

INFORME TÉCNICO

PANAMÁ. UNA ALTERNATIVA A PUERTO BARÚ: PUERTO ARMUELLES

6 DE FEBRERO DE 2025

Preparado para:

Centro de Incidencia Ambiental Panamá (CIAM); Asociación Centro de Estudios y Acción Social Panameño (CEASPA); Asociación Adopta Bosque Panamá (ADOPTA BOSQUE); Fundación para el Desarrollo Integral, Comunitario y Conservación de Ecosistemas en Panamá (FUNDICCEP); Fundación Panacetácea Panamá; Proyecto Primates de Panamá.

Preparado por:

Lynker

5445 Conestoga Ct., Suite 100, Boulder
Colorado, EE.UU. 80301

Envis Perú SAC

Calle Germán Aparicio Gómez Sánchez 320,
Miraflores, Lima, Perú 15107



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	1
1.0 INTRODUCCIÓN	2
2.0 ACCESO AL EMPLAZAMIENTO	3
3.0 RECINTO PORTUARIO, SUPERFICIE NECESARIA PARA LAS INSTALACIONES PORTUARIAS	3
3.1 Consideraciones generales	4
3.2 Infraestructura operativa portuaria	5
Longitud del muelle	5
Zonas de almacenamiento y manipulación de mercancías	6
Instalaciones de apoyo	7
Protección portuaria	7
Iluminación y suministro eléctrico	8
4.0 IDONEIDAD DEL EMPLAZAMIENTO PARA EL PUERTO	9
4.1 Condiciones oceanográficas	9
Batimetría	9
Análisis de viento y oleaje ERA5	10
Corrientes oceánicas	13
4.2 Resumen y conclusiones oceanográficas	14
5.0 MATERIALES Y EQUIPOS ADECUADOS DISPONIBLES PARA LA CONSTRUCCIÓN	15
6.0 CONCLUSIÓN	16
7.0 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA Y REVISIÓN	17
8.0 ANEXO	18
8.1 Puerto Barú Dibujos conceptuales	18
8.2 Fuentes para materiales de construcción	19
8.3 Tablas de materiales de construcción	19
8.4 Niveles de Agua	23
8.5 Reanálisis del Oleaje ERA5	25
8.6 Reanálisis del Viento ERA5	29
8.7 Corrientes Oceánicas	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1: Localización de las estaciones del reanálisis ERA5 utilizadas en el análisis del viento y las olas	
Parámetros	11
Tabla 4-2: Estadísticas de los datos de viento del reanálisis ERA5 en las cuatro estaciones seleccionadas.	12
Tabla 4-3: Estadísticas de los datos de oleaje del reanálisis ERA5 en las cuatro estaciones seleccionadas.	
Energía total del oleaje	13
Cuadro 5-1: Construcción de estructuras	15
Tabla 7-1: Lista de referencias proporcionadas por Lynker	17
Tabla 8-1: Materiales de construcción - Muelle principal	19
Tabla 8-2: Materiales de construcción - Muelle de minicruceros	20
Cuadro 8-3: Equipos por actividad laboral	22
Tabla 8-4: Niveles de referencia de marea para Puerto Armuelles	24
Tabla 8-5: Estadísticas de los datos de oleaje del reanálisis ERA5 para el período 1970-2024 en las cuatro estaciones seleccionadas. Mar de fondo.....	25
Tabla 8-6: Estadísticas de los datos de olas del reanálisis ERA5 para el período 1970-2024 en las cuatro estaciones seleccionadas. Olas de marejada.....	25
Tabla 8-7: Estadísticas de los datos de oleaje del reanálisis ERA5 para el período 1970-2024 en las cuatro estaciones seleccionadas. Olas de marejada del cuadrante oriental.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Zona de estudio y ubicación de emplazamiento regional	2
Figura 2-1: Rutas alternativas Puerto Armuelles - Carretera Panamericana	3
Figura 3-1: Ubicación propuesta de Puerto Barú - Informe batimétrico	4
Figura 3-2: Terminal del Pacífico del oleoducto transpanameño (izquierda) en relación con Puerto Armuelles (derecha)	5
Figura 3-3: Plano Conceptual del Puerto Multimodal de Barú	6
Figura 4-1: Batimetría GEBCO de la zona de Puerto Armuelles mostrando las elevaciones del lecho en m MLWS. Las elevaciones por debajo de -12m MLWS se muestran en azul claro, entre -11 y -12m MLWS se muestran en azul oscuro, mientras que las elevaciones por encima de -11m MLWS se muestran en azul oscuro. Se muestra en turquesa claro	9
Figura 4-2: Estaciones ERA5 Hindcast para parámetros de viento y oleaje frente a la costa de Puerto Armuelles. La numeración de las estaciones es arbitraria	10
Figura 4-3: Rosa de vientos de la velocidad del viento ERA5 (m/s) a 10 m de altitud para el período 1970-2024, Estación 19	11
Figura 4-4: Rosa de olas de la altura total de olas ERA5 (m) para el período 1970-2024, Estación 19	13
Figura 4-5: Corrientes oceánicas superficiales máximas en primavera (AMJ; izquierda) y otoño (OND; derecha) frente a Puerto Armuelles	14
Figura 5-1: Fuentes de préstamo identificadas	16
Figura 8-1: Vista en sección - Muelle principal.....	18

Figura 8-2: Patio de contenedores y sección general del puerto.....	18
Figura 8-3: Dirección Nacional de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá Solicitudes de Minerales no Metálicos (sólo la primera página)	19
Figura 8-4: Serie temporal de niveles horarios de agua en metros en Puerto Armuelles para el periodo 1983- 2001. Fuente: Base de datos GESLA -3. Los niveles de referencia de la marea se muestran como líneas discontinuas horizontales...../.....	23
Figura 8-5: Rosas de oleaje (altura de ola total) del ERA5 para el periodo 1970-2024. (Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12. Abajo a la derecha: Estación 11)	26
Figura 8-6: Rosas de oleaje (mar de fondo) del ERA5 para el periodo 1970-2024. (Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12. Abajo a la derecha: Estación 11.)	27
Figura 8-7: Rosas de oleaje (marejada) del ERA5 para el periodo 1970-2024. Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12. Abajo a la derecha: Estación 11	28
Figura 8-8: Rosas de viento para cuatro estaciones representativas. (Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12. Abajo a la derecha: Estación 11.).....	29
Figura 8-9: Corrientes oceánicas superficiales máximas de verano (JAS) frente a Puerto Armuelles.....	30
Figura 8-10: Corrientes oceánicas superficiales máximas en invierno (JFM) frente a Puerto Armuelles.....	30
Figura 8-11: Corrientes oceánicas superficiales medias de primavera (AMJ) frente a Puerto Armuelles	31
Figura 8-12: Corrientes oceánicas superficiales medias de verano (JAS) frente a Puerto Armuelles.....	31
Figura 8-13: Corrientes oceánicas superficiales medias de otoño (OND) frente a Puerto Armuelles	32
Figura 8-14: Corrientes oceánicas superficiales medias de invierno (JFM) frente a Puerto Armuelles.....	32

RESUMEN EJECUTIVO

Esta evaluación inicial de ingeniería analizó a Puerto Armuelles como una alternativa a Puerto Barú para el desarrollo portuario en la costa del Pacífico de Panamá, cerca del municipio de David en la región de Chiriquí. Un análisis preliminar de la batimetría, las condiciones oceanográficas, la accesibilidad al emplazamiento y el posible impacto ambiental sugiere que Puerto Armuelles probablemente cumple con los requisitos operativos descritos en la Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de Puerto Barú, con varias ventajas, incluyendo el acceso a aguas profundas, el acceso por ruta de cargas a la carretera Panamericana y un potencial de crecimiento sin restricciones, lejos de hábitats ecológicos sensibles y áreas protegidas.

Puerto Armuelles es un puerto natural de aguas profundas, con profundidades de agua cercanas a la costa que superan los -12m MLWS requeridos por el proyecto de Puerto Barú. El acceso a aguas profundas que ofrece Puerto Armuelles reduciría significativamente, o incluso eliminaría, la necesidad de costosos dragados de capital y mantenimiento, como los necesarios para el desarrollo de Puerto Barú. Esto fue probablemente un factor clave en la selección de Puerto Charco Azul, situado a menos de 10 km al sur de Armuelles, como sitio de la terminal del Pacífico para el Oleoducto Transpanameño, que puede recibir superpetroleros. El acceso a Puerto Barú, por el contrario, requeriría un dragado extensivo del canal de navegación, lo que llevaría a costes más elevados y mayores riesgos ambientales, incluidas la dispersión de sedimentos y la posible alteración del hábitat de los cercanos manglares de David. Puerto Barú seguiría estando limitado a grandes buques de carga, incluso después del dragado, dado el estrecho canal del estuario y el estatus protegido de los manglares en Panamá. Evitar los impactos ambientales asociados con el dragado no sólo se alinearía con los objetivos de desarrollo sostenible declarados por el promotor de Puerto Barú, sino que también proporcionaría una mayor flexibilidad para la futura expansión del puerto, incluyendo la capacidad de acomodar buques más grandes que los especificados en el EIA.

