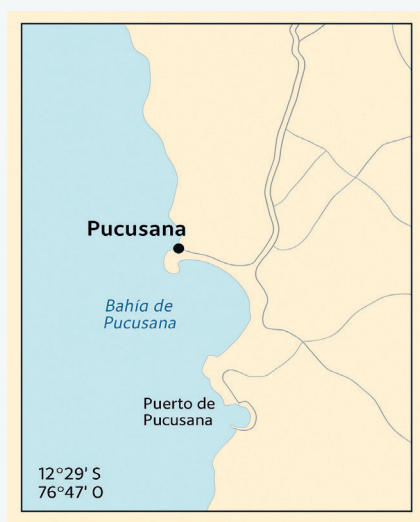


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (bahía de Pucusana, Lima).

La potencia disponible por metro de frente de ola se calculó mediante la ecuación estándar:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e$$

Donde:

ρ = densidad del agua (1025 kg/m³),

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²),

H_s = altura significativa (m) y

T_e = periodo energético (s)

Para el caso de la bahía de Pucusana, considerando una altura significativa media de 2.1 m y un periodo energético de 9 s, el cálculo se desarrolla de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{1025 \times 9.81^2}{64\pi} \times 2.1^2 \times 9$$

$$\rho \approx 19.5 \text{ kW/m}$$

Por lo tanto, la densidad de potencia disponible en la zona de estudio es de aproximadamente 19.5 kW por metro de frente de ola. Asimismo, aplicando un rendimiento medio de conversión del 40 %, la potencia aprovechable resulta en lo siguiente:

$$P_a = 0.40 \times 19.5$$

$$P_a = 7.8 \text{ kW/m}$$

Este valor confirma que el potencial undimotriz local es suficiente para alimentar los sistemas eléctricos de una boya oceanográfica, cuyo consumo promedio se mantiene entre 8 y 20 W, garantizando su operación continua y reduciendo la necesidad de mantenimiento frecuente.

Estimación de eficiencia y potencia aprovechable

A partir del valor de potencia disponible obtenido para la bahía de Pucusana (19.5 kW/m), se aplicaron coeficientes de eficiencia promedio de 35% a 45%, según los valores reportados por Cruz (2008) y Pelc & Fujita (2002) para sistemas de punto de absorción. Considerando un rendimiento medio del 40 %, la potencia aprovechable resulta de aproximadamente 7.8 kW/m.

Este valor confirma que el recurso undimotriz en la zona de estudio es suficiente para satisfacer los requerimientos energéticos de una boya oceanográfica, cuyo consumo promedio se encuentra entre 8 y 20 W.

En los sistemas tradicionales, la alimentación eléctrica se realiza mediante baterías recargables, que deben reemplazarse cada 3 a 6 meses, dependiendo de la demanda de los sensores y del sistema de transmisión. Este procedimiento implica el uso de embarcaciones de apoyo, personal técnico y periodos de inactividad de la boya.

La integración de un módulo undimotriz como fuente de energía renovable permitiría generar y almacenar electricidad de forma continua, extendiendo la autonomía del sistema por más de un año, reduciendo las intervenciones de mantenimiento y mejorando la disponibilidad de datos.

Si bien el presente trabajo se orienta a boyas oceanográficas, esta tecnología también podría adaptarse a boyas de señalización marítima, en las que el consumo energético se concentra en el sistema lumínico, representando una oportunidad de ahorro operativo y energético para la red de balizamiento nacional.

Aspectos técnicos y ambientales

El sistema propuesto debe integrarse al cuerpo flotante de la boya sin comprometer su estabilidad ni su flotabilidad. Los diseños modulares con convertidores de punto de absorción incorporados a la base de la estructura resultan los más adecuados para un proyecto piloto.

A diferencia de las boyas tradicionales, que dependen exclusivamente de bancos de baterías y paneles solares, el uso de energía undimotriz permitiría mantener la generación eléctrica incluso durante periodos prolongados de nubosidad o inactividad solar, garantizando una operación más estable y autónoma.

En términos ambientales, la generación undimotriz no produce emisiones ni residuos, y su impacto en el entorno marino es mínimo. Se recomienda, sin embargo, realizar estudios ambientales específicos para evaluar posibles efectos en la fauna bentónica y pelágica, así como en las actividades pesqueras artesanales que se desarrollan en la zona de Pucusana.

El mantenimiento estimado sería necesario cada 12 a 18 meses, en contraste con los 3 a 6 meses requeridos por las boyas tradicionales alimentadas por baterías, lo que representaría una reducción aproximada del 50 % en los costos logísticos y una mejora significativa en la continuidad de la información oceanográfica.

Propuesta de validación piloto

Como siguiente fase, se propone implementar un prototipo de boya undimotriz en la bahía de Pucusana, con el objetivo de validar experimentalmente las proyecciones teóricas obtenidas. El plan piloto debería contemplar lo siguiente:

- Registro continuo de variables oceanográficas (H_s , T_e , dirección del oleaje) durante un periodo mínimo de 12 meses.
- Medición de la energía efectivamente generada por el sistema.
- Evaluación del desempeño mecánico y eléctrico del convertidor.

- Análisis ambiental y social del entorno marino.
- Ajustes de diseño en función de la eficiencia real obtenida.

Esta fase permitirá establecer la eficiencia operativa real del sistema bajo condiciones locales y proporcionar información técnica de referencia para su futura replicación en otras zonas del litoral peruano.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis teórico demuestran que el recurso undimotriz en la costa central del Perú, especialmente en la bahía de Pucusana, presenta condiciones favorables para su aprovechamiento en sistemas de alimentación energética para boyas. Con una altura significativa promedio de 2.1 m y un periodo energético de 9 s, la potencia disponible calculada alcanza aproximadamente 19.5 kW/m, y la potencia aprovechable, considerando una eficiencia media del 40 %, asciende a 7.8 kW/m.

Estos valores confirman que el entorno oceanográfico de Pucusana ofrece un potencial constante y suficiente para sostener el consumo eléctrico de una boya oceanográfica, el cual se mantiene entre 8 y 20 W. En comparación, las boyas tradicionales, alimentadas por baterías o paneles solares, requieren reemplazos o mantenimientos cada tres a seis meses, lo que implica altos costos logísticos, uso de embarcaciones y suspensión temporal del monitoreo.

La incorporación de un sistema undimotriz integrado permitiría generar energía eléctrica de forma continua y autónoma, incluso bajo condiciones de baja radiación solar. Este enfoque incrementaría la autonomía operativa de las boyas a más de un año, reduciendo los costos de mantenimiento en hasta 50 % y mejorando la continuidad de los registros oceanográficos.

Los resultados obtenidos para la bahía de Pucusana también ofrecen una referencia técnica aplicable a otras zonas del litoral peruano con características similares de oleaje, como San Juan de Marcona o Ilo. De validarse experi-

mentalmente, el sistema podría incorporarse progresivamente a la red nacional de boyas, fortaleciendo la capacidad del país en materia de observación marina y gestión sostenible de la energía.

Aunque se trata de estimaciones teóricas, la correspondencia entre los resultados obtenidos y los rendimientos reportados en experiencias internacionales respalda la viabilidad técnica de la propuesta y su potencial para contribuir a la modernización de la infraestructura oceanográfica nacional mediante el uso de energías marinas renovables.

Conclusiones

El estudio demostró que la energía undimotriz constituye una alternativa viable, limpia y sostenible para la alimentación de boyas en el litoral peruano. La evaluación de la bahía de Pucusana evidenció condiciones de oleaje constantes y adecuadas, con una potencia disponible de 19.5 kW/m y una potencia aprovechable de 7.8 kW/m, valores que superan ampliamente los requerimientos energéticos de una boya oceanográfica convencional.

La incorporación de sistemas undimotrices permitiría duplicar o triplicar la autonomía operativa de las boyas, reducir los costos logísticos de mantenimiento hasta en 50 %, y mejorar la continuidad de los registros oceanográficos. En conjunto, los resultados respaldan la viabilidad técnica y ambiental del aprovechamiento del oleaje en la costa central del Perú para aplicaciones de pequeña escala.

Además, la implementación de este tipo de soluciones fortalecería la infraestructura nacional de observación marítima y promovería la transición hacia tecnologías marinas renovables, contribuyendo a los objetivos institucionales de sostenibilidad energética y modernización tecnológica.

Recomendaciones

Se recomienda desarrollar una fase piloto experimental en la bahía de Pucusana con la instalación de una boya prototipo, equipada con un sistema undimotriz integrado, que per-

mita validar las proyecciones teóricas obtenidas. Esta etapa deberá incluir el registro continuo de parámetros oceanográficos, la evaluación de la eficiencia real del sistema, y la verificación de su desempeño estructural y ambiental bajo condiciones locales.

Asimismo, es fundamental promover la colaboración interinstitucional entre la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y la Autoridad Portuaria Nacional (APN), en conjunto con el sector privado marítimo y energético, a fin de impulsar el desarrollo de proyectos de energía marina aplicados a la observación y señalización oceánica. Esta cooperación permitirá optimizar recursos, fortalecer capacidades técnicas y fomentar la innovación en el aprovechamiento sostenible del oleaje.

Finalmente, la validación exitosa del sistema en la bahía de Pucusana podría servir como modelo de aplicación replicable en otras zonas del litoral peruano con características de oleaje similares, consolidando el liderazgo del país en la adopción de tecnologías marinas renovables y en la modernización de su red de boyas oceanográficas.

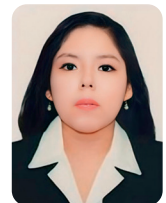
Referencias Bibliográficas

- Boehlert, G., & Gill, A. B. (2010). Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development: A current synthesis. *Oceanography*, 23(2), 68-81. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.46>
- Cruz, J. (2008). *Ocean wave energy: Current status and future perspectives*. Springer Science & Business Media.
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2014). *Atlas de Energía Renovable del Perú*. Lima, Perú.
- Pelc, R., & Fujita, R. M. (2002). Renewable energy from the ocean. *Marine Policy*, 26(6), 471-479. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(02\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(02)00045-3)
- Rusu, E., & Onea, F. (2018). Evaluation of the wave energy conversion efficiency in various coastal environments. *Energies*, 11(6), 1316. <https://doi.org/10.3390/en11061316w>



Implementación del vuelo en tiempo real con aeronaves remotamente pilotadas en la playa Los Delfines, Ventanilla

Geog. Katherine Camus Gutierrez
kcamus@dhm.mil.pe



Las aeronaves remotamente pilotadas (RPA por sus siglas en inglés), comúnmente llamadas “drones”, han evolucionado rápidamente en los últimos años, hasta convertirse en herramientas clave en áreas como la cartografía, la agricultura, la inspección industrial y la fotografía aérea. Con el paso del tiempo, la tecnología ha permitido que las RPA desarrollen de forma rápida, y proporcionen nuevas y variadas funciones, que facilitan y ayudan al usuario a acceder a lugares con una topografía irregular o de difícil acceso de forma más segura y menos costosa. Es por ello que, en el presente artículo, se darán a conocer las bondades y beneficios del uso del comando Terrain Follow Mode (seguimiento del terreno) para la realización de trabajos fotogramétricos.

Remotely Piloted Aircraft (RPA), commonly known as “DRONES,” have evolved rapidly in recent years, becoming key tools in areas such as cartography, agriculture, industrial inspection, and aerial photography. Over time, technology has allowed RPAs to evolve rapidly and provide new and varied equipment functions that facilitate and assist users in accessing places with irregular or difficult-to-access topography in a safer and less expensive manner. For this reason, this article will discuss the advantages and benefits of using the Terrain Follow Mode command for photogrammetric work.

En la actualidad, la fotogrametría, que consiste en obtener información precisa sobre objetos o superficies a partir de imágenes fotográficas, ha experimentado un gran avance gracias a la incorporación de tecnologías automatizadas. Entre estas tecnologías, las RPA (*remotely piloted aircraft*) han ganado relevancia por optimizar y acelerar los procesos asociados a la captura, procesamiento y análisis de datos fotogramétricos.

La fotogrametría suele generar grandes volúmenes de imágenes y datos que requieren procesamiento intensivo para crear modelos 3D, mapas topográficos o reconstrucciones digitales. Al integrar las aeronaves pilotadas remotamente (RPA) a los trabajos de fotogrametría, se puede reducir significativamente el tiempo de toma de datos en el campo y la captura de fotografías para la generación de información geoespacial. Una de las funciones más avanzadas que ofrecen algunos modelos de RPA es el seguimiento del terreno o *terrain follow mode*, que permite realizar vuelos a altura constante sobre superficies irregulares. Esta función permite que el piloto de una RPA pueda acceder a terrenos más irregulares de forma segura.

Para el siguiente caso de estudio se aplicó el método de vuelo de seguimiento en tiempo real al terreno con una RPA en la playa Los delfines, distrito de Ventanilla, Callao. Esto permitirá verificar y validar la función del método que ofrece la RPA.

Metodología

Para la ejecución del proyecto se realizó el uso del comando seguimiento del terreno o *terrain follow mode*. Para ello fue necesario definir el área de ejecución del proyecto, así como los instrumentos y equipos a utilizar, (Tabla 1).

Instrumentos y equipos para el levantamiento fotogramétrico
Ejecución de trabajos

Planeamiento de vuelo. El planeamiento de vuelo para el proyecto se realizó sobre un polígono que contiene zonas de playa y áreas con elevaciones, (Figura1):

Para la cobertura del polígono, se utilizaron vuelos con una aeronave pilotada remotamente (RPA), para lo cual se consideró lo siguiente, (Tabla 2).

Velocidad de frecuencia de toma de imágenes (cada 2 seg)	15 m/s
Altura de vuelo	200 m
Traslape longitudinal	80 %
Traslape lateral	70 %
Resolución espacial de las imágenes (gsd)	6 cm/pix
número de fotos	8282

Tabla 2. Características de vuelo con una RPA.

Ejecución de vuelo con aeronave pilotada remotamente (RPA)

Una vez ubicados en el área de interés, se procedió a dar las configuraciones de vuelo en el radiocontrol del equipo RPA.

La función de seguimiento del terreno permite al dron mantener una altura constante respecto al suelo, incluso cuando la superficie es montañosa o tiene pendientes. En lugar de volar a una altitud fija sobre el nivel del mar, la RPA ajusta automáticamente su altura para seguir los cambios del terreno.

Esta función puede operar de dos formas:

- **Sensores a bordo.** Existen RPA con sensores infrarrojos o de ultrasonido orientados hacia abajo para medir la distancia al suelo en tiempo real.
- **Mapas de elevación (DEM).** En drones profesionales se puede cargar un modelo digital del terreno (DEM o DTM) en el software de vuelo, lo que permite al dron planificar el vuelo siguiendo la topografía.

Las ventajas de usar la opción de seguimiento al terreno son las siguientes:

DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	CANT.
Aeronave pilotada remotamente Cámara dual: - Amplio 4/3 CMOS, 20 MP, obturador mecánico -Tele Distancia focal equivalente: 162 mm, 12 MP, zoom híbrido de 56 aumentos	DJI	MAVIC 3 ENTERPRICE	2
Baterías inteligentes Capacidad: 5000 mAh Descripción: tiempo máximo de vuelo de 46 minutos	DJI	BWX260-5000-15.4	15
Control remoto	DJI	RC Pro	2
GPS Navegador	Garmin	Montana 680	1

Tabla 1. Relación de los instrumentos y equipos utilizados.