Aunque Puerto Barú está geográficamente más cerca de David, Puerto Armuelles ofrece dos rutas de acceso viables a la carretera Panamericana para el transporte de cargas. Actualmente es posible acceder a la autopista por la carretera dividida de cuatro carriles de 37.1 km que va de Puerto Armuelles a Paso Canoas. Esta evaluación preliminar también identificó una ruta alternativa de 30.7 km de longitud que podría ser desarrollada para evitar la mayoría de las zonas residenciales y minimizar así impactos locales. A pesar de la mayor distancia, una revisión de la infraestructura existente en Puerto Armuelles muestra que las carreteras cercanas ofrecen una ruta de carga expansible y rentable. Además, la evaluación aquí realizada identificó un emplazamiento portuario prometedor en el lado sur de la ciudad de Puerto Armuelles, que ofrece un acceso más directo a aguas más profundas y está más alejado de las zonas residenciales. Lo que es aún más importante es que esta ubicación es solo una de varias alternativas factibles; levantamientos topográficos y batimétricos formales serán necesarios para validar las recomendaciones presentadas en este documento.

Aunque Puerto Barú se beneficia de la protección que le proporcionan los manglares de David, la ubicación de Puerto Armuelles en el lado oeste del Charco Azul está protegida de forma natural por la península de Burica. Nuestra revisión de más de cincuenta años de datos del reanálisis ERA5 muestra que las direcciones predominantes del viento y del oleaje en la región son del oeste y del suroeste, respectivamente. La protección de la península de Burica frente a los vientos y olas dominantes puede reducir o eliminar la necesidad de construir costosos rompeolas. Esta protección natural ha contribuido a la viabilidad operativa de la terminal del Pacífico del Oleoducto Transpanameño, al sur de Puerto Armuelles, sin necesidad de estructuras de protección contra el oleaje.

En conclusión, esta evaluación inicial y preliminar indica que Puerto Armuelles tiene las condiciones adecuadas para el desarrollo de un puerto multipropósito, con menores riesgos ambientales y mayor capacidad de expansión en comparación con Puerto Barú. Su historia de apoyo a operaciones industriales a gran escala, como el puerto para el Oleoducto Transpanameño, y el acceso a terrenos no urbanizados, rutas de carga existentes y aguas profundas cercanas a la costa refuerzan su idoneidad como una alternativa sostenible y estratégica a Puerto Barú para el desarrollo portuario en la región de Chiriquí de Panamá.

1.0 INTRODUCCIÓN

Lynker Corporation (Lynker) ha contratado los servicios de ingeniería de Envis Perú S.A.C. (Envis) para desarrollar conjuntamente este documento: "Evaluación Exploratoria de la Alternativa Puerto Armuelles".

Este informe describe la fase inicial de la investigación dirigida a evaluar la factibilidad de establecer un nuevo emplazamiento portuario en Puerto Armuelles, en la costa occidental del Pacífico de Panamá, como alternativa al emplazamiento portuario propuesto en Puerto Barú, cerca de David, Panamá. Puerto Armuelles está situado en la región de Chiriquí, al suroeste de Panamá, a unos 80 km al oeste de David y del emplazamiento propuesto de Puerto Barú (Figura 1-1). Este estudio se centra en los aspectos clave de las redes de carreteras y de la infraestructura existente entre la ciudad de David, Panamá y la ubicación alternativa propuesta para el puerto, y aborda factores críticos como la accesibilidad al sitio, los requisitos logísticos, las consideraciones ambientales y la participación de la comunidad.

Las tareas principales durante esta fase incluyen:

- Evaluar el acceso y las condiciones de las carreteras,
- Determinar la idoneidad del emplazamiento propuesto para las instalaciones portuarias,
- Revisar los materiales y equipos de construcción disponibles, y
- Abordar las consideraciones preliminares sobre el emplazamiento del puerto y los posibles impactos ambientales.

Si el proyecto va a pasar a fases posteriores de evaluación, las consultas a la comunidad y las interacciones con los organismos gubernamentales serán un paso necesario; estas discusiones no se incluyeron en el ámbito de este informe. En cambio, el objetivo de este estudio de alto nivel es proporcionar una base bien informada para evaluaciones más detalladas, que garanticen que el sitio propuesto se ajusta a los objetivos operativos, logísticos y ambientales. Los estudios detallados que se realicen en el futuro se basarían en estas conclusiones para respaldar las subsiguientes decisiones de desarrollo.

La principal referencia para este estudio ha sido el uso del EIA existente para el emplazamiento de Puerto Barú, a 12 km de David, en la provincia de Chiriquí, en Panamá (Figura 1-1).

Figura 1-1: Zona de estudio a nivel regional, mostrando la ubicación de los puertos existentes y del propuesto



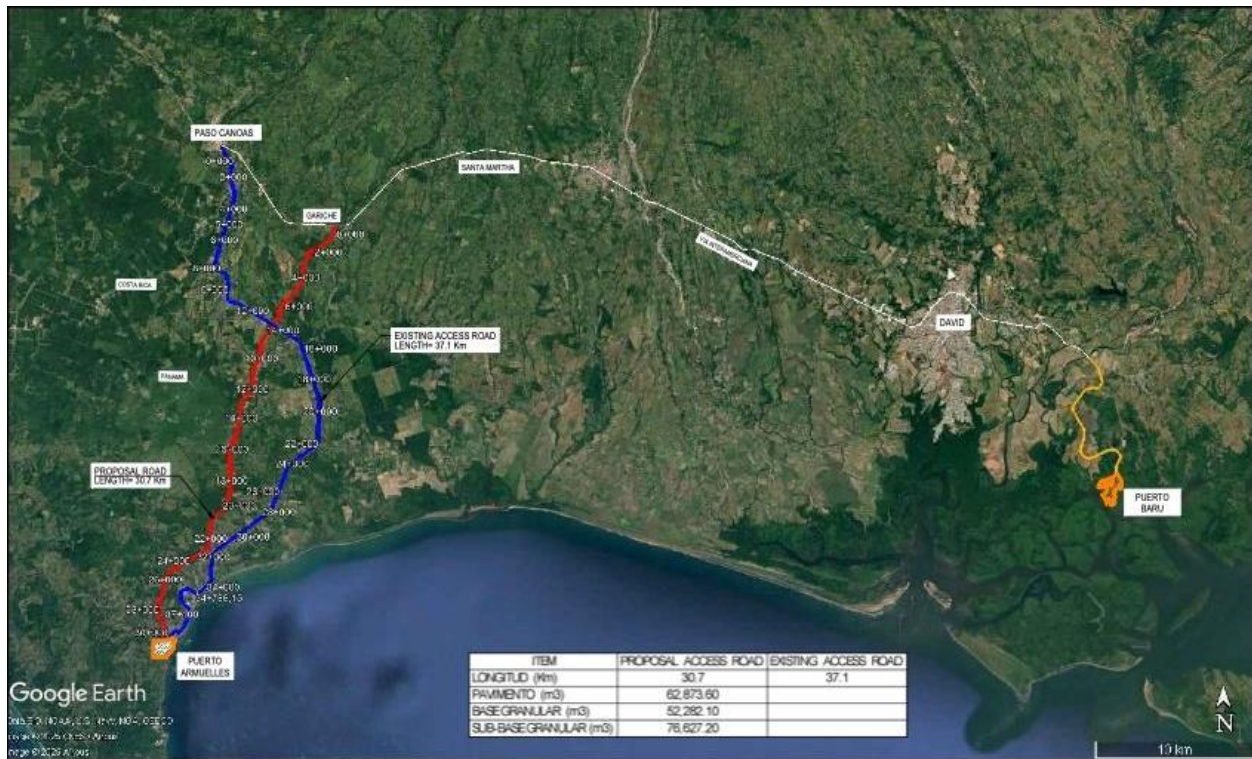
Fuente: Elaboración propia

2.0 ACCESO AL EMPLAZAMIENTO

El acceso entre Puerto Armuelles y la ciudad de David está disponible a través de dos rutas, ambas conectando con la carretera Panamericana/Ruta 1/CA-1 y David. La primera ruta utiliza la carretera existente en dirección norte que sale de Puerto Armuelles, recorriendo aproximadamente 37.1 km hasta Paso Canoas en la frontera internacional Panamá-Costa Rica (línea azul, Figura 2-1). Una revisión de imágenes de satélite muestra que esta ruta es una carretera dividida de cuatro carriles, con dos carriles hacia el sur y dos carriles en dirección norte. Esta evaluación preliminar indica que la carretera actual debería ser una ruta adecuada de acceso de cargas a Puerto Armuelles, aunque la distancia a David por la carretera Panamericana es mayor.