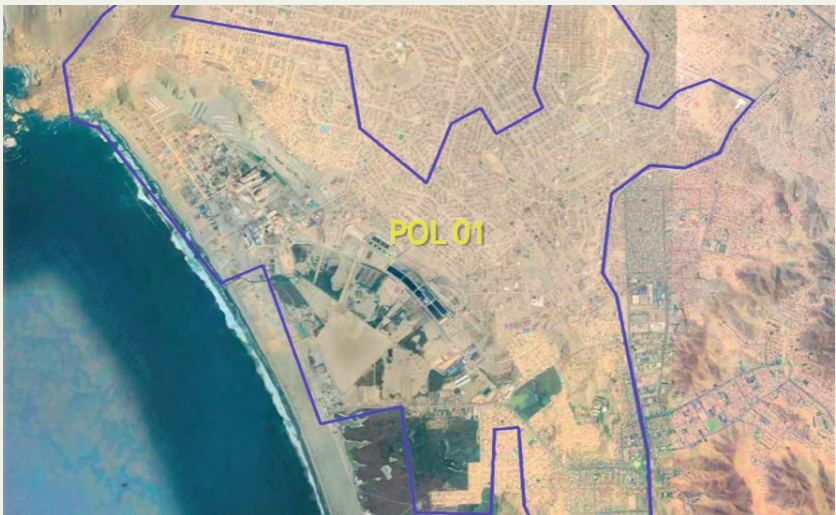


Figura 1. Polígono de vuelo 01 (1954 ha).

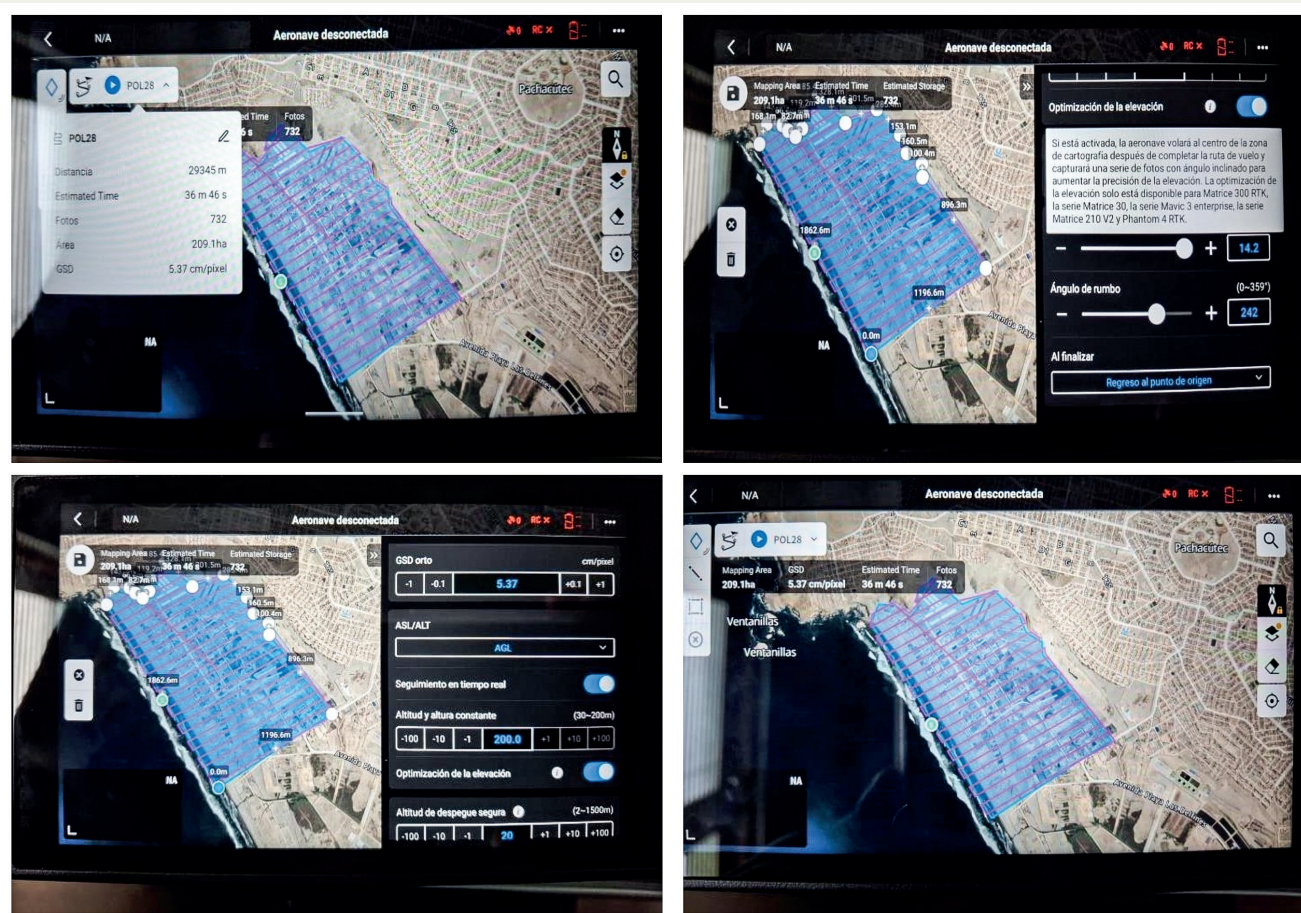


Figura 2. Configuraciones para el modo de seguimiento al terreno.

- Permite que el dron mantenga una altitud constante sobre el suelo, incluso si el nivel del suelo no es uniforme. Esto es especialmente útil en zonas con terreno variable, como regiones montañosas o con colinas. Al adaptarse al terreno, el dron puede capturar imágenes o datos a una altitud más consistente y precisa, lo que deriva en productos cartográficos de mejor calidad.
- Trayectorias de vuelo suaves. Al mapear un área es fundamental asegurarse de que el dron siga una trayectoria de vuelo suave y consistente. La función *Terrain follow* ayuda a lograr esto ajustando automáticamente la altitud del dron al nivel del suelo. Esto da como resultado una captura de imágenes o datos más uniforme, lo que reduce las distorsiones e inconsistencias provocadas por las variaciones de altitud.
- Mejora de la precisión de los datos. Mantener una altitud constante sobre el terreno contribuye a mejorar la precisión de los datos en las aplicaciones cartográficas, ya que se logra una distancia de muestreo

terrestre (GSD) más consistente. Al volar a una altura constante, la distancia entre el sensor y el suelo permanece invariable, lo que permite obtener mediciones y datos más precisos. Esto es crucial para la generación de modelos 3D, mapas ortomosaicos o estudios topográficos.

Para ello, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones de configuración del equipo (Figura 2).

Resultados

Una vez concluido el vuelo, se llevó a cabo el procesamiento en gabinete de las fotografías. Este proceso genera

diversos productos, entre los que se encuentran la nube de puntos densa, el modelo digital de elevaciones (DEM) y la ortofoto.

Conclusiones

La función de seguimiento del terreno con las aeronaves pilotadas a distancia (RPA) representa un avance significativo en la automatización de vuelos y la obtención de datos precisos en terrenos irregulares. Estas características no solo optimizan la seguridad del vuelo y la eficiencia en la captura de imágenes, sino que también elevan la calidad de los resultados en aplicaciones como la fotogrametría, la agricultura y la gestión de emergencias.

Referencias Bibliográficas

- IGAC. (2021). Guía técnica para fotogrametría con drones.
- Normas Técnicas Hidrográficas N.º 48. Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV)
- Sánchez, C. (2020). Procesamiento digital de imágenes obtenidas con dron mediante el uso de software libre 2020; Bogotá D.C., Colombia.
- Santos C. (2014). Fotogrametría usando plataforma aérea UAV. Cataluña.



En una época en la que la hidrografía se ejecutaba sin ecosondas, sin posicionamiento satelital y sin instrumentación electrónica, elaborar una carta de navegación exigía paciencia, criterio técnico, experiencia marinera y una lectura fina del comportamiento del mar. Grau asumió esta tarea con un profesionalismo notable, realizando observaciones detalladas sobre la costa, el fondo marino, las corrientes, el oleaje y las condiciones de fondeo, elementos esenciales para garantizar una navegación segura.

En su informe, Grau describe con precisión la morfología del litoral de Salaverry, identifica bajos fondos, barras de arena, playas someras y zonas de piedra, y evalúa comparativamente la rada de Salaverry frente a la de Huanchaco. Sus apreciaciones no son meramente descriptivas: están orientadas a la toma de decisiones operativas, al acceso seguro de las embarcaciones, al fondeo, al embarque y desembarque de pasajeros y carga, y a la eventual mejora de la infraestructura portuaria. Destaca, por

ejemplo, la importancia de construir una “garita” en el morro para mejorar la marcación visual del puerto, evidenciando su comprensión de la señalización marítima como parte integral de la seguridad náutica.

Asimismo, Grau demuestra una metodología rigurosa al reconocer las limitaciones de sus observaciones, señalando que ciertos fenómenos (como el comportamiento del mar en grandes marejadas) solo pueden evaluarse con presencia directa durante condiciones extremas. Esta honestidad intelectual revela no solo conocimiento técnico, sino también una ética profesional adelantada a su tiempo.

Los trabajos hidrográficos de Miguel Grau en Salaverry confirman que su grandeza no se limitó al combate naval. Fue también un precursor de la hidrografía aplicada en el Perú, consciente de que conocer el mar, medirlo y comprenderlo es una forma esencial de proteger la vida humana y contribuir al desarrollo marítimo del país. En cada línea de su informe se percibe al marino completo: observador, científico y servidor de la Nación.



PUERTO SALAVERRY: INFORME DE DON MIGUEL GRAU
TRANSCRIPCIÓN TEXTUAL DEL INFORME DE MIGUEL GRAU
(Archivo: "Hooker-Mantilla", Trujillo - Perú)

COMANDANCIA DEL "HUÁSCAR"

Al ancla, Callao, febrero 2 de 1870

Sr. Ministro de Estado en el Despacho de Guerra y Marina.

Sr. M.:

Tengo el honor de informar a US., en cumplimiento a las instrucciones recibidas en oficio del 24 del pasado, del resultado de los estudios y trabajos hidrográficos que me fueron encomendados, acompañando al efecto un plano del morro y caleta de la "Garita", que se ha levantado con toda la exactitud posible durante los seis días que he permanecido en ese punto.

La costa en este lugar se extiende al NO. 50° N. del compás, formando una ligera curva interrumpida únicamente por el morro "Carretas", que se desprende de ella avanzando hacia el mar 1080 pies ingleses y se eleva 300 pies sobre el nivel del mar. Dicho morro, muy conspicuo por su color negruzco y además por ser muy baja la costa que se le une tanto al Sur como al Norte, será un excelente punto de marcación para los buques que vayan en su demanda; está situado en la latitud 8° 14' 12" S. y en la longitud 78° 57' 0" de Greenwich, y solo a distancia de 10 millas al S. de Huanchaco; forma con la costa N. la pequeña caletita de la "Garita", que no tiene mayormente abrigo.

La playa es muy baja y de arena fina, excepto la parte que circunvala el morro, que está llena de gruesas y abundantes piedras de granito; las mismas que, estando tan a la mano, pueden servir para la construcción de una especie de rompeolas de 200 a 400 pies de largo, lanzado en dirección de la puntita más al Norte del morro; obra es esta que creo indispensable se construya para hacer de la "Garita" un buen desembarcadero, dándole la seguridad y abrigo de que carece hoy; con esta mejora se conseguirá también mayor duración en el muelle que se haga paralelo al morro, y en fin mil y otras ventajas. Por el plano se convencerá US. de la necesidad de dicha obra, máxime cuando juzgo que no será de gran costo, atendiendo a la abundancia de material que el mismo morro proporciona.

La tasca o barra es más corta y mejor relativamente a la de Huanchaco, y posee, a mi juicio, superiores condiciones a aquella en igualdad de circunstancias, debido al pequeño resguardo que le da el morro, pues cuando mucho se extenderá la reventazón en este tiempo 1100 a 1300 pies de la orilla, proporcionando estas circunstancias ventajas favorables en el embarque y desembarque de pasajeros, disminuyendo los riesgos considerablemente en la salida y entrada de las lanchas a la tasca. Pero nunca será prudente por ahora abordar esta playa en embarcaciones menores sin correr grandes riesgos.

Teniendo como tiene mayor fondo este puerto, los buques anclarán mucho más cerca que en Huanchaco, ganándose en esta mejora mucho tiempo que se pierde en Huanchaco en ir y venir de abordó.

El paradero para las lanchas es bastante bueno, próximo al morro.



La mar boba que reina constantemente en esta costa es del S. SO., pero juzgo que no arbola tanto como en Huanchaco.

El surgidero, o mejor dicho, el lugar en donde deben fondear los buques, no tiene abrigo alguno para la mar, y el viento es como el de Huanchaco; pero tiene la ventaja sobre éste de poder fondear más cerca, en 3 o 4 cables de tierra, en buen agarradero para las anclas.

Los vientos que aquí se experimentan generalmente son flojos del S.E. a SS.E. durante el día y se inclinan al E. después de media noche, lo que comúnmente se llama terral.

La sonda desde muy afuera se conserva en 6 a 5 1/2 brazas de agua, formando un placer hasta muy cerca de la playa. La calidad del fondo es buena, de arena fina mezclada con lodo, y solo a 200 pies de la punta se encuentra piedra.

Las observaciones generales que expongo en este informe se refieren únicamente a la presente estación, porque es probable que en los meses de mayo, junio y julio se experimenten algunas bravesas de consideración, como sucede generalmente en toda esta costa del Norte en los citados meses.

A pesar de que esta caleta no podrá ser un buen puerto sin comprender en ella obras de alguna consideración, como hemos dicho antes, tiene ésta ventajas que la hacen actualmente superior a Huanchaco.

Para poder juzgar con acierto sobre la extensión que se debe dar al muelle y demás trabajos que en él se emprendan, sería conveniente presenciar el estado de la mar en un día de gran braveza, para poder apreciar con exactitud su verdadera fuerza y sitio de rompiente.

Por todos los medios he tratado de obtener de los indígenas de estas inmediaciones datos seguros sobre el verdadero estado de la tasca en el invierno, y hasta qué punto se interna el mar en las grandes mareas; pero nada cierto he podido averiguar, pues las noticias que unos dan otros las contradicen por ignorancia la mayor parte, sin haber conseguido de ninguno la verdad de lo que me convenía indagar.

El establecimiento del puerto se verifica a las 3 h., y la marea sube 3 pies.

En vista del plano que tengo el honor de remitirle, podrá V.S. con más acierto juzgar de las ventajas o desventajas que este lugar pueda proporcionar como puerto.

Es cuanto tengo que comunicar a V.S., en cumplimiento de mi deber.

Dios guarde a V.S. S.M.

MIGUEL GRAU





En Puerto Salaverry: Evaluación de Superficie para la reducción de sondajes

A. de F. CG. Nixon Guevara Villalobos
nixon.guevara@dhn.mil.pe



La reducción de sondajes en el Perú se realiza tradicionalmente mediante tablas de mareas referidas al Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (NMBSO), obtenidos a partir de registros mareográficos de un ciclo nodal de 18.6 años. Aunque este método es confiable, presenta limitaciones en zonas sin estaciones mareográficas o con Bench Marks (BM) sin información actualizada. En este estudio, se desarrolla una Superficie de Referencia Vertical Hidrográfica (SRVH) piloto en el puerto de Salaverry, vinculando el NMBSO al elipsoide WGS-84 mediante observaciones GNSS, registradas durante el levantamiento hidrográfico. Los resultados demuestran la viabilidad de generar un plano vertical continuo basado en dichas tecnologías, constituyendo una alternativa moderna y eficiente para la reducción de sondajes en áreas con información mareográfica limitada.

Sounding reduction in Peru is traditionally carried out using tide tables referenced to the Mean Lower Low Water Springs (NMBSO), obtained from tide-gauge records of an 18.6-year nodal cycle. Although this method is reliable, it presents limitations in areas without tide-gauge stations or with Bench Marks (BM) lacking updated information. This study develops a pilot Hydrographic Vertical Reference Surface (SRVH) in the port of Salaverry, linking the NMBSO to the WGS-84 ellipsoid through GNSS observations recorded during the hydrographic survey. The results demonstrate the feasibility of generating a continuous vertical plane based on GNSS technologies, constituting a modern and efficient alternative for sounding reduction in areas with limited tide-gauge information.

La Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), como autoridad nacional en materia hidrográfica, tiene la responsabilidad de garantizar la seguridad de la navegación, elaborar las cartas náuticas y supervisar los levantamientos hidrográficos realizados en el litoral. En este contexto, la implementación de una Superficie de referencia vertical hidrográfica (SRVH) constituye una herramienta clave para mejorar la consistencia de los levantamientos batimétricos y optimizar la reducción de sondajes en el litoral peruano.

El desarrollo de una SRVH piloto en el puerto de Salaverry permite evaluar la viabilidad de vincular el plano mareal local al elipsoide WGS-84, mediante observaciones GNSS obtenidas durante el levantamiento hidrográfico. Esta aproximación ofrece una alternativa moderna a los métodos tradicionales basados en tablas de mareas, proporcionando continuidad espacial, menor dependencia de infraestructura mareográfica y una mejor integración con los sistemas actuales de adquisición y procesamiento de datos.

Metodología

Determinación de la cota del Bench Mark respecto al NMBSO

Se realizaron cinco observaciones simultáneas entre el Bench Mark (BM) y el nivel instantáneo del mar durante una única sesión de medición, efectuada en fase de pleamar y con oleaje

tranquilo, condiciones que permitieron una lectura estable del nivel del agua. La sesión completa tuvo una duración aproximada de 15 minutos, tras lo cual se obtuvo un desnivel promedio de 3.72062 m entre el BM y la superficie del mar (Figura 1).

Las alturas de marea correspondientes se obtuvieron de la Tabla de Mareas de la DIHIDRONAV, lo que permitió determinar la cota del BM respecto al NMBSO con una incertidumbre estimada de ± 0.01 m, acorde con la precisión vertical de la estación total.

Determinación de la altura elipsoidal del BM mediante GNSS

Se efectuó una sesión GNSS estática sobre el BM, con una duración total de 2 h 38 min, utilizando un receptor Trimble R12. Los datos fueron procesados en *Trimble Business Center*, con el empleo de correcciones diferenciales posprocesadas provenientes de la Estación de Rastreo Permanente AN03-Tauca (IGN).

El procesamiento arrojó una altura elipsoidal del BM de 17.490 m, con una precisión vertical (1σ) de ± 0.0285 m y un PDOP (*Position Dilution of Precision*) máximo de 1.190, lo que evidencia una geometría satelital favorable y una solución GNSS fija de alta confiabilidad para su uso como punto de control vertical.



Figura 1. Instalación de la Estación Total sobre el Bench Mark.

Generación de puntos de control para la SRVH mediante levantamiento hidrográfico

Para obtener los puntos de control referidos al elipsoide, se ejecutó un levantamiento batimétrico en el puerto de Salaverry utilizando una ecosonda multihaz Norbit iWBMS con sistema GNSS-inercial integrado (Figura 2). Durante la adquisición se registró la trayectoria completa de la embarcación.



Figura 2. Levantamiento batimétrico multihaz.

La trayectoria GNSS-inercial registrada durante el levantamiento fue posteriormente posprocesada con correcciones diferenciales de la Estación de Rastreo Permanente AN03, generando un archivo refinado que corrigió y estabilizó las alturas GNSS. Este procesamiento permitió eliminar variaciones no controladas y asegurar la coherencia vertical entre todas las líneas multihaz.

La trayectoria corregida se aplicó en el software de procesamiento batimétrico, en el cual las líneas se alinearon verticalmente, obteniéndose alturas elipsoidales consistentes para cada punto registrado. Mediante la resta de la altura de marea instantánea, se determinó la altura elipsoidal equivalente al NMBSO para cada época.

Este procedimiento produjo una red densa y distribuida de puntos mareales trasladados al elipsoide WGS-84, que constituyó el insumo principal para la construcción de la superficie de referencia vertical hidrográfica en Salaverry.

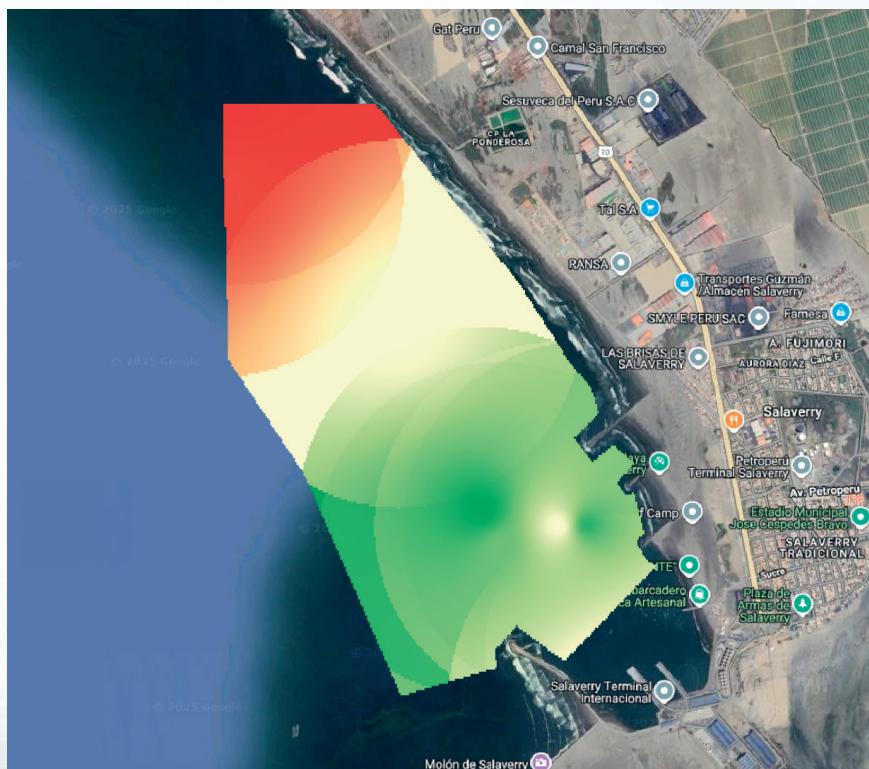


Figura 3. SRVH generada en el Software QGIS.

Construcción de la superficie de referencia vertical hidrográfica (SRVH)

Con las observaciones GNSS realizadas sobre los puntos mareales, se obtuvo su altura elipsoidal referida al NMBSO, lo que permitió trasladar este plano de referencia al elipsoide WGS-84 en distintos sectores del área de estudio. Las alturas mostraron la variación esperada del datum mareal, el cual disminuía conforme aumentaba la distancia respecto al mareógrafo, constituyendo la base para la modelación de la superficie de referencia vertical hidrográfica (SRVH) del puerto de Salaverry.

Antes de la interpolación, se efectuó un control de calidad orientado a garantizar la coherencia vertical entre las líneas multihaz. Este consistió en la verificación visual de perfiles y superficies en el software Qimera luego de aplicar el refinamiento de la trayectoria GNSS-inercial, mediante el archivo SBET, lo que confirmó la ausencia de saltos o desalineamientos entre líneas.

Posteriormente, en el software QGIS (Sistema de Información Geográfica) los puntos mareales fueron interpolados mediante el método IDW, y el uso de un tamaño de celda aproximado de 10×13 m, obteniéndose una gri-

lla raster continua, que representa la elevación local del NMBSO respecto al elipsoide. La superficie interpolada fue exportada como GeoTIFF e importada en Qimera, en la que se convirtió al formato .sd (Static Model Definition) para su uso como modelo vertical.

La SRVH resultante fue integrada al proyecto hidrográfico y empleada para la reducción de sondeos, lo que permitió su comparación directa con la reducción basada en tablas de mareas (Figura 3).

Resultados

La Superficie de Referencia Vertical Hidrográfica (SRVH) generada a partir de los puntos elipsoidales derivados del levantamiento multihaz presentó una estabilidad vertical consistente, manteniéndose prácticamente constante a lo largo de las distintas zonas evaluadas. Esta estabilidad se alcanzó tras el procesamiento diferencial de la trayectoria GNSS-inercial y la integración del archivo SBET, lo que permitió eliminar las oscilaciones presentes en los datos brutos y lograr una alineación vertical coherente entre las líneas multihaz, evidenciada en la comparación antes y después del refinamiento de la trayectoria GNSS-inercial (Figura 4).

Para evaluar cuantitativamente el desempeño de la SRVH frente al método tradicional, se compararon 12 puntos distribuidos en diferentes sectores del levantamiento, obtenidos tanto mediante reducción con Tabla de Mareas como mediante la SRVH. Las diferencias Tabla - SRVH mostraron:

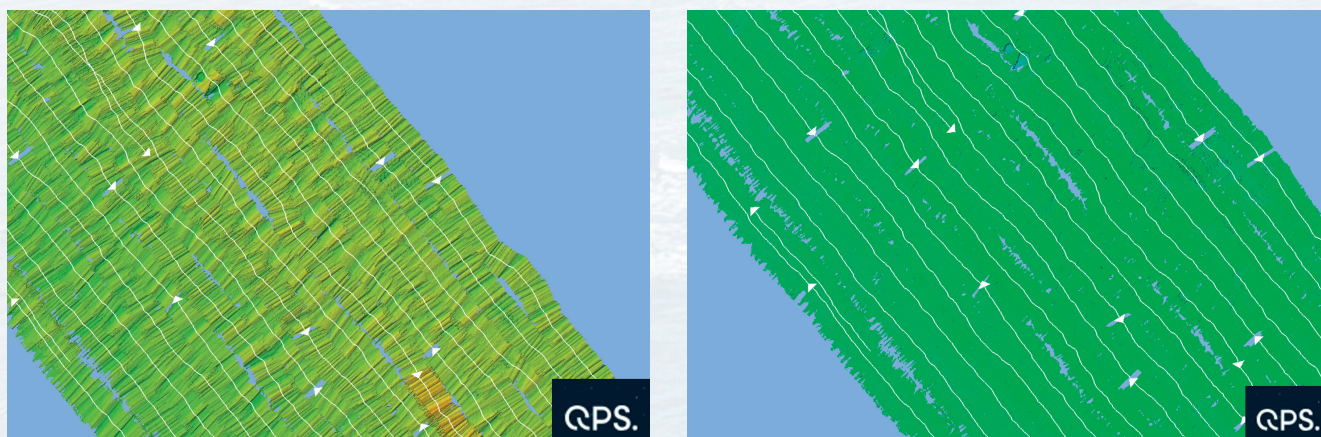


Figura 4. Visualización en el software Qimera de las líneas multihaz corregidas mediante el archivo SBET.

- Sesgo (media): +0.012 m
- Desviación estándar: 0.164 m
- RMSE: 0.165 m
- Diferencia mínima: -0.21 m
- Diferencia máxima: +0.23 m

Estas diferencias son coherentes con la naturaleza de ambos métodos: la Tabla de Mareas proporciona un valor de referencia que no incorpora las variaciones instantáneas del nivel del mar, mientras que la SRVH describe un plano vertical prácticamente lineal, equivalente al NMBSO trasladado al elipsoide. Este comportamiento se observa claramente en la comparación de perfiles longitudinales, donde la reducción por tabla de mareas presenta oscilaciones de corto período asociadas al oleaje, mientras que la SRVH mantiene una referencia más estable (Figura 5).

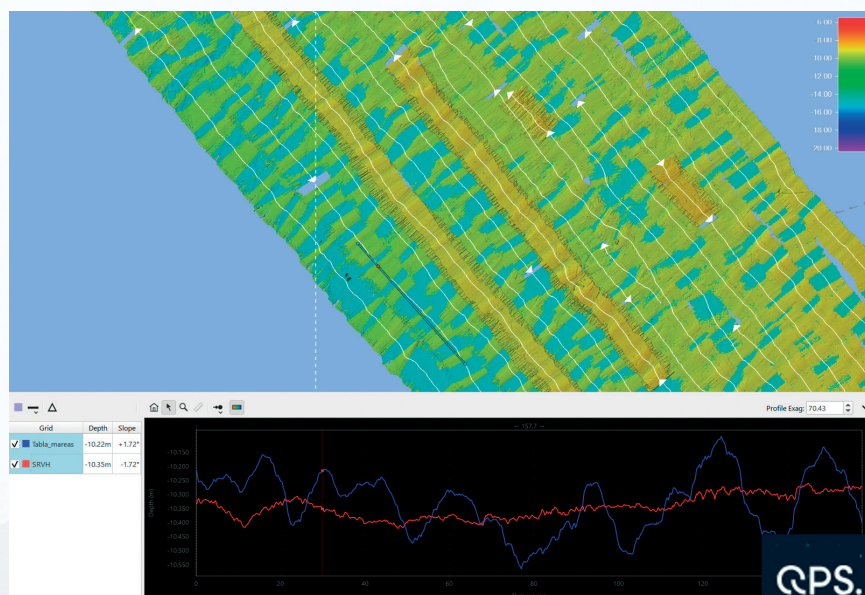


Figura 5. Comparación entre la SRVH y la reducción por tabla de mareas.

La superficie interpolada en QGIS mostró variaciones suaves dentro del área de estudio, evidenciando una geometría continua y estable. Una vez integrada en Qimera como modelo vertical, la SRVH permitió una reducción de sondeos homogénea en toda la zona, sin quiebres entre líneas, lo que confirma su consistencia interna.

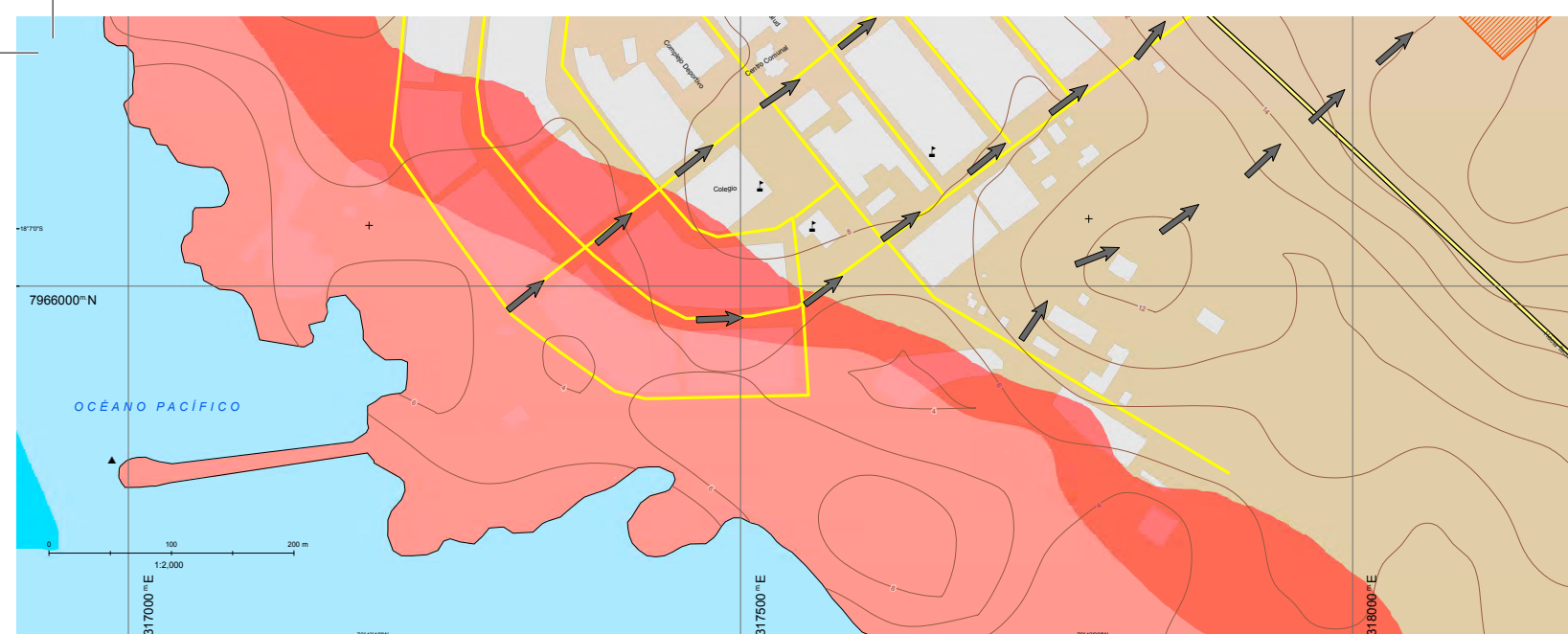
En conjunto, los resultados demuestran que la SRVH generada para el puerto de Salaverry es técnicamente sólida y compatible con la reducción por tabla de mareas. Su desempeño cuantitativo (RMSE $\approx$ 0.16 m) es aceptable para un levantamiento hidrográfico costero con ecosonda multihaz, validando su utilidad como superficie vertical de referencia.