También se ha identificado una ruta alternativa de 30.7 km (línea roja, Figura 2-1) para la posible construcción de una nueva carretera. Esta ruta evitaría las principales intersecciones de las ciudades cercanas y podría diseñarse para cumplir los requisitos de la Etapa 02 del proyecto, al tiempo que proporcionaría un acceso más directo a la carretera Panamericana. Sin embargo, el desarrollo de esta nueva carretera requeriría una inversión significativa y podría introducir impactos ambientales en comparación con la utilización de la infraestructura existente. Esta evaluación preliminar indica que ambas opciones podrían soportar el aumento del tráfico de carga derivado de las operaciones de un puerto en Puerto Armuelles.

Figura 2-1: Rutas alternativas Puerto Armuelles - Carretera Panamericana



Fuente: Elaboración propia

3.0 RECINTO PORTUARIO, SUPERFICIE NECESARIA PARA LAS INSTALACIONES PORTUARIAS

El diseño y la ubicación de las instalaciones portuarias son aspectos claves para garantizar la eficacia operativa y cumplir los objetivos logísticos de un puerto. En este contexto, el análisis preliminar del emplazamiento propuesto pretende identificar los requisitos fundamentales relacionados con las dimensiones, la infraestructura y las condiciones de seguridad necesarias para un funcionamiento eficaz.

Esta sección se centra en la evaluación de los criterios esenciales para determinar si el emplazamiento cumple los requisitos operativos iniciales y definir las áreas prioritarias que deberán abordarse de forma más detallada en estudios futuros. La evaluación preliminar servirá también de base para garantizar que el puerto se ajusta a las normas internacionales en materia de capacidad, sostenibilidad y seguridad.

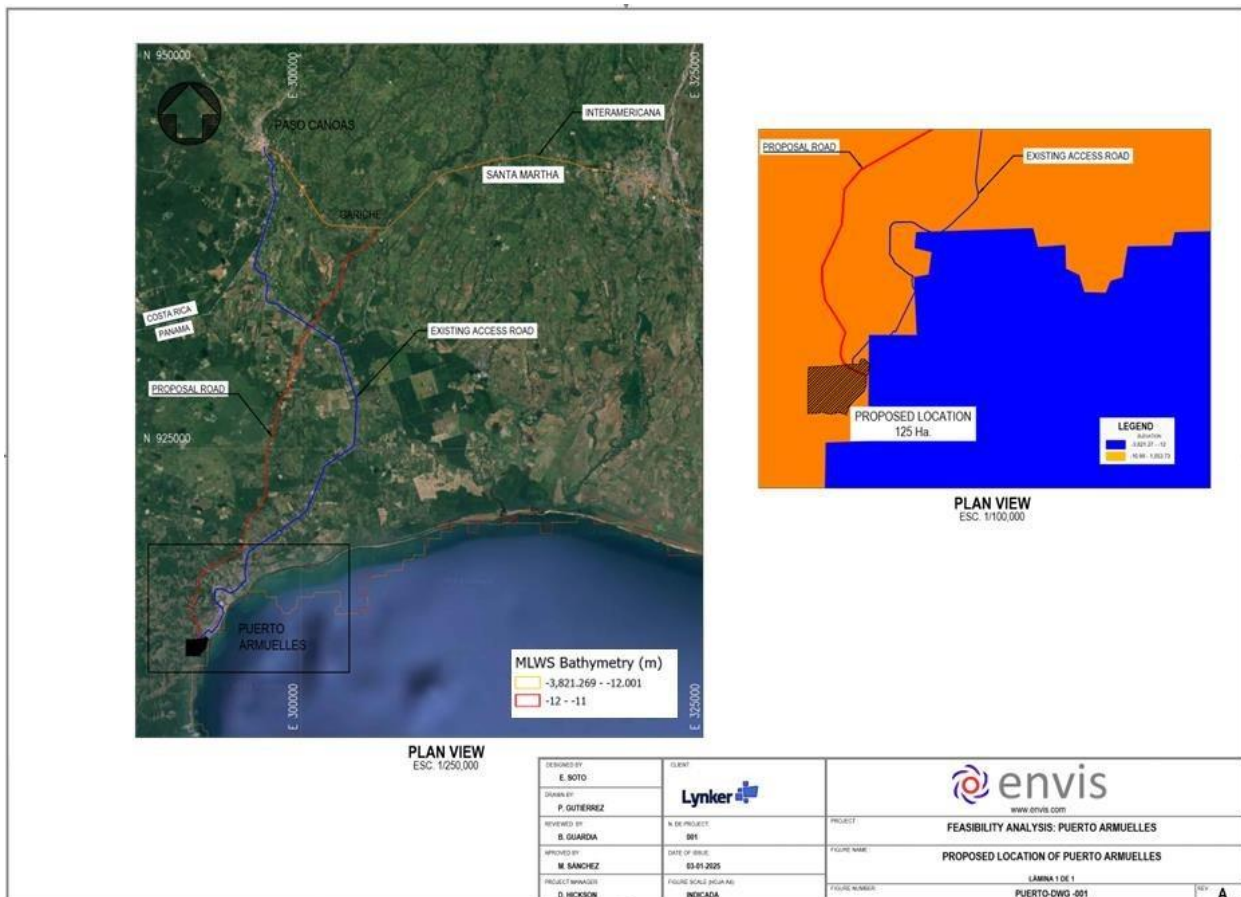
Mediante esta revisión, el objetivo es establecer un marco claro que identifique tanto los puntos fuertes como las áreas del sitio que requieran mejoras, apoyando la planificación estratégica y las decisiones relacionadas con la inversión y el desarrollo de infraestructuras portuarias.

3.1 Consideraciones Generales

La selección de un emplazamiento adecuado para el puerto es un factor crítico en el desarrollo de infraestructuras marítimas, ya que afecta directamente a la funcionalidad, los costes y el impacto ambiental del proyecto. Una evaluación preliminar de la región permitió identificar varias ubicaciones alternativas viables, cada una de ellas teniendo o excediendo las especificaciones requeridas por Puerto Barú (125 hectáreas de superficie y línea de costa accesible de 540 m de longitud). Estas ubicaciones preliminares fueron seleccionadas por sus favorables condiciones batimétricas y oceanográficas, así como por su proximidad a rutas para el transporte de cargas hacia el norte, combinados mínima disrupción sobre las áreas residenciales existentes. Uno de estos sitios alternativos es presentado y analizado en este informe, con el entendimiento de que levantamientos topográficos y batimétricos serán necesarios para la selección final del emplazamiento del puerto.

La ubicación propuesta para el puerto se muestra en la Figura 3-1. Este sitio está ubicado entre la desembocadura del Río Guanábano y el límite sur de la ciudad de Puerto Armuelles, lo que permite el acceso a 1240 m de costa en una parcela que se extiende hacia el oeste de la Avenida de Las Arenas, donde el potencial de crecimiento es irrestricto. El análisis batimétrico presentado en el apartado 4.1. identificó profundidades superiores a los 12 metros respecto a la bajamar media de sicigias (MLWS), lo que garantiza que la zona pueda acoger buques de gran calado sin necesidad de dragados significativos (Figura 3-1). Esto optimiza tanto los costes operativos como los iniciales de la construcción. Además, el acceso terrestre propuesto está diseñado para conectar eficazmente el puerto con las rutas logísticas principales de la región. Las instalaciones complementarias estarían situadas en una zona disponible que favorece la eficacia de las operaciones portuarias.

Figura 3-1: Ubicación propuesta para Puerto Armuelles – Condiciones batimétricas



Fuente: Elaboración propia

El apartado 4.1 presenta un análisis preliminar de las características oceanográficas (incluyendo batimetría, variabilidad de los niveles del agua, rosas de viento y corrientes oceánicas). Si se emprendieran nuevos análisis de la alternativa propuesta en Puerto Armuelles, sería recomendable realizar estudios y análisis más completos de las condiciones ambientales e hidrodinámicas, incluyendo simulaciones hidrodinámicas y de oleaje, para garantizar la seguridad operativa del puerto. Además de los estudios mediante modelos, se aconseja también implementar sistemas de monitoreo continuos para evaluar las condiciones batimétricas y ambientales iniciales. Sin embargo, los análisis preliminares basados en datos de dominio público, así como la ubicación de la terminal del Pacífico del Oleoducto Transpanameño a unos 8 km al sur de Puerto Armuelles, sugieren claramente la viabilidad del proyecto (Figura 3-2).

Aunque sería necesario realizar más estudios para determinar si lo más apropiado sería un puerto protegido por un rompeolas o un puerto tradicional tipo muelle, las infraestructuras cercanas existentes ofrecen algunas pistas. Las imágenes satelitales del año 2023 de la Terminal del Pacífico del Oleoducto Transpanameño (Figura 3-2, lado izquierdo) muestran un puerto tipo muelle sin ningún rompeolas de protección. Notablemente, un buque de aproximadamente 350 metros de eslora está atracado en esta terminal - significativamente más grande que los buques de 192 metros propuestos para Puerto Barú. Esto sugiere que las condiciones naturales de abrigo en el lado sur de Puerto Armuelles pueden ser suficientes para permitir operaciones portuarias a gran escala sin necesidad de estructuras importantes de protección contra las olas.