Conclusiones

- La metodología aplicada permitió vincular de manera efectiva el Nivel Medio de Bajamares de Sicgias Ordinarias (NMBSO) al elipsoide WGS-84 en el puerto de Salaverry, estableciendo un plano vertical continuo, estable y directamente integrable a los sistemas modernos de adquisición y procesamiento hidrográfico basados en GNSS.
- El procesamiento diferencial de la trayectoria GNSS-inercial y la aplicación del archivo SBET en el software Qimera permitieron estabilizar la componente vertical de la navegación, generando líneas batimétricas coherentes y garantizando la consistencia vertical del levantamiento multihaz, condición indispensable para la construcción confiable de una SRVH.
- La Superficie de Referencia Vertical Hidrográfica obtenida mostró un comportamiento prácticamente constante y comparable a la reducción por tabla de mareas, validando su capacidad para representar el NMBSO trasladado al elipsoide y confirmando su aplicabilidad bajo condiciones operativas reales de levantamiento hidrográfico costero.
- La SRVH se consolida como una solución técnica más robusta que el método tradicional basado exclusivamente en tablas de mareas, al proporcionar una referencia vertical continua, espacialmente coherente y menos dependiente de la disponibilidad y calidad de la infraestructura mareográfica local.
- La experiencia desarrollada en el puerto de Salaverry demuestra que la implementación de SRVH locales constituye un paso concreto hacia la modernización del sistema vertical hidrográfico, permitiendo mejorar la consistencia entre levantamientos realizados en distintas épocas y facilitando la estandarización de procesos en la Dirección de Hidrografía y Navegación.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, M. C., Pulido, D. A., Solano, L. J., & Oviedo, F. B. (2018). Construcción de la superficie hidrográfica de referencia vertical para las bahías de Buenaventura y Málaga, Pacífico colombiano. Boletín Científico CIOH, 36, 53–69.
- DIHIDRONAV. (2020). Norma Técnica Hidrográfica N°27: Procedimientos para la determinación de profundidades.
- International Federation of Surveyors (FIG). (2011). FIG Guide on the development of a vertical reference surface for hydrography.
- Quijano, C., González, A., & Costa, M. (2023). La superficie de referencia vertical hidrográfica española: Una revolución en el cero hidrográfico. Revista de Gestión Marina y Ambiental, 18(4), 125–140.



Rutas de evacuación y zonas de refugio

Importancia en las cartas de inundación por tsunami

Caso: Playas de Tacna

Ing. Geóg. Evelyn Melissa Salas Llactahuamán
esalas.2801@gmail.com



Durante los últimos años, se ha señalado de manera recurrente la posibilidad de que en el Perú ocurra un sismo de gran magnitud, igual o superior a 9.0 Mw. Esta probabilidad ha sido ampliamente difundida por los medios de comunicación mediante material informativo y audiovisual orientado a la concientización de la población. La ocurrencia de un evento sísmico de estas características en la zona costera o en sus proximidades podría generar, de manera casi inmediata, un tsunami, incrementando significativamente el nivel de daño y afectación.

Frente a este escenario, resulta indispensable contar con planes de emergencia y protocolos de respuesta eficaces. No obstante, la efectividad de estas medidas depende en gran medida de la forma en que la información es transmitida a la ciudadanía. En este contexto, la señalización adecuada de rutas de evacuación y zonas seguras constituye una de las herramientas más directas y eficientes para que la población pueda identificar rápidamente las alternativas más seguras para su evacuación.

En consecuencia, es fundamental el trabajo articulado entre la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), a través del Centro Nacional de Alerta de Tsunamis (CNAT), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), y los gobiernos locales y regionales. Esta coordinación interinstitucional permite la identificación, validación y señalización de rutas de evacuación y zonas de refugio, contribuyendo a la reducción del riesgo y al fortalecimiento de la seguridad de la población ante un eventual tsunami.

In recent years, the likelihood of a major seismic event of magnitude 9.0 Mw or greater occurring in Peru has been frequently highlighted. This possibility has been widely disseminated by the media through informational and audiovisual materials aimed at raising public awareness. The occurrence of a seismic event of this magnitude along the coast or in nearby areas would likely trigger a tsunami almost immediately, significantly increasing the level of damage and impact.

Under this scenario, the existence of emergency plans and response protocols is essential. However, their effectiveness largely depends on how this information is communicated to the population. In this regard, proper signage of evacuation routes and safe zones represents one of the most direct and effective tools to enable people to quickly identify the safest evacuation alternatives. Therefore, coordinated efforts among the Directorate of Hydrography and Navigation (DIHIDRONAV), through the National Tsunami Warning Center (CNAT), the National Institute of Civil Defense (INDECI), and local and regional governments are of paramount importance. Such inter-institutional coordination enables the identification, validation, and signage of evacuation routes and refuge areas, contributing to risk reduction and enhancing public safety in the event of a potential tsunami.

La costa peruana se encuentra situada en el cinturón de fuego del Pacífico, también conocido como “cinturón sísmico” (Jiménez, 2015). Esta ubicación geográfica expone al país a diversos fenómenos naturales, entre los cuales los sismos destacan como los más relevantes.

Bajo ciertas condiciones, estos sismos pueden ser de tipo tsunamigénico; es decir, poseen la capacidad de generar tsunamis cuyas consecuencias pueden ser devastadoras para la población asentada en la costa.

A lo largo de la historia, se han registrado múltiples eventos sísmicos de esta naturaleza. Entre los más significativos se encuentran los ocurridos en el Callao (1746), Arica (1868), Lima y el Callao (1940), Nazca-Ica (1996), Camaná-Arequipa (2001) y Pisco-Ica (2007), todos ellos con evidencia documentada de tsunamis que impactaron las costas afectadas (DIHIDRONAV, 2013).

La DIHIDRONAV es la entidad representante del Perú ante el Sistema Internacional de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWS). A través de su departamento especializado, el CNAT, tiene la responsabilidad de monitorear eventos sísmicos para prevenir y alertar sobre la posible ocurrencia de un tsunami. Como parte fundamental de sus funciones, el CNAT continúa elaborando las cartas de inundación por tsunami para toda la costa peruana.

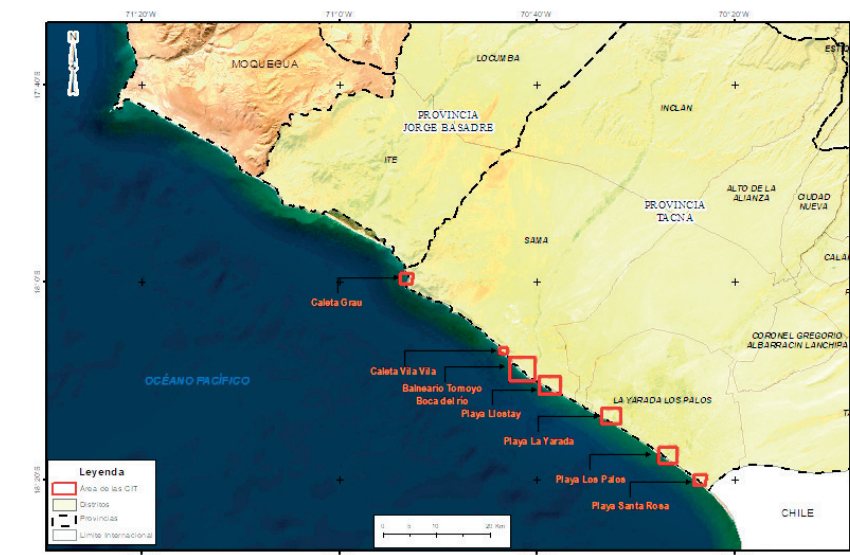


Figura 1. Ámbito de evaluación. Carta de Inundación por Tsunami del departamento de Tacna
Fuente: Elaboración propia.

Estos documentos sirven como herramientas de soporte y gestión para que el INDECI, las autoridades locales y las regionales preparen conjuntamente planes de emergencia, identifiquen rutas de evacuación y propongan zonas de refugio.

Por ello, la identificación de rutas de evacuación y zonas de refugio constituye una de las acciones más cruciales en la prevención de desastres, específicamente para mitigar las consecuencias de un tsunami. Disponer de esta información contribuye a optimizar la toma de decisiones por parte de las entidades gubernamentales, con el fin último de proteger a la población expuesta a este tipo de peligros.

Ámbito de evaluación

El caso de evaluación corresponde a las playas del sur del Perú, específicamente del departamento de Tacna, que abarca desde las coordenadas -71.139°W , -17.822°S hasta -70.377°W , -18.352°S , Figura 1.

El departamento de Tacna se ubica en el sur del Perú, frontera con Chile. Tiene una extensión de 16 076 km² y una altitud mínima de 18 m s. n. m. (Ite) y máxima de 3415 m s. n. m (Candarave). Las vías de acceso principales son las siguientes (PromPeru, s.f):

- Terrestre: Lima-Tacna, 1293 km aprox. Por la Carretera Panamericana Sur, con una duración aproximada de 20 horas.

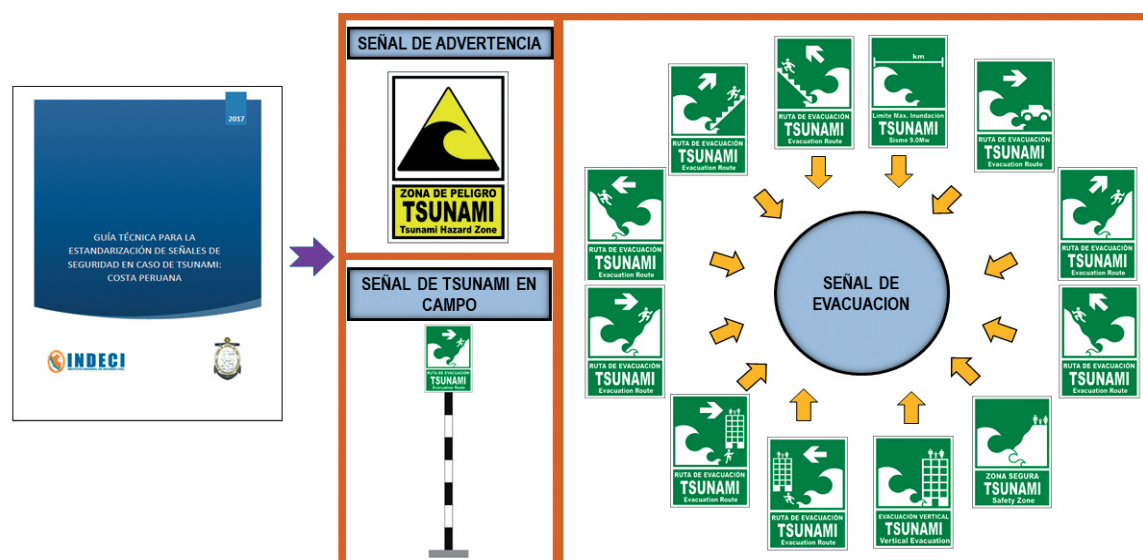


Figura 2. Simbología según el tipo de señal de seguridad.
Fuente: INDECI, 2017.

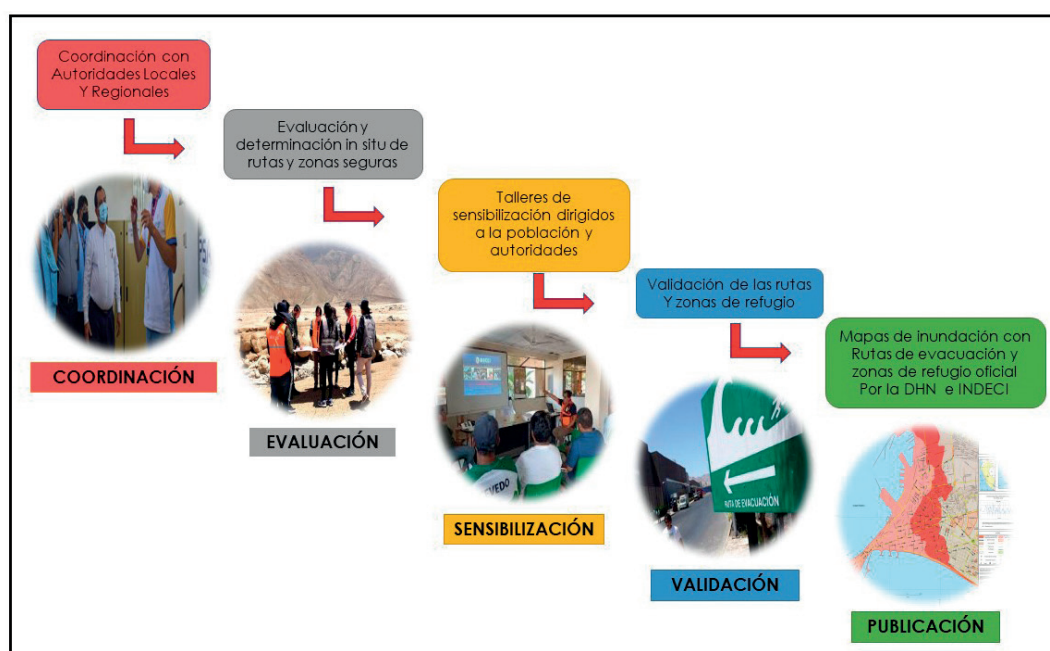


Figura 3. Metodología para la identificación de rutas de evacuación y zonas de refugio. Fuente: INDECI, 2015.

- Aérea: Vuelos regulares desde el aeropuerto Jorge Chávez (Lima), con una duración aproximada de 1 hora y 30 minutos.

Necesidad de Incluir Señales de Seguridad en las Cartas de Inundación

La señalización se define como un conjunto de estímulos visuales que condicionan la actuación de las personas frente a circunstancias que se desean destacar (INDECI, 2017). En este marco, la señalética de seguridad constituye un sistema de comunicación visual que cumple una doble función: advertir sobre un peligro inminente y guiar a la población hacia rutas de evacuación o zonas seguras.

De acuerdo con el INDECI, la simbología utilizada en estas señales se clasifica en dos tipos principales: señales de advertencia y señales de evacuación, tal como se muestra en la Figura 2.

De acuerdo con la normativa vigente, los gobiernos locales y regionales son los principales responsables de ejecutar las acciones de gestión del riesgo de desastres dentro de sus jurisdicciones. Por ello, les corresponde implementar progresivamente las señales

de seguridad establecidas en la Guía Técnica para la Estandarización de Señales de Seguridad en Caso de Tsunami: Costa Peruana (INDECI, 2017), así como garantizar su mantenimiento y monitoreo continuo.

Metodología

La identificación de rutas de evacuación y zonas de refugio ante tsunamis es un trabajo conjunto entre las autoridades locales y el INDECI. Para ello, se aplica una metodología estructurada en cinco etapas clave. A continuación, se detallan las etapas del procedimiento, y posteriormente se presenta la Figura 3, que resume el proceso.

- **Coordinación:** con autoridades locales y regionales mediante reuniones interinstitucionales para la toma de decisiones. Esta etapa busca garantizar el respaldo político e institucional al proceso, acceder a información clave del ámbito local, asegurar la sostenibilidad de las acciones y fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres a nivel nacional.
- **Evaluación:** verificación in situ de las rutas de evacuación, las cuales deben ser accesibles para toda la población, evitando obstáculos o tramos peligrosos. Asimismo, se

planificará e identificarán las zonas seguras, que deben ubicarse fuera de las áreas de inundación por tsunami y ser espacios abiertos que permitan el libre ingreso y salida de personas.

- **Sensibilización:** Talleres de sensibilización dirigidos a la población y autoridades, mediante simulacros y entrenamientos. Estos ejercicios permiten familiarizar a las personas con las rutas de evacuación y con las acciones que deben seguir en caso de un tsunami.
- **Validación:** de las rutas y zonas de refugio con la participación activa de las comunidades locales. INDECI se encarga de asegurar que las rutas sean seguras, accesibles y conduzcan adecuadamente hacia las zonas de refugio previamente determinadas.
- **Publicación:** de los mapas oficiales de inundación, las rutas de evacuación y las zonas de refugio elaborados por DIHIDRONAV e INDECI. Estos mapas permiten identificar las zonas en riesgo, las vías seguras para evacuar y los lugares adecuados para refugiarse. También, sirven como herramientas educativas, de planificación y de toma de decisiones, con respaldo del Estado.

Resultados

Las rutas de evacuación son caminos debidamente señalizados, diseñados para facilitar una evacuación eficiente desde zonas de peligro hacia áreas seguras o puntos de concentración transitorios.

Por su parte, las zonas seguras se definen como espacios ubicados fuera del área de riesgo, donde la población puede permanecer de manera temporal hasta que el peligro cese o sea reubicada en ambientes más adecuados (INDECI, 2015).

La identificación de rutas de evacuación y zonas de refugio permite enriquecer las cartas de inundación por tsunami, elaboradas por DIHIDRONAV, con información gráfica de mayor relevancia para la población. Si bien el propósito principal de estas cartas es representar las posibles áreas inundables ante un tsunami, complementarlas con rutas de evacuación y zonas de refugio aumenta significativamente su utilidad. Esto se debe a que la población espera encontrar en un mapa o carta la información más crucial: por dónde evacuar y refugiarse ante una emergencia, como se ilustra en la Figura 4.

Contraste de las cartas con información de seguridad ante tsunamis

Las playas que cuentan con cartas de inundación por tsunami elaborado por el CNAT en las costas de Tacna son siete, de las cuales solo una de ellas cuenta con rutas de evacuación y zonas de refugio. Tabla 01.

Conclusiones

En la actualidad, se tiene información correspondiente a la ruta de evacuación y zona de refugio en una sola playa, “Caleta Vila Vila”, falta información en las otras seis cartas: caleta Grau, balneario Tomoyo y boca del Río, Playa Llostay, playa La Yarada, playa Los Palos y playa Santa Rosa.

Según la Municipalidad Provincial de Tacna las zonas afectadas ante un posible tsunami serían Santa Rosa,



Figura 4. Sistema de señalética. Fuente: INDECI, 2022.

Carta de Inundación por Tsunami	Provincia	Distrito	Rutas de evacuación	Zonas de refugio
Caleta Grau (Fig. 5)	Tacna	Sama	-	-
Caleta VilaVila (Fig. 6)	Tacna	Sama	Presenta	Presenta
Balneario Tomoyo y Boca del Río	Tacna	Sama	-	-
Playa Llostay	Tacna	Sama	-	-
Playa La Yarada	Tacna	La Yarada Los Palos	-	-
Playa Los Palos	Tacna	La Yarada Los Palos	-	-
Playa Santa Rosa	Tacna	La Yarada Los Palos	-	-

Tabla 1. Reconocimiento de la información de las Cartas de Inundación por Tsunami en Tacna. Fuente: Elaboración propia. (DIHIDRONAV, 2017).

Playa	Nivel de afectación	Altitud	Población Afectada según Censo INEI 2017
Santa Rosa	Afectación hasta los 3000 m de distancia respecto a la costa. Campos agrícolas y balnearios arrasados.	10 m	26
Los Palos y La Yarada	Penetración de ola hasta los 2000 m. Agricultura severamente dañada.	18 m 12m	271
Llostay	100 % de afectación en los balnearios	15 m	38
Boca del Río - Vila Vila	Las olas afectan hasta los 35 o 40 m s. n. m.	11 m 14m	779
Puerto Grau	Viviendas e infraestructura portuaria afectada	10 m	192

Tabla 2. Afectación a las playas de Tacna ante posible tsunami. Fuente: Municipalidad Provincial de Tacna modificado 30.09.2025.

donde la ola penetraría hasta los 3000 m y serían arrasados todos los balnearios y campos agrícolas; Los Palos y La Yarada, donde la ola alcanzaría hasta los 2000 m de distancia y dañaría la agricultura; la playa Llostay sería afectado al 100 %; en Boca del Río y Vila Vila las olas afectarían hasta los 35 o 40 m sobre el nivel del mar; y en Puerto Grau todas las estructuras portuarias, como viviendas, se verían afectadas. Tabla 2.

Discusión

En 2022, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) publicó el “Manual y Guías 82”, que establece un marco metodológico para la elaboración de mapas de inundación y evacuación ante tsunamis. Este documento busca fortalecer la preparación de las comunidades mediante la realización de simulacros y ejercicios que fomenten la participación ciudadana. La guía

enfatisa que, “sin la preparación de la comunidad frente a los tsunamis, las posibilidades de que las personas evacuen y sobrevivan a un tsunami generado localmente son mínimas”.

De este planteamiento, se deduce que la preparación efectiva de las comunidades vulnerables depende de dos componentes fundamentales: los mapas de inundación, desarrollados con rigor científico y los mapas de evacuación y zonas de riesgo, elaborados de manera participativa.

Dada la frecuencia de movimientos sísmicos y tsunamis, que representan riesgos significativos para las poblaciones costeras, se requieren acciones proactivas para desarrollar propuestas preventivas que garanticen la seguridad ciudadana. El desafío para las entidades responsables consiste en establecer protocolos de trabajo que permitan identificar, de manera rápida y eficaz, las zonas seguras, tomando como base la guía mencionada.

Es crucial fomentar el diálogo y la participación ciudadana, especialmente considerando que gran parte de la población, actualmente, permanece ajena a los temas de gestión del riesgo de desastres. La guía de la COI representa un aporte significativo para los organismos gubernamentales encargados de implementar acciones preventivas, ya que define conceptualmente los criterios para elaborar rutas de evacuación, integrando las cartas de inundación y la participación comunitaria como insumos fundamentales.

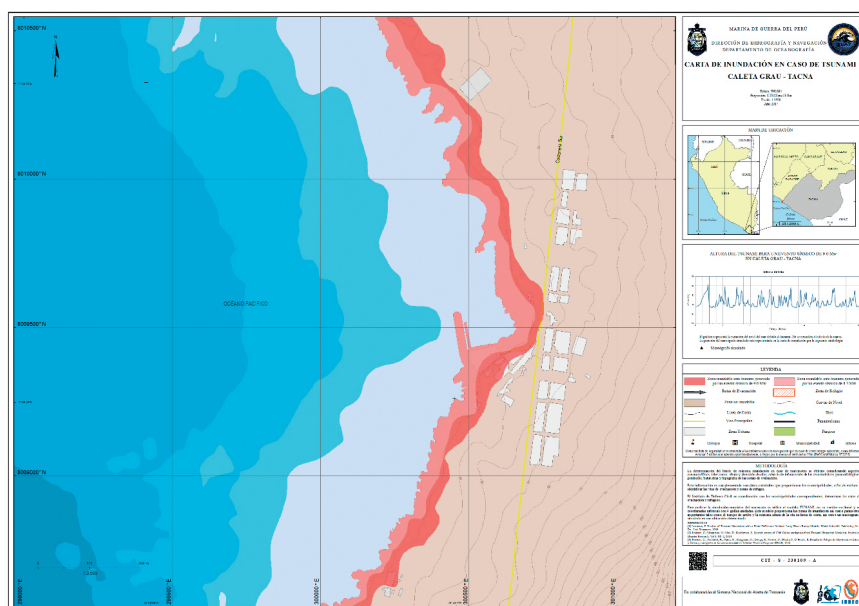


Figura 5. Carta de Inundación sin información de rutas de evacuación y zonas de refugio.
Fuente Caleta Grau - Tacna.

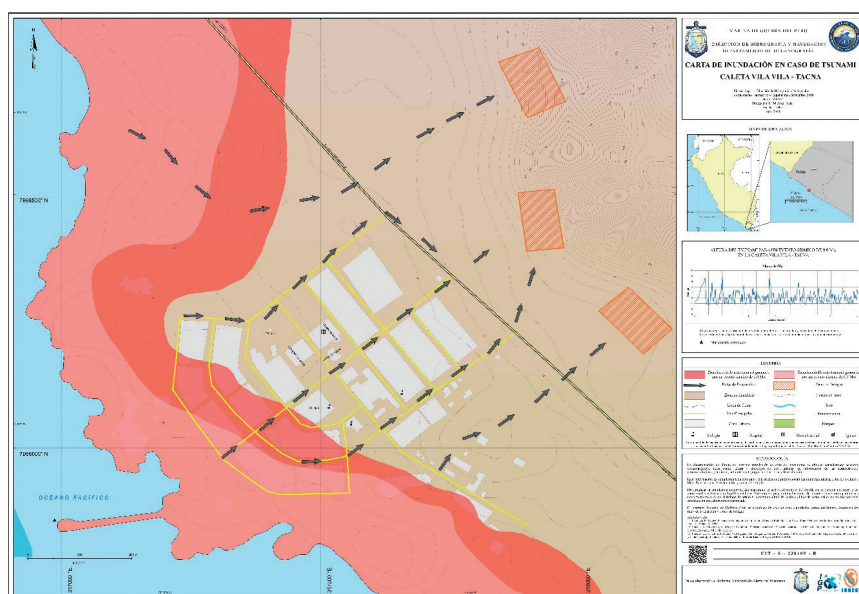


Figura 6. Carta de Inundación con información de rutas de evacuación y zonas de refugio.
Caleta Vila Vila - Tacna. Fuente: (DIHIDRONAV, 2018).

Referencias Bibliográficas

- Comisión Oceanográfica Intergubernamental (2020). Manuales y Guías 82: Preparación para Evacuaciones de Comunidades en Caso de Tsunami; De mapas de inundación a mapas de evacuación, planes de respuesta y simulaciones. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373019_spa.
- Instituto Nacional de Defensa Civil – Dirección de Hidrografía y Navegación (2017). Identificación de rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunamis. <https://portal.indec.gov.pe/wp-content/uploads/2019/01/201710241613271-1.pdf>.
- Instituto Nacional de Defensa Civil – Dirección de Hidrografía y Navegación (2017). Guía Técnica para la Estandarización de Señales de Seguridad en caso de Tsunami: Costa Peruana.
- https://www.dhn.mil.pe/files/cnat/pdf/otros/GUIA_TECNICA_SE%20C3%91ALES_TSUNAMIS_2017_version_final.pdf.
- Jiménez, C. (2015). “El maremoto notable de 1746”. Tesis de maestría, UNMSM Lima, Perú.
- PromPeru (s.f), Tacna. <https://www.peru.travel/Portals/1/Tacna.pdf>.
- Silgado, F. (1974). Historia de los Grandes Tsunamis Producidos en la Costa Occidental de América del Sur.
- <https://www.jorgealvahurtado.com/files/HistoriagrandestsunamisSilgado.pdf>.



Impacto de la norma ISO 9001 en el Proceso de producción de la Carta Náutica Electrónica

Bach. en Ing. Geog. Verm Lester Vilca Ruíz
vvilca@dhn.mil.pe



La Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DIHIDRONAV) desde el año 1903 hasta la fecha ha mejorado notoriamente sus productos cartográficos y batimétricos. A través del tiempo se ha venido dando esta mejora, con el alcance de la certificación ISO 9001 en Sistema de Gestión de la Calidad, logrado el año 2008 y su actualización en el año 2015, lo cual ha sido el fruto de haber superado dificultades en el esquema de trabajo en el proceso de producción de la carta náutica electrónica, con esmero, dedicación y organización.

Since 1903, the Directorate of Hydrography and Navigation of the Peruvian Navy (DIHIDRONAV) has significantly improved its cartographic and bathymetric products. This improvement has taken place over time, with the achievement of ISO 9001 certification in Quality Management Systems in 2008 and its update in 2015, which has been the result of overcoming difficulties in the work scheme in the production process of electronic nautical charts, with care, dedication and organization.

La transición tecnológica en la DIHIDRONAV, que implicó el paso de la cartografía convencional a la digital, se ha fundamentado en el uso de una base de datos hidrográfica robusta. Este cambio permitió la implementación de procesos y subprocesos diseñados específicamente para el desarrollo y producción de productos de alta calidad, garantizando que la cartografía actual brinde confianza, eficacia y seguridad a las Unidades Navales y a la comunidad marítima en general.

Este desarrollo responde a lineamientos internacionales de alta relevancia. En el año 2004, el Comité Mundial de la Base de Datos de Cartas Náuticas Electrónicas (WEND) recomendó la aplicación de normas reconocidas para asegurar la calidad en los servicios de las cartas náuticas electrónicas. Posteriormente, en 2005, la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) instó a los Estados Miembros a implementar sistemas de gestión de calidad bajo el estándar ISO 9001. Asimismo, la Organización Marítima Internacional (OMI), a través del convenio SOLAS, exige que estas cartas sean emitidas oficialmente por el Servicio Hidrográfico nacional. En este contexto, la certificación obtenida a través de la certificadora internacional SGS garantiza la consistencia y el cumplimiento de los estándares de producción global.

Principios y Operatividad del Sistema de Gestión de Calidad (SGC)

El SGC institucional se fundamenta en tres principios rectores que aseguran la integridad del servicio. En primer lugar, la Documentación de Procesos (Estandarización) permite registrar las metodologías operacionales de forma concisa, asegurando la trazabilidad y transparencia en todas las acciones del sistema. En segundo lugar, la Conformidad Operacional (Garantía de Calidad) asegura que el personal cumpla estrictamente con los procedimientos documentados, garantizando la uniformidad en la ejecución bajo las instrucciones del Comando Naval. Finalmente, la Gestión de Evidencia y

Mejora Continua genera los registros necesarios para el análisis objetivo, permitiendo identificar no conformidades e implementar acciones preventivas que optimicen el sistema de forma constante.

En cuanto a la dinámica operativa, los procesos dentro del sistema integrado se definen como el conjunto de actividades interrelacionadas que transforman las entradas de datos en resultados previstos de alto valor agregado, siendo la producción de la CNE el ejemplo principal. Para ello, se emplea la Caracterización del Proceso, una herramienta que mapea los subprocesos y sus respectivas entradas y salidas, facilitando el registro de las evidencias exigidas por la norma internacional. Este enfoque se aplica bajo un alcance definido que comprende la totalidad de los procesos estratégicos de la gestión de calidad.

Relevancia y Beneficios Institucionales

La implementación de la norma ISO 9001 mejora significativamente la satisfacción del cliente al alinear los objetivos de la organización con sus necesidades y expectativas, asegurando productos adaptados a los requerimientos presentes y futuros. Esta importancia radica en el fortalecimiento de la confianza del usuario, la estabilidad en el desarrollo técnico y el fomento del liderazgo entre los trabajadores.

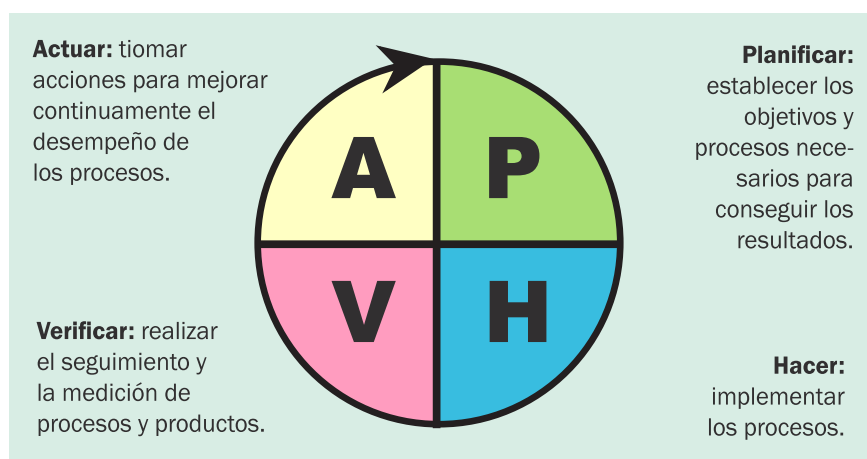
Para la DIHIDRONAV, los beneficios se traducen en una mayor consistencia competitiva y eficiencia en el

uso de recursos, tiempo y capital. La normalización no solo reduce errores operativos y aumenta la utilidad institucional, sino que también permite identificar oportunidades críticas de mejora en la producción de cartas náuticas electrónicas. De igual manera, se eleva la confianza de los navegantes y se promueve una actitud proactiva en el personal mediante la capacitación continua para cubrir brechas de desempeño. El análisis de no conformidades se convierte así en el motor de las acciones correctivas necesarias para la mejora continua.