Figura 3-2: Terminal del Pacífico del Oleoducto Transpanameño (izquierda) en relación con Puerto Armuelles (derecha).



3.2 Infraestructura Operativa Portuaria

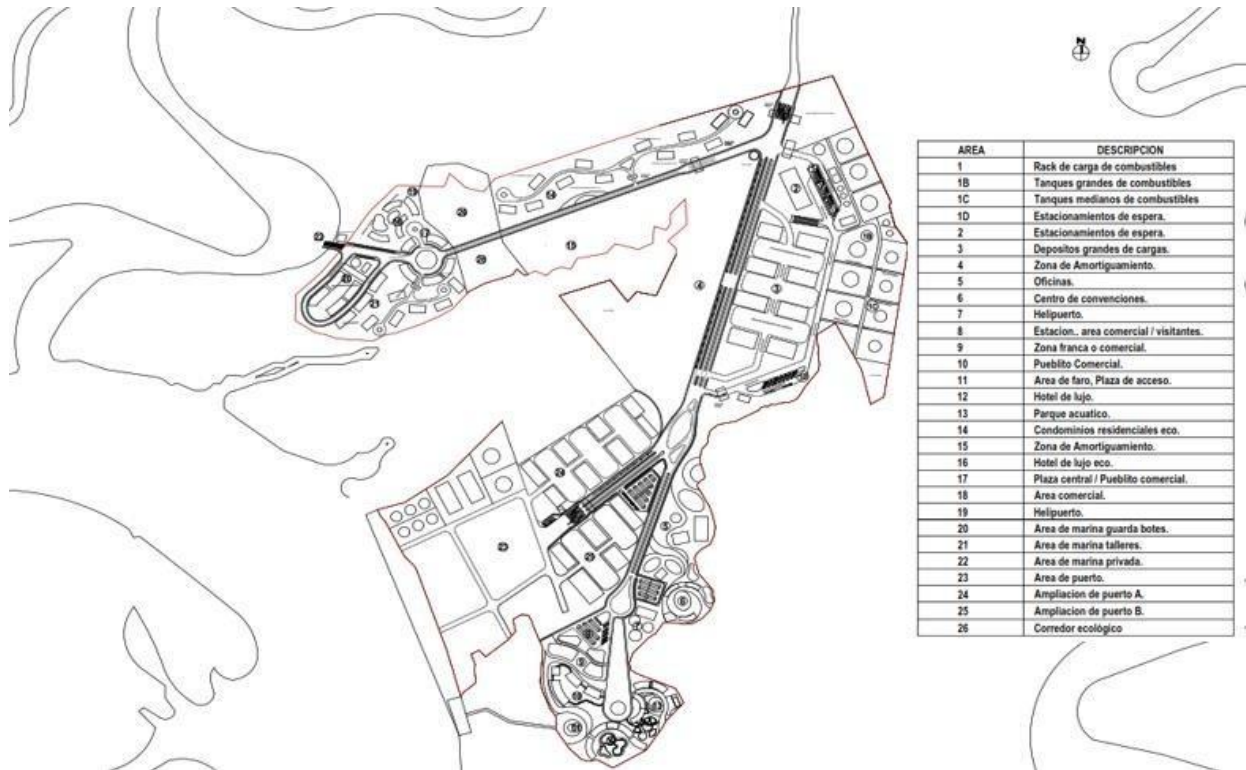
Longitud del muelle

En esta evaluación preliminar, el diseño del proyecto de Puerto Barú se utiliza como referencia para establecer una línea de base comparativa aplicable a Puerto Armuelles. Basándose en las características del caso de referencia, se proyecta que el muelle principal tenga una longitud de 512 metros, una anchura de 35 metros y una capacidad adecuada para manejar buques con una eslora total (LOA) de 192.0 metros, una manga de 30.0 metros y un calado máximo de 11.0 metros en condiciones de profundidad controlada, beneficiándose de los efectos de las mareas.

Estas dimensiones, diseñadas para garantizar operaciones eficientes y seguras, son igualmente aplicables a Puerto Armuelles en una evaluación inicial, considerando que los requisitos operativos para este tipo de instalaciones portuarias tienden a ser similares en proyectos de características equivalentes. Sin embargo, serían necesarios estudios adicionales para confirmar la viabilidad técnica, considerando las condiciones específicas del emplazamiento, los requisitos de dragado y las particularidades de la ubicación propuesta.

A modo referencia, en la Figura 3-3 se ofrece una representación conceptual del EIA, con un plano adicional disponible en la Sección 8.1 del Apéndice.

Figura 3-3: Plano Conceptual del Puerto Multimodal de Barú



Fuente: EIA Puerto Barú

Zonas de almacenamiento y manipulación de mercancías

En esta fase preliminar, se estima que las áreas de almacenamiento y manejo de carga necesarias para Puerto Armuelles serían similares a las proyectadas para Puerto Barú, ajustadas en función de las necesidades específicas del emplazamiento. El diseño inicial de Puerto Barú incluye una superficie de 15.2 hectáreas dedicadas a actividades comerciales primarias, incluyendo la recepción y manipulación de diversos tipos de mercancías, como se ilustra conceptualmente en la Figura 8-1 (Apéndice).

Entre los productos que se prevé manipular en este ámbito figuran:

- Contenedores secos y refrigerados
- Equipos para la manipulación general de cargas
- Cereales y fertilizantes
- Materiales de construcción
- Vehículos y automóviles
- Líquidos como aceite de palma y combustibles (automoción, náutica y aviación)
- Agua potable

La funcionalidad del puerto también incluye infraestructuras especializadas, como:

- Silos de almacenamiento de grano y fertilizantes
- Rampas laterales para materiales a granel
- Grúas portuarias móviles (MHC) con capacidad para más de 100,000 movimientos anuales
- Grúas pórtico electrificadas sobre neumáticos (ERTG) para operaciones del depósito de contenedores

Estas características se adoptarían como referencia para Puerto Armuelles, con ajustes en función de las condiciones específicas del emplazamiento y de la demanda logística prevista. Además, las zonas de almacenamiento se diseñarían de forma eficiente para maximizar la capacidad operativa y facilitar el flujo de mercancías, garantizando el cumplimiento de las normas internacionales de manipulación y almacenamiento.

Instalaciones de apoyo

Las instalaciones de apoyo desempeñarían un papel clave en la logística y las operaciones diarias para garantizar la operatividad y eficiencia de Puerto Armuelles. Sobre la base de las especificaciones preliminares de Puerto Barú, se prevé adaptar las siguientes instalaciones y servicios a la nueva ubicación propuesta, que abarcan una superficie aproximada de 125 hectáreas:

- Oficinas administrativas y operativas: Espacios diseñados para albergar oficinas administrativas, áreas de control operativo y salas de reuniones, con una distribución eficiente que facilite la coordinación entre los distintos equipos de trabajo.
- Almacenes Generales: Infraestructura destinada al almacenamiento de materiales, equipos y suministros esenciales para las operaciones portuarias.
- Servicios básicos: El suministro de agua potable, electricidad, telecomunicaciones y sistemas de alcantarillado estaría asegurado por proveedores de servicios locales, garantizando la continuidad operativa y el cumplimiento de la normativa ambiental.

En la Figura 8-2 (Apéndice) se presenta un plano conceptual de las instalaciones propuestas para Puerto Armuelles, que incluye las zonas descritas anteriormente, así como otras estructuras necesarias para garantizar el correcto desarrollo de sus operaciones.

Protección portuaria

La protección portuaria es un factor crítico para garantizar la integridad de las operaciones, del personal, de las instalaciones y de las cargas. Basándose en las mejores prácticas internacionales de protección portuaria y considerando las necesidades preliminares de Puerto Armuelles, se proponen las siguientes medidas:

- a. Protección de las operaciones portuarias
 - Control de accesos: Implantar sistemas de identificación electrónica, vigilancia en los puntos de acceso y registro de vehículos y personal para evitar entradas no autorizadas.
 - Zonificación de áreas: Clasificar las áreas portuarias según su función (operativa, administrativa, almacenamiento) y establecer protocolos específicos para cada una de ellas.
 - Supervisión de actividades: Uso de cámaras de vigilancia y supervisores formados para controlar las operaciones de carga y descarga e identificar los riesgos en tiempo real.
- b. Protección durante la fase de construcción
 - Planes de gestión de riesgos: Elaborar planes para identificar riesgos específicos durante la fase de construcción, tal como la manipulación de equipos pesados y las actividades de dragado.
 - Equipo de Protección Personal (EPP): Imponer el uso obligatorio de EPP adecuado, incluidos cascos, chalecos reflectantes, guantes y botas con puntera de acero para los trabajadores.