Impacto en el Departamento de Cartografía

La aplicación de la norma en el Departamento de Cartografía ha generado mejoras tangibles en la eficiencia operacional, logrando la optimización y agilización de procesos mediante la eliminación de redundancias. Esto resulta en una mayor productividad, reducción de costos y tiempos de entrega más cortos, sumado a una gestión de riesgos que facilita la toma de decisiones eficaz en la producción de cartas náuticas electrónicas.

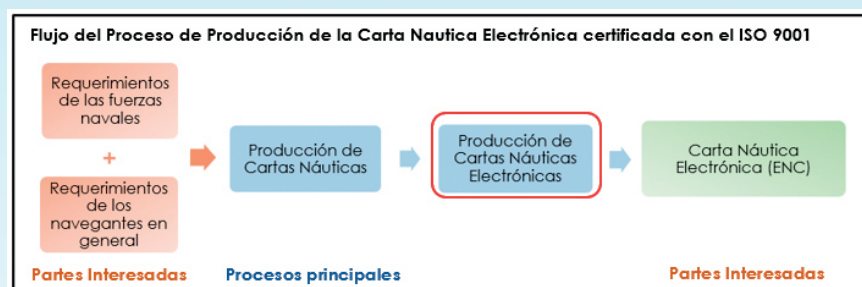
La sostenibilidad de la calidad se garantiza a través de procedimientos estandarizados y la aplicación del ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), asegurando el control constante de cada subproceso. A nivel global, el cumplimiento de los estándares de la OHI y la documentación transparente refuerzan el prestigio internacional de la institución ante la comunidad hidrográfica mundial.



INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN Y EVIDENCIA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD

Documento / Instrumento	Función en el Proceso de Producción	Frecuencia / Componentes
Cronograma de Producción de CNEs	Planificación y seguimiento de metas de producción.	Trimestral
Reporte de Gestión	Evaluación integral del desempeño del proceso productivo.	Continuo
Evaluación de Satisfacción	Medición del índice de percepción y necesidades del cliente final.	Periódico
Registro de Software Validador	Control técnico y aseguramiento de la calidad del software utilizado.	Por proceso
Caracterización del Proceso	Definición de subprocesos, entradas y salidas del sistema.	Estructural
Historial de la CNE	Formatos de evidencias: Autorización, Hoja de Verificación y Tabla de contenido digital.	Por unidad producida

Esta tabla resume los instrumentos técnicos que garantizan la eficacia del sistema en la DIHIDRONAV.



Flujo de procesos en la DHN y cliente final para vender la Carta Náutica Electrónica.

Aplicación Práctica y Flujo de Procesos

El flujo productivo se inicia con el Plan Cartográfico o requerimientos de las Fuerzas Navales, transitando hacia el proceso técnico de producción cartográfica hasta obtener el producto final para el cliente. Para demostrar la eficacia de esta gestión, se actualizan constantemente instrumentos como el cronograma trimestral de producción, reportes de gestión, evaluaciones de

satisfacción del cliente y registros de validación de software. Un componente esencial es el Historial de la CNE, que contiene evidencias críticas como la autorización para la producción, hojas de verificación y la tabla de contenido digital. Estos documentos garantizan que el sistema mantenga su aprobación en auditorías internas y externas.

Toda esta documentación es fundamental para sustentar las auditorías internas y externas, demostrando

que la producción de Cartas Náuticas Electrónicas se mantiene bajo los más altos estándares de calidad internacional.

Conclusiones

La norma ISO 9001 es un pilar fundamental para la elaboración de la carta náutica electrónica, ya que fomenta un enfoque basado en procesos y la mejora continua a través del ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Comprobar, Actuar). La adopción de este sistema representa una decisión estratégica y una ventaja competitiva para la División de Carta Electrónica. En definitiva, contar con este marco normativo permite a la DIHIDRONAV enfrentar desafíos tecnológicos futuros, como el estándar S-100 de la OHI, asegurando una gestión eficiente, sostenible y alineada con la seguridad de la navegación global.

Referencias Bibliográficas

- Norma Internacional ISO 9001 - Requisitos, Versión 5ta edición 2015-09-15.
- Manual del sistema de gestión integrada de la Dirección de Hidrografía y Navegación y del servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía basado en las normas ISO 9001: 2015, ISO 14001:2015, ISO 37001:2016 - MAGEIN-15333, 2da ed. enero 2019.
- Publicación S-100 - Universal Hydrographic Data Model - Edition 1.0.0 January 2010 - INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION
- <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2023/05/requisitos-regulatorios-de-iso-90012015-y-su-importancia/>



Criterios de relevancia náutica para la Actualización segura y eficiente de las cartas náuticas

Equilibrio entre seguridad de la navegación y sobrecarga de información



T1. Hid. Henry Muñoz Valqui
hmunoz@dhm.mil.pe

La relevancia náutica es un concepto inherente a la hidrografía moderna, que consiste en identificar aquella información que debe ser registrada en las cartas náuticas para garantizar la seguridad de la navegación, sin la necesidad de sobrecargarle de datos al navegante. La aplicación de disposiciones internacionales emanadas de la OHI, IALA, OMI; y de la Dirección de Hidrografía y Navegación “Normas Técnicas Hidrográficas N° 33” se establecen criterios claros para diferenciar la información principal de la secundaria. En este artículo se aborda los procesos de análisis, selección y difusión de datos, y se muestra cómo mantener el equilibrio entre seguridad y claridad en los productos náuticos oficiales.

Nautical relevance is a fundamental concept in modern hydrography, as it allows for identifying the information that must be included on nautical charts to ensure safety without overloading the navigator with data. The application of international standards (IHO, IALA, IMO) and of the publication Hydrographic Technical Standards No. 33 in Peru establishes clear criteria for differentiating between primary and secondary information. This article addresses the process of data analysis, selection, and dissemination, showing how to maintain a balance between safety and clarity in official nautical products.

En la navegación marítima, fluvial y lacustre, las cartas náuticas constituyen herramientas indispensables para la seguridad de la vida humana en el medio acuático; sin embargo, la información hidrográfica es amplia y dinámica; existen, por ejemplo, variaciones en los sondeos y en las ayudas a la navegación, modificaciones en la infraestructura portuaria, o la aparición de nuevos peligros. Ante ello, surgen las preguntas ¿qué información debe incorporarse de inmediato a una carta o publicación, y qué puede esperar una actualización posterior?

La respuesta se encuentra en el significado del concepto “relevancia náutica”, entendido como el valor que tiene un dato para la seguridad de la navegación. Su adecuada aplicación permite que los navegantes cuenten con cartas náuticas de alta calidad y confiabilidad, que no estén saturadas de símbolos o notas, que, lejos de ayudar, puedan generar confusión.

En el presente artículo, se desarrollan los fundamentos normativos y técnicos que respaldan la aplicación de la relevancia náutica en la elaboración de las cartas náuticas, tanto en el marco internacional como en el ámbito nacional, a través de normas técnicas hidrográficas; asimismo, se exponen los criterios prácticos para valorar la información, presentando ejemplos del proceso que lleva a la emisión mensuales de Avisos a los Navegantes para la actualización de cartas y publicaciones náuticas. Finalmente, se reflexiona sobre la necesidad de mantener un equilibrio entre la seguridad y la claridad, asegurando la confianza del navegante en la información que brinda la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV) para actualizar los productos náuticos.

Marco normativo

La relevancia náutica no se determina de un modo arbitrario, se sustenta en directrices internacionales, así como en normas nacionales que aseguran la uniformidad y confiabilidad de la información hidrográfica. Entre las referencias más importantes se encuentran las publi-



Levantamiento de información hidrográfica.

casadas por la Organización Hidrográfica Internacional, Iwwa Organización Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima, la Organización Marítima Internacional, y en el Perú, la publicación Normas Técnicas Hidrográficas N° 33.

Organización Hidrográfica Internacional (OHI)

La OHI establece directrices fundamentales para la producción y actualización de cartas náuticas. Destacan los siguientes documentos:

- Publicación S-4 “Reglamento para Cartas Internacionales (INT) y Especificaciones Cartográficas de la OHI”. Ofrece criterios cartográficos estandarizados, incluyendo la valoración que determine cuáles son los elementos que deben representarse, según su impacto

en la seguridad de la navegación.

- Publicación S-44 “Normas de la OHI para Levantamientos Hidrográficos”. Fija requisitos mínimos de exactitud y calidad en los datos, garantizando que la información incluida en las cartas tenga la debida confiabilidad.
- Publicación S-32 “Diccionario hidrográfico”. Define, de manera precisa, términos como “peligro para la navegación” o “ayuda a la navegación”, facilitando la uniformidad en el análisis técnico.

Organización Internacional de Ayudas a la Navegación Marítima (IALA)

La IALA proporciona guías técnicas para la gestión, mantenimiento y presentación de las ayudas a la navegación. Sus recomendaciones contribuyen a determinar la relevancia de un faro, boya o señal, en función de su papel en la seguridad marítima.

Organización Marítima Internacional (OMI)

Si bien la OMI no regula directamente la cartografía, sus convenios, especialmente el Convenio SOLAS (Safety of Life at Sea), exigen que los Estados proporcionen a los navegantes cartas y publicaciones actualizadas, resaltando la importancia de priorizar la información crítica para la seguridad.

Normativa nacional: Publicación Normas Técnicas Hidrográficas N° 33

En el Perú, esta publicación de la DIHIDRONAV establece el procedimiento para la recepción, análisis y valoración de la información que pueda afectar la seguridad marítima. Estas normas constituyen la base para decidir cuáles serán los datos que deberán incorporarse a los productos náuticos (cartas y publicaciones) de manera inmediata, y cuáles pueden ser programados para una edición futura.

Proceso de valoración de la información

El análisis de la relevancia náutica comienza con la recepción de la información procedente de múltiples fuentes, como los levantamientos hidrográficos, las brigadas de actualización de derroteros, los reportes de las capitanías de puerto, las observaciones de los navegantes, los avisos de los terminales portuarios, las comunicaciones de empresas relacionadas

con el medio acuático, entre otras. No obstante, no toda la información recibida tiene el mismo nivel de importancia ni la misma urgencia de difusión.

Recepción y análisis preliminar

Toda información recibida es analizada preliminarmente para asegurar el antecedente del dato, así como identificar su procedencia, urgencia, la fecha de recepción y el área responsable de la evaluación (radioaviso náutico, boletín "Aviso a los Navegantes", etc.).

Validación y contraste

La validez de la información se confirma mediante la comparación con fuentes oficiales o antecedentes verificados; asimismo, mediante comprobaciones en campo mediante brigadas por mar y tierra, o de observaciones hechas por el personal hidrógrafo destacado en las diversas capitanías de puerto. En esta etapa, se descartan reportes no comprobados o duplicados, evitando saturar los productos cartográficos con datos de dudosa confiabilidad.

Evaluación de la relevancia

El criterio principal es determinar si la información representa lo siguiente:

- Un peligro inmediato para la navegación. Por ejemplo, un bajo no representado en la carta, la pérdida de una boya, un naufragio reciente, etc.

- Una modificación significativa en ayudas a la navegación. Por ejemplo, la instalación de un nuevo faro, cambio de características de señal luminosa, etc.
- Un dato complementario o de interés secundario. Por ejemplo, las variaciones menores en sondajes o cambios administrativos de un muelle.

En este punto se aplica lo establecido por la OMI y las normas técnicas hidrográficas de la DIHIDRONAV, que proporcionan criterios para decidir si un dato debe ser publicado de inmediato en un radioaviso náutico, ser incluido en el boletín mensual "Aviso a los Navegantes", o programado para una nueva edición de la carta náutica.

Priorización y decisión

La información validada y clasificada se somete a una decisión técnica e institucional, en la que especialistas determinan el medio de difusión más adecuado; la prioridad siempre será garantizar la seguridad del navegante y que la información sea útil y oportuna; al mismo tiempo, se busca mantener productos náuticos con información clara, legible y libre de sobrecarga, de modo que faciliten la interpretación y la toma de decisiones durante la navegación.

Criterios de selección de información

La aplicación del concepto de relevancia náutica exige establecer criterios claros que permiten orientar al técnico



Especialistas priorizan la información que actualiza productos náuticos.

analista en la toma de decisiones. No se trata únicamente de registrar datos, sino de discernir cuáles son los verdaderamente críticos para la seguridad de la navegación y cuáles pueden ser considerados en etapas posteriores.

Información que requiere publicación inmediata

Son los datos que, de no difundirse de manera urgente, pueden poner en riesgo directo la vida humana en el mar o la seguridad de las embarcaciones. Deben comunicarse a través de los radioavisos náuticos para el área NAVAREA XVI asignada al Perú. Ejemplo de ellos son los siguientes:

- Descubrimiento de bajos no representados en la carta náutica y que pueden constituir un peligro a la navegación.
- Naufragio reciente en canales de acceso o en rutas de navegación principales.
- Desaparición o pérdida de una boya luminosa de importancia crítica.
- Modificación significativa en el balizamiento de un puerto.

Información de importancia significativa, pero no urgente

Estos datos, aunque relevantes, no constituyen un peligro inmediato. Su publicación se canaliza a través de los boletines mensuales de Avisos a los Navegantes. Ejemplo de ellos son los siguientes:

- Cambios en características lumínicas de un faro de importancia no crítica.
- Inclusión de tuberías submarinas o artefactos navales flotantes.
- Actualización de límites de zonas de fondeo, aligeramiento o áreas reservadas.

Información complementaria o secundaria

Se trata de datos que mejoran la exactitud de la cartografía, pero cuya ausencia no representa un riesgo para la seguridad inmediata. Estos se incorporan en nuevas ediciones de cartas y

publicaciones periódicas como derroteros, listas de faros y señales náuticas, etc., ejemplo:

- Variaciones menores en sondajes en áreas alejadas de rutas principales.
- Cambios administrativos en nombres de instalaciones portuarias.
- Mejoras en infraestructura que no alteran el esquema de navegación.
- Información topográfica complementaria en la carta náutica.

Principio de equilibrio

El criterio de selección no se limita a clasificar información, sino a mantener un equilibrio entre seguridad y claridad. Una carta náutica sobrecargada de símbolos o anotaciones puede confundir al navegante y generar el efecto contrario al deseado; por ello, se prioriza siempre la información esencial para la seguridad, reservando la secundaria como complementaria para ediciones posteriores.

Equilibrio entre seguridad y claridad

El principal objetivo de las cartas náuticas es brindar seguridad al navegante; sin embargo, este puede verse afectado cuando se sobrecargan los productos con información excesiva o poco relevante. La claridad gráfica y la facilidad de interpretación son tan importantes como la precisión de los datos.

El riesgo de la saturación de información

Una carta con símbolos, anotaciones y notas excesivas pueden dificultar su lectura en situaciones críticas, como maniobras en áreas restringidas o durante la navegación nocturna. En tales casos, la saturación de datos puede generar dudas y retrasos en la toma de decisiones y afectar la seguridad.

El valor de la simplicidad funcional

La OHI, a través de la S-4, recomienda representar únicamente los elementos que inciden directamente en la seguridad de la navegación; de esta forma, el

navegante cuenta con una herramienta clara, en la que los peligros y las ayudas a la navegación esenciales destacan sin distracciones innecesarias.

Ejemplos prácticos

- Representar en la carta cada pequeño cambio en el valor del sondaje en zonas alejadas de rutas principales es un caso de saturación de información; se debe, en cambio, actualizar y resaltar esas modificaciones preferentemente en canales de acceso a puertos, donde el tránsito sea intenso y existan riesgos en la maniobra.
- Incluir múltiples notas descriptivas en instalaciones marítimas menores no tiene mayor relevancia; por otro lado, priorizar la información de boyas, faros y límites de áreas restringidas resulta indispensable.
- Representar muchas tuberías submarinas en aguas someras y de tránsito regular puede generar aglomeración de información vital para el navegante; mientras que representar estas áreas como “zona de tuberías”, dejando claros los sondajes existentes dentro de ella, evita la saturación en la carta.

Rol del analista cartográfico

El profesional encargado de la actualización debe aplicar un criterio técnico que equilibre ambos extremos. La decisión no radica solo en qué incluir, sino en cómo representarlo: el uso correcto de símbolos normalizados, colores estandarizados y notas concisas permite que la carta sea a la vez completa y legible.

Aplicación práctica en el Perú

El concepto de relevancia náutica se aplica de manera concreta en los trabajos de la DIHIDRONAV, autoridad responsable de la producción y actualización de cartas y publicaciones náuticas oficiales del Perú.

Recepción de información

La DIHIDRONAV recibe información de distintas fuentes, tales como las siguientes:

CRITERIOS DE RELEVANCIA NÁUTICA PARA LA ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA		
Tipo de información	Ejemplo	Acción inmediata recomendada
Nuevos peligros	Bajos, obstrucciones, restos hundidos	Aviso inmediato a los navegantes (radioaviso náutico para el área NAVAREA XVI).
Cambios en sondajes críticos	Profundidades menores en canales o fondeaderos	Aviso inmediato a los navegantes (radioaviso náutico para el área NAVAREA XVI).
Cambios secundarios en ayudas a la navegación	Traslado de boya, nueva luz, cambio de características	Informar a los navegantes (boletín “Aviso a los Navegantes”, gráfico o textual, lo que ofrezca más claridad).
Información de obras y estructuras marítimas	Modificaciones administrativas en puertos, plataformas	Informar a los navegantes (boletín “Aviso a los Navegantes”).
Cambios menores sin riesgo	Detalles secundarios, toponimia, información general	Registrar para la nueva edición de la carta náutica.



Brigadas de campo actualizando información hidrográfica.

- Capitanías de Puerto, que reportan modificaciones en boyas, faros o infraestructura portuaria, así como naufragios o embarcaciones a la deriva dentro del área de su jurisdicción.
- Terminales portuarios, que comunican variaciones de calado o apertura de nuevas áreas de maniobra.
- Autoridad Marítima Nacional o Autoridad Portuaria Nacional, que informan de proyectos de infraestructura portuaria, como muelles, rompeolas e instalaciones diversas.
- Naves y navegantes en general, que informan sobre descubrimientos de bajos, objetos flotantes peligrosos o naufragios.

Análisis y priorización

Aplicando lo establecido en la publicación Normas Técnicas Hidrográficas N° 33, los especialistas de la DIHIDRONAV evalúan cada reporte, considerando su confiabilidad, urgencia y relevancia para la seguridad de la navegación. La decisión final determina el medio de publicación más adecuado:

- Radioavisos náuticos (Área NAVAREA XVI), para información crítica e inmediata.
- Boletines mensuales, para cambios importantes, pero no urgentes.
- Nuevas ediciones de cartas y publicaciones: en las cuales se incluirán

los ajustes secundarios o complementarios.

Productos oficiales

Los navegantes cuentan con una red de productos que reflejan la aplicación del concepto de relevancia náutica:

- Radioavisos náuticos que son transmitidos urgentemente para toda el área NAVAREA XVI.
- “Avisos a los navegantes” mensuales que consolidan y organizan la información.
- Cartas náuticas en papel y electrónicas (ENCs), que son actualizadas periódicamente.

- Publicaciones complementarias, como derroteros, listas de faros y señales náuticas, etc., que amplían la información de las cartas náuticas.

Ejemplo aplicado

Un caso común es la detección de un naufragio en un canal de acceso. La DIHIDRONAV emite un radioaviso náutico inmediato, y posteriormente, (solo si el peligro se mantiene), publica un cambio en el boletín mensual “Aviso a los Navegantes” para actualizar la información en la carta y en la publicación, respectivamente. En contraste, detalles como referencias topográficas secundarias se incorporan en la próxima edición de la carta náutica y el derrotero (si correspondiera), evitando sobrecargar la carta.



DIHIDRONAV, permanente promoción del desarrollo de la navegación segura.

Conclusiones

La relevancia náutica constituye un principio fundamental para garantizar que las cartas náuticas sean claras, confiables y útiles para la navegación. Su aplicación permite elegir la información verdaderamente crítica que representa riesgos a la seguridad, evitando la sobrecarga gráfica y textual que pueda generar confusión en los usuarios.

En el ámbito internacional, las directrices de la OHI, IALA y OMI proporcionan un soporte normativo sólido, mientras que, en el ámbito nacional, la publicación Normas Técnicas Hidrográficas N° 33 asegura la cohe-

rencia y la uniformidad en la valoración de los datos. El proceso de análisis preliminar, validación, evaluación y priorización convierte los datos primarios en productos de alta calidad para actualizar la información en cartas y publicaciones.

En el Perú, la labor de la DIHIDRONAV refleja claramente la importancia de este criterio. Los radioavisos náuticos, los “Avisos a los Navegantes” mensuales y las nuevas ediciones de cartas y publicaciones muestran cómo se organiza y distribuye la información según su relevancia náutica, reforzando además

la responsabilidad institucional permanente de garantizar datos actualizados, seguros y útiles para la navegación.

El equilibrio entre seguridad y claridad garantiza que la cartografía oficial sea confiable para planificar una navegación segura. La “relevancia náutica” representa más que un concepto técnico: es un compromiso continuo con la seguridad marítima nacional e internacional, sustentado en procesos permanentes de mejora, actualización y supervisión institucional, que refuerzan su valor para maniobras marítimas.

Referencias Bibliográficas

- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú. Normas Técnicas Hidrográficas N° 33: Criterios generales y procedimientos para la elaboración y difusión de los Avisos a los Navegantes. Callao: DIHIDRONAV, 2022.
- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú. Boletín “Avisos a los Navegantes”. Publicación mensual, ediciones varias.
- International Association of Lighthouse Authorities (IALA). IALA Maritime Buoyage System. París: IALA, 2022.
- Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Publicación S-4: Reglamento para Cartas Internacionales (INT) y Especificaciones Cartográficas de la OHI. Mónaco: OHI, 2021.
- Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Publicación S-32: Diccionario Hidrográfico Internacional. Mónaco: OHI, 2023.
- Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Publicación S-44: Normas de la OHI para Levantamientos Hidrográficos. Mónaco: OHI, 2024.
- Organización Marítima Internacional (OMI). Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), Capítulo V. Londres: OMI, enmendado.

ACTUALIDAD

hidrográfica

INSTITUCIONALES

DELEGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD MARÍTIMA MUNDIAL



Como parte de las actividades profesionales, protocolares y culturales, el 3 de junio una delegación de la Universidad Marítima Mundial visitó la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, donde fue recibida por su director, el contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa, quien dio la bienvenida y resaltó los sólidos vínculos institucionales, así como la permanente labor en investigación marina y su aporte al desarrollo nacional.



Durante la jornada, la delegación visitante conoció el Centro Nacional de Alerta de Tsunamis, su capacidad operativa para el monitoreo sísmico, la tecnología de punta disponible y el personal altamente calificado. La Universidad Marítima Mundial es un centro global de educación e investigación avanzada, con sede en Suecia, que forma profesionales de países en desarrollo y fortalece capacidades para la gobernanza marítima internacional, mediante cooperación académica y técnica especializada.

CADETES DE LA ACADEMIA NAVAL DE LOS ESTADOS UNIDOS

Como parte del programa de intercambio académico, el 26 de junio, dos cadetes de la Academia Naval de los Estados Unidos de América visitaron la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, donde reforzaron sus conocimientos formativos.

El programa se inició con la ponencia de la Teniente Segundo Valeria López-Torres, quien se refirió a los trabajos técnico-científicos que realiza el personal, así como la tras-

cedente misión que cumple la Institución en el litoral de la costa peruana y en la Antártida.

Las cadetes recorrieron los departamentos de Hidrografía, Cartografía, Oceanografía, el Archivo histórico y el Centro Nacional de Alerta de Tsunamis, en los cuales el personal especializado les explicó acerca del desarrollo de los procesos cartográficos e hidrográficos para producir una carta náutica.



FUNCIONARIOS DE LA PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS Y DEL MINISTERIO DE DEFENSA VISITAN EL B.A.P. "CARRASCO"

En el marco de sus actividades de supervisión y acompañamiento, orientadas a garantizar la eficiencia en el empleo de los recursos asignados, funcionarios de la Oficina de Cumplimiento de Gobierno de la Presidencia del Consejo de Ministros y del Ministerio de Defensa, el 15 de agosto, visitaron el B.A.P. "Carrasco".

La jornada se inició con una exposición en el auditorio, donde conocieron las capacidades del buque y pormenores de la última campaña, para luego continuar con el recorrido por el puente, cubierta portahelicóptero y laboratorios. En el Salón Carrasco se dieron a conocer los indicadores de gestión respecto a las campañas antárticas, reportadas a través del Estado Mayor General de la Marina, que evidenciaron el compromiso institucional con el alistamiento del buque.



FIRMA DE ADENDA AL CONVENIO CON EL GOBIERNO REGIONAL DE UCAYALI

El Director de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra, Contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa, y el Gobernador Regional de Ucayali, Manuel Gambini Rupay, ante la amenaza del rompimiento del meandro del río Ucayali en cercanías a la ciudad de Pucallpa, suscribieron la adenda al convenio marco entre ambas instituciones, que permitirá desarrollar estudios hidromorfológicos en el sector de Parahuashá, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo.

Los estudios se desarrollarán en dos etapas, en la vaciante 2025 y la creciente 2026. La primera se inició el 20 de agosto con las mediciones de batimetría en una zona integra, que abarca la sección del río Ucayali, desde Vista Alegría hasta la desembocadura del río Aguaytía, donde se efectuaron secciones cada 150 metros, mientras que, en el área de interés, fueron cada 50 metros. Del mismo modo, en las zonas cercanas a la ciudad de Pucallpa, la batimetría se efectuó con tecnología multihaz, complementada con un drone topográfico para las secciones transversales de 50 m, desde la orilla del río hacia tierra.



Por otro lado, se realizarán mediciones de aforos sólidos, en las que se recolectarán muestras de fondo en zonas puntuales, que serán tomadas en el centro del río y en sus dos orillas. Estos trabajos serán complementados con mediciones de aforos líquidos para determinar los caudales a lo largo del área de estudio.

Los resultados de estos trabajos, serán ingresados a un modelo numérico, el cual permitirá conocer el estado real de la amenaza de erosión o una posible sedimentación del río Ucayali en la zona del meandro del sector Parahuashá.



OLIMPIADAS DEPORTIVAS POR ANIVERSARIO DE LA DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN

Integrantes de la Dirección de Hidrografía y Navegación participaron en las Olimpiadas Deportivas, organizadas como parte del programa de actividades con motivo de conmemorar el 122° aniversario de dicha dependencia naval. El evento tuvo como propósito fortalecer la cohesión del personal, demostrar el espíritu competitivo y hacer más sólido el orgullo de formar parte de la Marina de Guerra del Perú.

En el acto inaugural, el Director, Contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa, dio la bienvenida a los equipos e instó

a poner su mayor esfuerzo, entusiasmo y dedicación para el desarrollo de las competencias deportivas. Asimismo, la destacada voleibolista Daniela Uribe Soriano tuvo a cargo la juramentación de las delegaciones deportivas de la dirección.

Al finalizar, los equipos del B.A.P. “Carrasco”, que participaron en las disciplinas de fútbol, vóley y maratón, obtuvieron el primer puesto demostrando fortaleza física, coraje y aptitud ganadora.



CITAS INTERNACIONALES

TRIGÉSIMA SEXTA REUNIÓN DE ADMINISTRADORES DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS

Entre el 22 y el 25 de setiembre, se desarrolló la “XXXVI Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos”, en el que participaron representantes de Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Perú y Uruguay en calidad de miembros plenos, así como también de Colombia, en calidad de observadores.

Este foro regional, realizado en Punta Arenas, Chile, tuvo como objetivo principal propiciar la cooperación y el apoyo mutuo en aspectos científicos, técnicos, logísticos y ambientales relacionados con actividades antárticas, a fin de aunar y coordinar esfuerzos, optimizando el empleo de los recursos, en concordancia con los principios y objetivos establecidos en el Sistema del Tratado Antártico, para contribuir a la protección y conservación del medio ambiente en el continente blanco, así como de sus ecosistemas dependientes y asociados.



La delegación peruana fue presidida por el Director de Asuntos Antárticos del Ministerio de Relaciones Exteriores e integrada, además, por un oficial de la Marina de Guerra del Perú. Es preciso señalar que, nuestro país, en el marco de la Trigésima Segunda Campaña

Científica del Perú a la Antártida, tiene proyectado efectuar estudios científicos, así como el mantenimiento de la Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP), lo que pone de manifiesto el compromiso del Perú con el Sistema del Tratado Antártico.

OFICIAL PARTICIPA EN CURSO INTERNACIONAL “S-57 TO S-101 CONVERSION AND S-100 PRODUCTION COURSE”

En el centro de instrucción “Almirante Araújo Pinheiro” (CIAARA), en Niterói, Brasil, se realizó el curso internacional “S-57 to S-101 Conversion and S-100 Production Course”, en el cual participó el Teniente Segundo Sergio Laura como representante de la Dirección de Hidrografía y Navegación.

El evento académico, desarrollado entre el 13 y 17 de octubre, se fortalecieron los conocimientos en conversión, producción y validación de cartas electrónicas bajo el estándar S-100, asimismo, contribuyó a promover el intercambio técnico con otros servicios hidrográficos de la región.



PERÚ ASUME LA PRESIDENCIA DEL COMITÉ DE LA ALIANZA REGIONAL DEL SISTEMA DE OBSERVACIÓN MUNDIAL DE LOS OCÉANOS PARA EL PACÍFICO SUDESTE-GRASP

La Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú ha asumido la presidencia del Comité de la Alianza Regional del Sistema de Observación Mundial de los Océanos para el Pacífico Sudeste (GRASP). El Contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa, Director de la DIHIDRONAV, recibió el cargo de manos del Capitán de Navío Luis Fernando Morales Auz, del Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada de Ecuador, para el periodo de diciembre 2025-2026.

Al asumir la presidencia, el Contralmirante Vizcarra expresó su gratitud y compromiso, y señaló que recibe el encargo con orgullo, responsabilidad y entusiasmo. Destacó la importancia de la alianza por su trabajo coordinado y el logro de resultados que ha fortalecido la influencia del grupo en la región. Subrayó, además, que el objetivo es dar continuidad a la gestión previa de Ecuador, para lo cual requirió el apoyo constante de todos los países miembros.



Como primera acción de su gestión, el nuevo presidente anunció la elaboración de una hoja de ruta para los próximos dos años, alineada al Plan Estratégico del Comité, la cual buscará consolidar los objetivos de la oceanografía operacional. Una

prioridad será fortalecer la visibilidad regional de GRASP, dando énfasis a la presentación de productos operacionales a escala regional, en particular los generados por los grupos de trabajo de modelamiento y visualización.

B.A.P. "ZIMIC" CULMINÓ CRUCERO OCEANOGRÁFICO REGIONAL ORGANIZADO POR LA COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR

La Dirección de Hidrografía y Navegación, a través del B.A.P. "Zimic", culminó el Crucero Oceanográfico y Meteorológico en el Litoral Sur del Perú, en el marco del "Vigésimo Octavo Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Oriental", organizado por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS).

En la navegación, se desarrollaron trabajos científicos en tres líneas oceanográficas, como San Juan, Ático e Ilo, las cuales comprendieron un total de 21 estaciones, desde la milla 5 a la 120 de la costa. En cada una de ellas, se efectuó el lanzamiento de un carrusel de botellas Niskin (roseta) con CTD hasta los 500 m de profundidad; recolección de muestras de la



componente biológica de zooplancton, mediante arrastres superficiales con una red de tipo WP-2; obtención de datos de la temperatura superficial del mar; y el registro de las observaciones meteorológicas durante cada estación oceanográfica.