- Formación continua: Proporcionar formación continua al personal sobre procedimientos de emergencia y protocolos de seguridad para reducir los incidentes relacionados con la construcción.
- c. Protección de infraestructuras e instalaciones
- Seguridad perimetral: Establecer vallas físicas alrededor de las instalaciones portuarias e implantar sistemas de detección de intrusos.
 - Sistemas de protección contra incendios: Diseñar e instalar redes de hidrantes, sistemas de rociadores y extintores estratégicamente situados para hacer frente a emergencias relacionadas con incendios.
 - Redundancia de energía: Garantizar un suministro eléctrico fiable a los sistemas críticos, como la iluminación, los sistemas de vigilancia y las alarmas, a través de generadores de reserva.

Estas medidas garantizarían que las operaciones portuarias en Puerto Armuelles se realicen de forma segura, protegiendo tanto a las personas como a las mercancías, al tiempo que se cumplen las normas de seguridad exigidas por el sector.

Iluminación y suministro eléctrico

Un suministro eléctrico fiable y una iluminación eficiente son esenciales para garantizar la continuidad y la seguridad de las operaciones en Puerto Armuelles, tanto durante la fase de construcción como la operativa. Siguiendo el diseño proyectado para Puerto Barú, se propone un enfoque similar para las infraestructuras y el consumo energético, ajustado al contexto de la nueva ubicación.

a. Suministro eléctrico

- Infraestructura eléctrica: Se considera la instalación de líneas eléctricas paralelas a la carretera principal de acceso para permitir una conexión eficiente a las redes existentes.
- Fuentes de energía renovables: En línea con las tendencias de sostenibilidad, se pondría en marcha un "Plan Gran Cliente" en colaboración con productores de energías renovables como ENEL Green Power. Este plan daría prioridad al uso de fuentes hidroeléctricas y fotovoltaicas para cubrir una parte significativa de las necesidades energéticas del puerto.
- Suministro y distribución: Como en el caso de referencia, el suministro eléctrico correría a cargo de una empresa regional de distribución. En el proyecto original, EDECHI (Naturgy) es responsable de la distribución eléctrica y de la infraestructura necesaria. Para Puerto Armuelles, se prevé que un proveedor con capacidades similares garantice el suministro energético a todas las zonas operativas del puerto.

b. Iluminación del puerto

- Muelles y zonas de carga: Se instalarán torres de iluminación LED de alta eficiencia para garantizar una visibilidad adecuada durante las operaciones nocturnas.
- Almacenes y patios: Iluminación uniforme mediante lámparas LED distribuidas estratégicamente para evitar sombras en puntos críticos.

Basándose en el proyecto de Puerto Barú, se estima que la capacidad eléctrica necesaria para Puerto Armuelles sería similar, de aproximadamente 34 kV.

4.0 IDONEIDAD DEL EMPLAZAMIENTO PARA EL PUERTO

4.1 Condiciones Oceanográficas

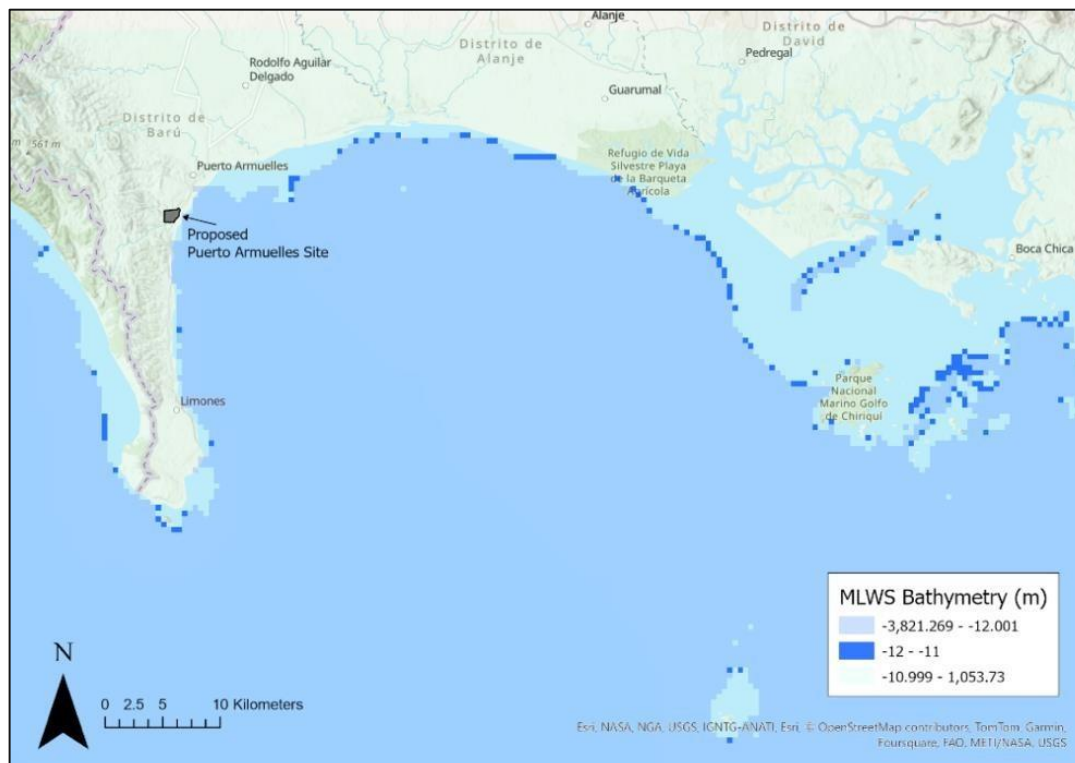
Esta sección resume nuestro análisis de las condiciones oceanográficas para la región de Puerto Armuelles - incluyendo batimetría, niveles de agua, velocidad y dirección del viento, altura y dirección de las olas y corrientes oceánicas.

Batimetría

Los datos batimétricos de la zona de Puerto Armuelles (GEBCO, 2024) se obtuvieron del portal de la Carta Batimétrica General del Océano (GEBCO). La grilla *GEBCO_2024* ofrece una cobertura global de elevación del terreno (incluyendo el fondo marino) en metros sobre una cuadrícula geográfica con resolución de 15 arco-segundos (aproximadamente 500 m de resolución), que comprende 43,200 filas y 86,400 columnas para un total de más de 3,7 millones de puntos con datos de elevación. El nivel de referencia vertical de los datos de elevación GEBCO es el nivel medio del mar (MSL).

Para este análisis, los datos de elevación del lecho marino se refirieron a la bajamar media de sicigias (MLWS; Sección 0 del Apéndice) para facilitar la identificación de las batimétricas de -11 y -12m MLWS, como se especifica en el Estudio de Impacto Ambiental de Puerto Barú (EIA, 2023). En comparación con Puerto Barú, la Figura 4-1 muestra que Puerto Armuelles tiene fácil acceso a aguas profundas cerca de la costa al sur de la ciudad. El acceso de Puerto Armuelles a aguas profundas probablemente eliminaría la necesidad de un costoso dragado capital y de mantenimiento, reduciendo significativamente tanto los costos del proyecto como los impactos ambientales asociados con la dispersión de sedimentos vertidos durante el dragado. Además, el análisis de los datos del nivel del agua (Figura 8-4) muestra que la variación de la marea en Puerto Armuelles es de sólo unos 3 metros, aproximadamente un metro menos que la variación indicada para Puerto Barú en el EIA. Se espera que esta menor variación de los niveles de marea facilite las operaciones portuarias al minimizar los desafíos asociados con mayores fluctuaciones de la marea, apoyando aún más a Puerto Armuelles como una ubicación más eficiente y sostenible para un desarrollo portuario alternativo.

Figura 4-1: Batimetría GEBCO de la zona de Puerto Armuelles mostrando las elevaciones del lecho en m MLWS. Las elevaciones por debajo de -12m MLWS se muestran en azul claro, entre -11 y -12m MLWS se muestran en azul oscuro, mientras que las elevaciones por encima de -11m MLWS se muestran en turquesa claro.



Fuente: Elaboración propia

Análisis de viento y oleaje ERA5

Los datos horarios de viento a una elevación de 10 m y del oleaje del reanálisis ERA5 del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Plazo Medio (ECMWF), que abarcan el periodo comprendido entre 1970 y 2024, se descargaron del Archivo de Datos Climáticos (CDS) del Programa Copérnico de la Unión Europea. ERA5 es el reanálisis de quinta generación del ECMWF, que proporciona datos climáticos y meteorológicos globales completos que abarcan las últimas ocho décadas. Los datos están disponibles a partir de 1940; más información puede obtenerse en: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels>

El reanálisis ERA5 integra los resultados del modelo con observaciones globales en un conjunto de datos coherente mediante técnicas de asimilación de datos. Este proceso, similar a los utilizados en la predicción meteorológica numérica, combina las previsiones anteriores con las nuevas observaciones disponibles cada 12 horas para producir la representación más exacta de las condiciones atmosféricas, lo que se conoce como análisis. Este análisis actualizado constituye la base para mejorar las previsiones. Para los periodos históricos, se aplica el mismo método con una resolución inferior para crear conjuntos de datos a largo plazo.

El ERA5 proporciona estimaciones horarias de diversas variables atmosféricas, de olas oceánicas y de la superficie terrestre. Los datos atmosféricos (por ejemplo, el viento) se reportan sobre una grilla latitud-longitud de 0,25 grados, mientras que los datos de olas oceánicas lo hacen sobre una malla de 0,5 grados de resolución. La Figura 4-2 muestra la cuadrícula de análisis del oleaje ERA5 frente a Puerto Armuelles, con números para las estaciones virtuales (que representan los centroides de la grilla del modelo) asignados arbitrariamente. Las coordenadas exactas de las estaciones se indican en la Tabla 4-1.

Debido a la resolución gruesa de las simulaciones ECMWF, la batimetría cercana a la costa no está bien resuelta. Para minimizar los efectos de la refracción, el bajo y la difracción de las olas, centramos nuestro análisis del periodo de 55 años (1970 a 2024) en los puntos de la cuadrícula ubicados en aguas profundas, concretamente en las estaciones 11, 12, 18 y 19. Los resultados de estas estaciones se presentan y discuten en las secciones siguientes.

Figura 4-2: Estaciones del reanálisis ERA5 para parámetros de viento y oleaje frente a la costa de Puerto Armuelles. La numeración de las estaciones es arbitraria.



Fuente: Elaboración propia

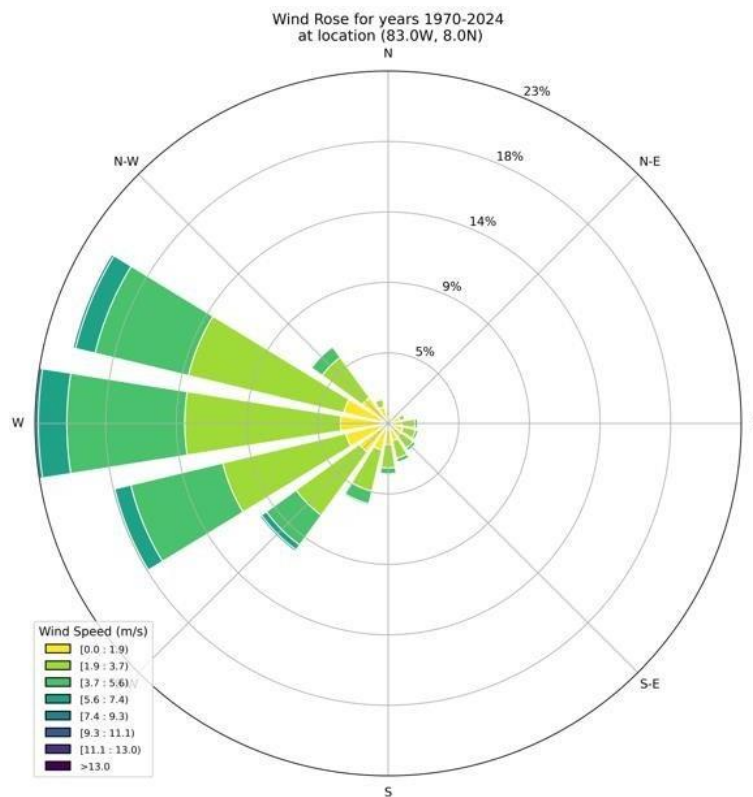
Tabla 4-1: Localización de las estaciones del reanálisis ERA5 utilizadas en el análisis de los parámetros de viento y oleaje.

ESTACIÓN	LONGITUD (°W)	LATITUD (°N)	ELEVACIÓN DEL LECHO (m MLWS)
11	82.5	7.5	-2070
12	83.0	7.5	-1698
18	82.5	8.0	-114
19	83.0	8.0	-634

Las rosas de los vientos son representaciones gráficas de la frecuencia y la intensidad direccional del viento durante un periodo específico, proporcionando una visualización simple de los patrones de viento predominantes y su variabilidad en un lugar determinado. La Figura 4-3 muestra la dirección y frecuencia de 55 años de datos horarios de viento ERA5 a una elevación de 10 m para la Estación 19, un lugar expuesto frente al extremo suroeste de la Península de Burica.

El predominio de los vientos del oeste en Puerto Armuelles sugiere unas condiciones favorables para las operaciones portuarias, con estadísticas resumidas en la Tabla 4-2. El abrigo natural que ofrece la península de Burica probablemente reduzca la necesidad de construir rompeolas importantes, y minimiza las interrupciones operativas causadas por la actividad de las olas generadas por el viento. Esta combinación de factores refuerza la idoneidad de Puerto Armuelles como emplazamiento estable y eficiente para el desarrollo portuario. Además, estos resultados del reanálisis ERA5 coinciden con las observaciones locales de viento registradas en el aeropuerto de Puerto Armuelles (véanse los detalles aquí: <https://metar- taf.com/stats/PA-0064#wind>).

Figura 4-3: Rosa de los vientos de la velocidad del viento ERA5 (m/s) a 10 m de altitud para el periodo 1970-2024, estación 19.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-2: Estadísticas de los datos de viento del reanálisis ERA5 en las cuatro estaciones seleccionadas.

ESTACIÓN	VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/s)	VELOCIDAD MÁX. DEL VIENTO (m/s)	DIRECCIÓN ASOCIADA (°N)	VELOCIDAD MEDIA DE LAS RÁFAGAS (m/s)	VELOCIDAD MÁX. DE RÁFAGAS (m/s)	DIRECCIÓN ASOCIADA (°N)
11	3.25	12.72	206.63	5.05	18.54	226.97
12	3.22	13.42	195.01	4.99	19.66	195.66
18	3.34	13.41	226.44	5.24	18.29	219.89
19	3.03	14.03	190.60	4.79	18.50	224.17

Además de los patrones de viento, comprender la influencia del oleaje de fondo y de las olas generadas localmente por el viento en Puerto Armuelles es fundamental para evaluar la idoneidad del sitio propuesto. Utilizando los datos del reanálisis ERA5 para el periodo 1970-2024, evaluamos la energía total de las olas, del oleaje de largo periodo generado en aguas profundas y de las marejadas (olas generadas localmente por el viento). Como se muestra en la Figura 4-4, las condiciones de oleaje en alta mar en Puerto Armuelles están predominantemente influenciadas por el oleaje de las direcciones sur- suroeste (SSW) y suroeste (SW). Este patrón indica que la Península de Burica protege naturalmente la zona portuaria de las olas predominantes del Océano Pacífico. En la Sección 8.5 del Apéndice se muestran rosas de olas para todas las estaciones.

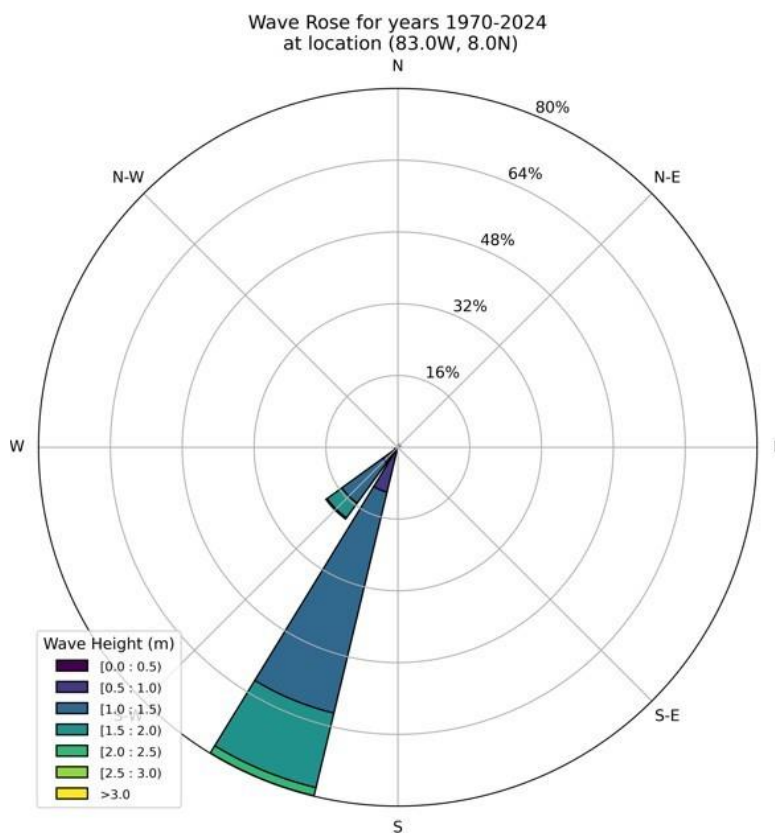
Parte del oleaje del oeste puede difractarse alrededor de la punta de la Península de Burica y refractarse en el Golfo de Chiriquí, alcanzando potencialmente Puerto Armuelles. La caracterización precisa de estas transformaciones del oleaje requeriría un modelo numérico detallado de propagación y transformación de olas, que está más allá del alcance de esta evaluación preliminar. La ausencia de estructuras de protección en Charco Azul (Figura 3-2) sugiere que la refracción de las olas alrededor de la Península de Burica es mínima.

Se dispone de estadísticas de oleaje adicionales para las cuatro estaciones de control virtuales, que se resumen en las tablas 8-5 a 8-7 del apéndice. Estas tablas detallan las alturas media y máxima de las olas, así como los periodos medios de las olas y las direcciones asociadas a las olas más grandes. Dada la longitud de la serie temporal ERA5, se espera que las alturas de ola para un período de retorno de 50 años sean comparables a los valores máximos que figuran en estas tablas.

En particular, el análisis muestra que incluso las olas más grandes se originan principalmente en el sector suroeste, lo que concuerda con los patrones de viento representados en las rosas de viento (Sección 8.5). Dado que la península de Burica proporciona protección eficaz contra las olas de esta dirección, es más relevante considerar las marejadas generadas localmente desde el sector este (entre el norte y el sur), ya que estas olas pueden propagarse hacia Puerto Armuelles sin obstrucción de masas terrestres o islas.

Las estadísticas de oleaje para el sector oriental, presentadas en la Tabla 8-7, indican un clima de oleaje suave frente a la costa de Puerto Armuelles. Esto apoya aún más la evaluación de que Puerto Armuelles es un lugar bien protegido naturalmente de la acción significativa de las olas por Punta Burica, lo que reduce la necesidad de construir costosas estructuras de protección contra el oleaje.

Figura 4-4: Rosa de olas ERA5 (oleaje total, en m) para el periodo 1970-2024, estación 19.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-3: Estadísticas de los datos de oleaje del reanálisis ERA5 en las cuatro estaciones seleccionadas. Energía total del oleaje.

ESTACIÓN	ALTURA MEDIA DE LAS OLAS (m)	ALTURA MÁX. DE OLA (m)	PERÍODO DE OLA ASOCIADO (s)	DIRECCIÓN ASOCIADA (°N)
11	1.34	3.14	7.71	206.27
12	1.10	2.69	7.78	202.28
18	1.38	3.34	7.64	204.16
19	1.31	3.23	7.85	198.98

Corrientes oceánicas

Las velocidades de las corrientes oceánicas superficiales mensuales en formato de archivo netCDF se obtuvieron del producto de reanálisis oceánico global *GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030* del Programa Marino Copérnico. Estos campos de corrientes, que abarcan medias mensuales de 1993 a 2016, ayudan a visualizar los patrones estacionales de las corrientes oceánicas costeras que podrían afectar a las operaciones en Puerto Armuelles.

El Producto de Reanálisis Oceánico Global, de naturaleza similar al conjunto de datos de reanálisis ERA5, es una herramienta de reanálisis sofisticada que reconstruye las condiciones oceánicas históricas utilizando modelos numéricos avanzados y datos observacionales asimilados. El producto representa una simulación oceánica global con resolución de remolinos, que capta fenómenos de mesoescala con una resolución espacial de 1/12 grados (~8

kilómetros) y 50 niveles verticales estándar.

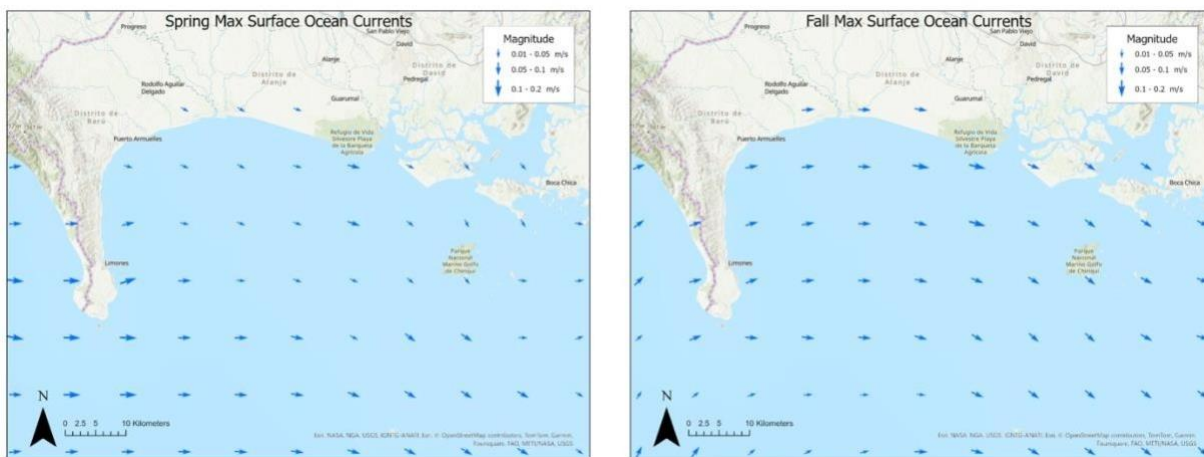
Para representar la media estacional mensual y las corrientes oceánicas superficiales máximas, se definieron cuatro periodos estacionales, que siguen aproximadamente las estaciones del hemisferio norte:

- Primavera = abril, mayo, junio (AMJ)
- Verano = julio, agosto, septiembre (JAS)
- Otoño = octubre, noviembre, diciembre (OND)
- Invierno = Enero, febrero, marzo (JFM)

Utilizando los componentes de velocidad vertical y horizontal del clima de corrientes oceánicas medias mensuales en la superficie (aproximadamente a -0,4 m de profundidad por debajo del nivel del mar), se calcularon los promedios y máximos estacionales, y sus campos de velocidad se representan en las siguientes Figuras 4-5 (primavera y otoño) y en las Figuras 8-14 a 8-9 de la Sección 8.7 del Apéndice. Se seleccionaron las corrientes superficiales porque suelen ser las más fuertes y, por tanto, las que podrían suponer un mayor inconveniente para las operaciones portuarias.

Los vectores con una longitud mayor representan velocidades mayores. Normalmente, las velocidades máximas no superan los 0,2 m/s. Las estaciones de otoño y verano experimentan corrientes superficiales hacia el este (desde el oeste), hacia el sureste en primavera (desde el noroeste) y hacia el suroeste (desde el noreste) en invierno, lo que significa que Puerto Armuelles está protegido de la acción de las corrientes oceánicas la mayor parte del año.

Figura 4-5: Corrientes oceánicas superficiales máximas en primavera (AMJ; izquierda) y otoño (OND; derecha) frente a Puerto Armuelles.



Fuente: Elaboración propia

4.2 Resumen de las Conclusiones Oceanográficas y Conclusiones

Puerto Armuelles presenta una ubicación favorable para el emplazamiento de un puerto, debido a la protección natural provista por la península de Burica frente a las olas predominantes del sursuroeste (SSW) y suroeste (SW) y los vientos del oeste (W). Las olas generadas localmente por el viento de levante son pequeñas e infrecuentes, lo que reduce la necesidad de rompeolas importante y minimiza la agitación en el muelle.

Además, las corrientes oceánicas estacionales son débiles (normalmente no superan los 0,2 m/s) y cambian de dirección a lo largo del año; no parecen presentar ningún riesgo operativo. Combinado con aguas naturalmente profundas y un menor rango de mareas que Puerto Barú, Puerto Armuelles reduce significativamente la necesidad de costosos dragados y disminuye los impactos ambientales potenciales, particularmente sobre los manglares y otros ecosistemas sensibles, lo que lo convierte en un sitio ideal para el desarrollo portuario, al tiempo que permite el crecimiento y la expansión futuros.

5.0 MATERIALES Y EQUIPOS ADECUADOS DISPONIBLES PARA LA CONSTRUCCIÓN

En esta fase preliminar, se estima que las áreas de almacenamiento y manipulación de cargas necesarias para Puerto Armuelles serían similares a las proyectadas para Puerto Barú, ajustadas en función de las necesidades específicas del sitio propuesto. El área de almacenamiento (Figura 8-2) se ubicaría junto a las oficinas de campo, instalada en contenedores de 40 pies. Los materiales se almacenarían en bodegas de acero con tejado de zinc, mientras que la maquinaria tendría un área de estacionamiento con base de piedra.

El equipo y la maquinaria necesarios para el proyecto de cuatro años se guardarían en un patio de 10,000 metros cuadrados (m²) con talleres de mantenimiento, estructuras metálicas techadas, vallado perimetral y medidas de seguridad. El depósito de materiales, con una superficie de 7,500 m², contaría con instalaciones específicas para los distintos suministros, personal de control de inventario y seguridad nocturna para evitar robos y accesos no autorizados. La Tabla 5-1 y las Tablas 8-1 a 8-3 de la Sección 8.2 del Apéndice detallan las cantidades de material para las principales estructuras que componen el puerto. Estas cantidades aún se consideran preliminares en esta fase y se ajustarían en función de la ubicación propuesta. Se asume que los materiales estarían disponibles de las mismas fuentes que proveerían los materiales para la construcción de Puerto Barú.

Las estructuras propuestas en el diseño conceptual se especifican en función de los metros cuadrados de construcción estimados para cada sección del Proyecto.

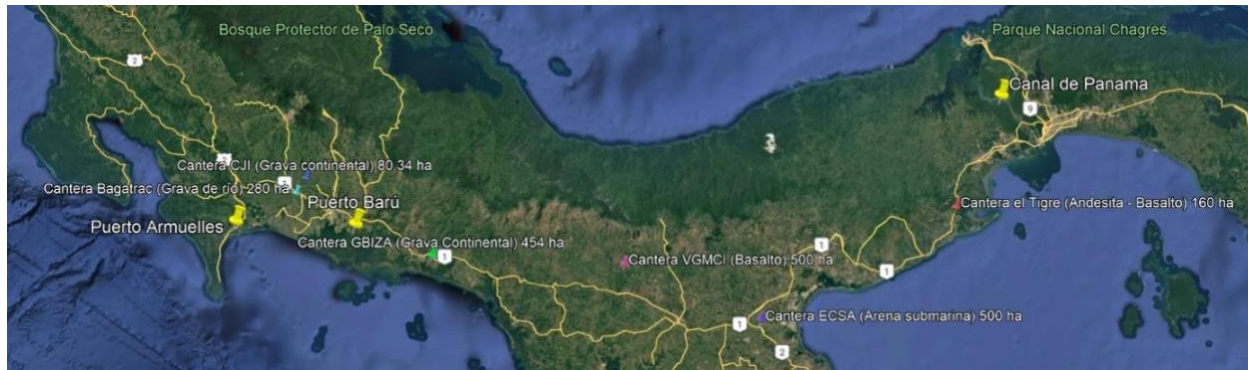
Cuadro 5-1: Construcción de estructuras

ESTRUCTURAS			
ID	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Edificaciones		
1.1	Edificios del Parque Logístico y de la Sección de Depósitos de Líquidos	m ²	144721
1.2	Edificios de la Sección de Oficinas y Convenciones	m ²	84118
1.3	Edificios de la Sección Turística	m ²	51706
1.4	Edificios de la Sección Residencial	m ²	34674
1.5	Edificios de la Zona Marítima	m ²	43340
1.6	Edificios Portuarios	m ²	29135

Fuente: EIA Puerto Barú

De acuerdo con el diseño del muelle propuesto, las cantidades de materiales de construcción se detallan en la Tabla 8-1 del Apéndice, divididas entre el muelle principal y el muelle de minicruceros, que representan el esfuerzo de construcción. El equipamiento necesario para el desarrollo del proyecto también se detalla en la Tabla 8-3 del Apéndice. Estas cantidades todavía se consideran preliminares en esta fase y se ajustarían en función de las necesidades de construcción en Puerto Armuelles. Sin embargo, la disponibilidad de equipos en Panamá para la ejecución del proyecto fue confirmada por los proveedores panameños de equipos contactados por Envis.

La construcción del puerto en Puerto Armuelles requiere una planificación estratégica para garantizar un suministro adecuado de materiales de calidad que cumplan los requisitos técnicos del proyecto. En este contexto, se han identificado varias fuentes de préstamos (canteras) en Panamá, como se muestra en la Figura 5-1. Estas fuentes serán cruciales para el desarrollo del puerto, particularmente para las actividades de relleno y la ejecución de obras estructurales y de protección costera.

Figura 5-1: Canteras identificadas

Fuente: Elaboración propia

En base a la información presentada anteriormente y según el informe 2024 (Ministerio de Comercio e Industrias, 2024), las fuentes de préstamos se encuentran actualmente en evaluación o revisión de elegibilidad. Adicionalmente, se detallan las siguientes canteras:

a. Canteras de Grava Continental

- Cantera GBIZA (454 ha) y Cantera CJ (80.34 ha): Estas fuentes proporcionan grava continental, ideal para rellenos estructurales debido a su alta resistencia y estabilidad, asegurando una base sólida para áreas de relleno y subestructuras.

b. Canteras de Andesita-Basalto:

- Cantera El Tigre (160 ha) y Cantera VGMC (500 ha): La andesita y el basalto son materiales muy densos y duraderos, ideales para construir obras de protección costera como rompeolas y espigones, así como cimentaciones submarinas.

c. Arena submarina y grava de río:

- Cantera ECSA (500 ha): La arena submarina es esencial para la nivelación y las mezclas de hormigón. Combinada con grava de río, garantiza la estabilidad y calidad de las estructuras de hormigón.

Se recomienda realizar estudios detallados de caracterización de los materiales disponibles en cada cantera para confirmar su idoneidad técnica y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos para la construcción. Adicionalmente, sería necesario gestionar los permisos ambientales y operativos para la extracción y transporte de estos materiales.

En base a esta evaluación preliminar, se considera que Puerto Armuelles presenta una alternativa viable a Puerto Barú para el desarrollo portuario en la región de Chiriquí, en la costa pacífica de Panamá. Sus aguas naturalmente profundas reducen significativamente o eliminan la necesidad de costosos dragados, al tiempo que minimizan los posibles impactos ambientales sobre ecosistemas sensibles como los manglares de David.

La revisión de los datos del reanálisis ECMWF ERA5 sugiere que la bahía de Charco Azul, protegida por la península de Burica, se caracteriza por patrones de viento moderados y consistentes, principalmente del oeste, con una actividad de oleaje moderada y corrientes oceánicas de débiles a moderadas. Estas óptimas condiciones de operación portuaria quedan demostradas por el exitoso funcionamiento de Puerto Charco Azul, la terminal del Pacífico del Oleoducto Transpanameño.

Además, Puerto Armuelles ofrece un potencial de infraestructura escalable, un acceso fiable a la carretera Panamericana y una proximidad adecuada a materiales y equipos de construcción. Estas ventajas combinadas hacen de Puerto Armuelles una ubicación factible para el desarrollo de un puerto multipropósito que se alinee con los objetivos de sostenibilidad económica y ambiental de la región.

7.0 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA Y REVISIÓN

Este capítulo presenta una compilación de referencias, normativas, informes técnicos y estudios utilizados como base para la elaboración de este proyecto. A continuación, se presenta una lista detallada de los documentos y referencias revisados:

Tabla 7-1: Lista de referencias proporcionadas por Lynker

Ref	Autor / Empresa (Año). Documento	ID / Código
1	Planeta (2023). ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CATEGORÍA III DEL PROYECTO TITULADO: Proyecto Puerto Barú	-
2	GEBCO bathymetry of Puerto Armuelles	-

Fuente: Elaboración propia

Caldwell, P. C., M. A. Merrifield, P. R. Thompson (2015). Sea level measured by tide gauges from global oceans - the Joint Archive for Sea Level holdings (NCEI Accession 0019568), Version 5.5, NOAA National Centers for Environmental Information, Dataset doi: [10.7289/V5V40S7W](https://doi.org/10.7289/V5V40S7W).

Copernicus Programme. (2023). ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Climate Data Store. (doi: [10.24381/cds.adbb2d47](https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47))

Copernicus Programme. (2023). Global Ocean Physics Reanalysis: The cmems_mod_glo_phy_my_0.083deg-climatology_P1M-m Product. EU Copernicus Marine Service. (Downloaded from https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/files?path=GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030%2Fcmems_mod_glo_phy_my_0.083deg-climatology_P1M-m_202311%2F)

Consultora Ambiental Planeta (2023): Estudio de Impacto Ambiental Categoría III del Proyecto Titulado: Proyecto Puerto Barú. Elaborado para Ocean Pacific Financial Services, Corp.

GEBCO Compilation Group (2024). GEBCO 2024 Grid (doi:10.5285/1c44ce99-0a0d-5f4f-e063-7086abc0ea0f)

Ministerio de Comercio e Industrias. (2024). *Listado de solicitudes de minerales no metálicos - Julio 2024*. Dirección Nacional de Recursos Minerales. <https://mici.gob.pa/wp-content/uploads/2024/08/LISTADO-DE-SOLICITUDES-NO-METALICAS-JULIO-2024.pdf>

Oceans, General Bathymetric Chart of the. "Gridded Bathymetry Data (General Bathymetric Chart of the Oceans)." GEBCO. Accessed December, 2024. https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/.

Haigh, I.D., M. Marcos, S.A. Talke, P.L. Woodworth, J.R. Hunter, B.S. Hague, A. Arns, E. Bradshaw and P. Thompson (2023): GESLA Version 3: A major update to the global higher-frequency sea-level dataset. *Geoscience Data Journal*, Volume 10, Issue 3, July 2023. (doi: Part 1, [10.5285/d21a496a-a48e-1f21-e10.5285/d21a496a-a48f-1f21-e053-6c86abc08512053-6c86abc08512](https://doi.org/10.5285/d21a496a-a48e-1f21-e10.5285/d21a496a-a48f-1f21-e053-6c86abc08512053-6c86abc08512); Part 2, [10.5285/d21a496a-a48f-1f21-e053-6c86abc08512](https://doi.org/10.5285/d21a496a-a48f-1f21-e053-6c86abc08512))