La Dirección de Hidrografía y Navegación reafirma su compromiso con la Comisión Permanente del Pacífico Sur y la comunidad científica internacional, a través del estudio permanente de las condiciones oceanográficas y meteorológicas del mar peruano.

ACTIVIDADES OPERACIONALES

REUNIÓN DE COORDINACIÓN ANTE FENÓMENOS CLIMATOLÓGICOS EN LA COSTA CENTRO Y SUR DEL PERÚ

La Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú participó activamente en la reunión de coordinación multisectorial realizada el 1 de agosto, convocada ante la ocurrencia de fenómenos climatológicos en la costa centro y sur del país. El encuentro se desarrolló en el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) y contó con la participación de autoridades regionales y representantes de ministerios y diversas entidades del Estado, con el fin de articular acciones para enfrentar estos eventos.

Durante la reunión, el Contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa, Director de Hidrografía y Navegación, presentó un informe técnico sobre la situación actual del litoral peruano. En su



exposición, explicó las condiciones océano-meteorológicas que motivaron el cierre de puertos, así como el

procedimiento técnico y normativo que se aplica para la adopción de dicha medida. Asimismo, reafirmó el compromiso institucional de brindar información técnica especializada en apoyo a las autoridades y a la seguridad de la población costera.

Además, reiteró que la Dirección de Hidrografía y Navegación realiza un monitoreo constante de las variables océano-meteorológicas en todo el litoral, permitiendo anticipar riesgos y emitir alertas tempranas. También, informó sobre la publicación del Aviso Especial de Vientos N.º 15, que alertó sobre la intensificación de los vientos en la zona costera, sus posibles impactos en la navegación y en las actividades marítimas.

CRUCERO OCEANOGRÁFICO Y METEOROLÓGICO DE INVIERNO EN LA ZONA NORTE A BORDO DEL B.A.P. "CARRILLO"

Luego de efectuar el crucero oceanográfico y meteorológico de invierno en la zona norte del mar peruano, el reabastecimiento logístico a la estación océano-meteorológica de la isla Lobos de Afuera y el levantamiento batimétrico para la actualización de la Carta Náutica Portulano HIDRONAV-1126 "Bahía Talara". El B.A.P. "Carrillo" arribó el 17 de setiembre al puerto del Callao

En el crucero se recolectaron datos océano-meteorológicos en las líneas oceanográficas de Puerto Pizarro, Paíta, Punta Falsa, Chicama, Chimbote y Bermejo, los cuales permitirán realizar el monitoreo de las condiciones de la temperatura del mar y brindar un valioso aporte al Comité Científico del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN).

La dotación del B.A.P. "Carrillo" mantiene su compromiso en alcanzar los objetivos de la Dirección de Hidrografía y Navegación en el marco de los roles estratégicos de la Marina de Guerra, en el campo de la investigación científica marina.



DESPLIEGUE EN PAMPA CALLANA

La Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), mediante el despliegue de una brigada del Centro Nacional de Alerta de Tsunamis (CNAT), culminó con éxito su participación en una comisión técnica en Paramonga, orientada a la elaboración de una futura Carta de Inundación por Tsunami. Durante la semana de trabajo, el equipo realizó vuelos fotogramétricos con RPAS, en puntos de control y en coordinación con autoridades locales, lo que generó información de alta precisión, que permitirá identificar zonas seguras y brindar a la población herramientas confiables para su preparación y respuesta ante un eventual evento tsunamigénico.

En complemento a estas labores, la brigada desarrolló una charla de sensibilización en la institución educativa



"Ventura Ccalamaqui" de Barranca, a fin de fortalecer la cultura de prevención en la comunidad. De esta manera, la Dirección reafirma así su compromiso con la reducción del

riesgo de desastres y la protección de las comunidades costeras y pone a disposición su capacidad técnica para salvaguardar la vida humana en el litoral peruano.

INSTALACIÓN DE SISMOR ATON PARA MONITOREO DE FAROS



Hasta el faro Punta Eten, ubicado en Chiclayo, se desplegó la brigada del Departamento de Ayudas a la Navegación, que estuvo a cargo de la instalación del Sistema de Monitoreo Remoto de Faros (SISMOR AtoN), así como de trabajos de mantenimiento de la linterna marina, el sistema fotovoltaico y la estructura.

Para estos trabajos, los T3 Nildo Gonzales Castañeda, David Quispe Rivas, Roger Depaz Panez y el OM3 José Egúsqiza Lazo tuvieron a cargo el SISMOR AtoN, con el fin de monitorear los parámetros de voltaje de módulos solares (sistema fotovoltaico), banco de baterías, amperaje de consumo de linterna marina, control de activación y desactivación de linterna marina.

También, verificaron las alarmas de ausencia de corriente alterna (sistema eléctrico) y de intrusión de puerta, así como la activación de bocina ante intrusión de puerta y rotación de linterna marina (linterna giratoria).

La información de monitoreo de cada faro se transmite, a través de la red de una operadora de telefonía móvil, el Centro de Control, situado en las instalaciones de la Dirección de Hidrografía y Navegación.

De esta manera, pueden supervisar la operatividad de cada faro en tiempo real, mediante un software instalado en la sala de monitoreo del Departamento de Señalización Náutica.

CNAT

CENTRO NACIONAL DE ALERTA DE TSUNAMIS

CHARLA DE CONCIENTIZACIÓN Y PREPARACIÓN SOBRE TSUNAMIS EN BOCA DEL RÍO – TACNA

Como parte de las actividades de sensibilización sobre tsunamis, personal de la Dirección de Hidrografía y Navegación realizó una charla en el centro poblado "Boca del Río" de Tacna, en coordinación con las autoridades locales y asociación de residentes, con el objetivo de fortalecer acciones de prevención en la comunidad costera para enfrentar la ocurrencia de un desastre natural.

La charla incluyó aspectos históricos, tecnológicos y prácticos, que incluyó la descarga y uso de la aplicación móvil MGP TSUNAMIS para obtener la carta de inundación correspondiente a Boca del Río, y analizar los lugares de riesgo más expuestos, las rutas de evacuación y los puntos de concentración donde ponerse a salvo.



ANIVERSARIO

B.A.P. "ZIMIC" CONMEMORA 31º ANIVERSARIO DE AFIRMADO DEL PABELLÓN NACIONAL

En el emblemático B.A.P. "Zimic" unidad hidrográfica de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, se realizó una emotiva ceremonia para conmemorar el 31.º aniversario del afirmado del pabellón nacional.

Durante su desarrollo, ante la asistencia de autoridades navales, excomandantes y dotación embarcada se hizo un reconocimiento al legado científico, técnico y operativo forjado en tres décadas de servicio a bordo de la unidad.

Además, se recordó la trayectoria del Contralmirante Esteban Zimic Vidal, ilustre hidrógrafo, cuyo nombre honra la unidad, y cuyo legado continúa guiando el trabajo profesional del personal asignado al buque hidrográfico. Asimismo, con orgullo y firmeza la dotación del B.A.P. "Zimic" reafirmó su compromiso con la investigación científica al servicio al país.



B.A.P. "CARRASCO" CONMEMORA 246 ANIVERSARIO DEL NATALICIO DEL CONTRALMIRANTE EDUARDO CARRASCO TORO



Como parte de las actividades por el 246 aniversario del natalicio del Contralmirante Eduardo Carrasco Toro, el 13 de octubre, el comando y dotación del buque oceanográfico con capacidad polar B.A.P. "Carrasco", rindieron un homenaje al ilustre marino.

En el Museo Naval del Perú, con presencia del Director General de Comunicación Estratégica e Intereses Marítimos, Contralmirante Antonio Vildoso Concha, y del Director de Hidrografía y Navegación, Contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa, se donó a dicho centro cultural la imagen del Almirante Carrasco y una copia del Calendario y Guía de Forasteros - 1852, que fue de autoría del recordado educador.

Por otro lado, se llevó a cabo una romería en el cementerio Presbítero

Maestro, donde descansan los restos del recordado cosmógrafo. Durante el homenaje, el Comandante de la unidad, Capitán de Navío Víctor Vivanco Moscoso, resaltó en su discurso sus cualidades intelectuales y académicas que refrendaron la designación del Estado como Cosmógrafo Mayor de la República del Perú, cargo que se otorga a las personas más competentes en las ciencias.

Es propicio señalar que, el distinguido Contralmirante Carrasco fue un marino a carta cabal, que estuvo vinculado al mar desde muy temprana edad y grabó su nombre en la historia peruana como patriota, pues trabajó como geógrafo en favor de la gesta independentista. También, se desempeñó como Capitán de Puerto del Callao y asumió la Comandancia General de la Marina. Como parte de su trayectoria académica y capacida-

des técnico-marineras, fue Director de las Escuelas Náuticas. En la época republicana, en 1820, fue parlamentario de ciencias y, finalmente, obtuvo el reconocimiento nacional de Cosmógrafo Mayor de la República y Catedrático de Matemática Pura en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

La Marina de Guerra del Perú reconoce su importancia en la historia nacional al denominar al buque más importante adscrito a la Dirección de Hidrografía y Navegación con su nombre: B.A.P. "Carrasco"; así como también, a través de la R/CGM N° 0180-22 COMGEMAR de fecha 10 de marzo del 2022, se establece el 13 de octubre de cada año como el "Día del Educador Naval" así como considera al Contralmirante Eduardo Carrasco Toro: "Primer Educador Naval de la República".

ANIVERSARIO DEL SERVICIO DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN DE LA AMAZONÍA

En el desarrollo de una emotiva ceremonia, el lunes 18 de agosto se celebró el 54° aniversario de la creación del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía de la Marina de Guerra del Perú que, durante su trayectoria ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las ciencias del ambiente en el ámbito fluvial y en la contribución al desarrollo de la nación.

Dicho acto protocolar estuvo presidido por el Vicealmirante Gian Marco Chiapperini Faverio, Comandante General de Operaciones de la Amazonía, el Contralmirante César

Tello Berenstein, Comandante de la Quinta Zona Naval, el Contralmirante Jorge Vizcarra Figueroa, Director de Hidrografía y Navegación, y personal militar y civil.

Al pronunciar su discurso, el Capitán de Fragata Luis Gutiérrez Bao, Jefe del Servicio de Hidrografía y Navegación de la Amazonía, se refirió a la amplia trayectoria de esta dependencia técnica de la Marina, y recalcó que la dedicación y el profesionalismo del personal han sido pilares esenciales para alcanzar nuevos logros, reflejando un constante compromiso con la excelencia e innovación.



SEHINAV

SERVICIO DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN DE LA AMAZONÍA

VARIACIÓN HIDROMORFOLÓGICA DE ISLAS EN EL SECTOR DE ATACUARI-LETICIA

Personal hidrógrafo a cargo del diseño cartográfico de mapas temáticos, utilizó el software Arcgis Desktop para desarrollar el mapa temático de la variación de las islas ubicadas en el río Amazonas, zona de la frontera peruano-colombiana, del sector Atacuari-Leticia.

El mapa muestra una comparación entre la ubicación de las islas asignadas para cada nación por la Comisión Mixta Demarcadora de Límites, en 1929, y la de las islas en el presente año. En el mapa también se señala qué islas desaparecieron y cuáles surgieron en todo ese tiempo. Para tal



fin, utilizó como insumo el plano topográfico del sector correspondiente al año 1929, levantado por la Comisión Mixta Demarcadora de Límites, y el

procesamiento de una imagen radar de 10 metros de resolución espacial, proveniente de la plataforma o satélite sentinel-1a.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RÍO PUTUMAYO

Con la finalidad de identificar áreas de variación en el cauce del río Putumayo (zona fronteriza entre Perú y Colombia), se desarrolló un análisis multitemporal en el que se compararon los cauces del río entre los años 1976 y 2025, y se identificaron las principales zonas de cambio en el cauce, así como los cambios geomorfológicos de islas durante los periodos antes mencionados.

Para la elaboración del análisis, se utilizó un mosaico de imágenes Landsat-1 y 2, del año 1976 de 30 metros de resolución espacial, así como un mosaico de imágenes radar provenientes del satélite Sentinel-1a de 10 m de resolución espacial del año 2025. Actualmente, se viene complementando dicha información con mosaicos de imágenes del 2015, 2016, 2018, 2020, 2021 y 2024.

Estos trabajos estuvieron a cargo del Capitán de Corbeta Rommel Carrillo Espinoza, el T1 Hid. Daniel Flores Tanta y el geógrafo Moisés Molina Vicharra.



HIDROCONOCIMIENTOS

Sabía usted qué...

Las áreas de conservación regional son zonas naturales protegidas, y existen sitios prioritarios para su conservación en la sierra y selva peruana. Existen dieciocho áreas llamadas sitios prioritarios para su conservación tanto en la sierra como en la selva peruana. Estos lugares han sido escogidos por su diversidad biológica; son lugares que, por sus valores tanto naturales como culturales, son claves para la conservación de especies y ecosistemas. En Puno, la organización no gubernamental WCS y el Gobierno Regional de Puno han identificado estos lugares.

En el especial el video publicado por la SPDA (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental) se puede conocer estos lugares a través de las imágenes de Diego Pérez.



Chiamayu, ubicado en la provincia de Carabaya. El sitio prioritario Chiamayu es recorrido por el río San Gabán. Se encuentran pinturas rupestres y un camino hispánico. La zona es habitada por especies como pumas, osos, gatos andinos y cóndores.



Laguna Umayo. El Sitio Prioritario Laguna Umayo, se une con el lago Titicaca a través del río Illpa. Habitan diferentes especies de aves acuáticas y peces, como pejerrey y bagres. Además, se encuentran los restos arqueológicos de Sillustani.



Kuntur Wasi. Con una extensión de más de setenta y seis mil hectáreas, el Sitio Prioritario Kuntur Wasi cuenta con bosques de piedra y grandes bofedales. Además, se encuentran construcciones preíncas, una ciudadela de piedra, chullpas y lugares de peregrinación.



Lagunas altoandinas ubicadas entre las provincias de El Collao, Puno y Chucuito. El Sitio Prioritario Lagunas Altoandinas está habitado por poblaciones que ancestralmente crían alpaca. Se puede encontrar especies de fauna, como gato andino, zorro andino, puma, suri, vicuña, taruca, vizcacha y flamencos.



Parani- Coasa. En Sitio Prioritario Parani-Coasa, está ubicado entre los 691 m. s. n. m. y los 5217 m



San Gabán. ubicado en la provincia de Carabaya, se puede encontrar especies, como el puma, oso andino, gato andino, etc.



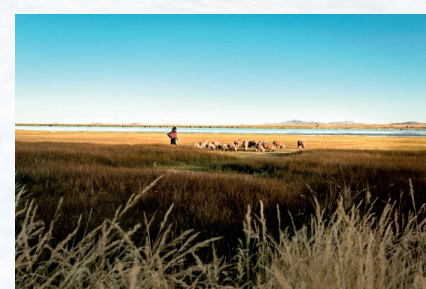
Cuyocuyo, ubicado en las nacientes del río Inambari. se caracteriza por su impresionante andenería y gran agrobiodiversidad.



Laguna Orurillo, ubicado en la provincia de Melgar. En la laguna Orurillo hay especies de fauna, como flamenco chileno, patos y zambullidor del Titicaca; y de flora, como totora y tola.



Vilquechico Tilali. El Sitio Prioritario Vilquechico Tilali, ubicado a 3881 m. s. n. m., es de gran belleza paisajística debido a la presencia de fauna, como zorro andino, vizcacha, pájaro carpintero, gorrión andino, aves acuáticas, zambullidor del Titicaca y rana gigante del Titicaca. Abarca la ciudadela de SIANI.



Laguna Arapa. Aves, como flamenco chileno, patos y zambullidor del Titicaca se encuentran en esta laguna, ubicada en la provincia de Azángaro. Además, conserva flora representativa, como la totora.

Peruanos en el corazón de la Antártida



Síguenos en:



Dirección de Hidrografía y Navegación



@dhn_peru



DHN Marina de Guerra del Perú



dhn_peru

App MGP
Tsunamis:



Bitácora
Hidrográfica:

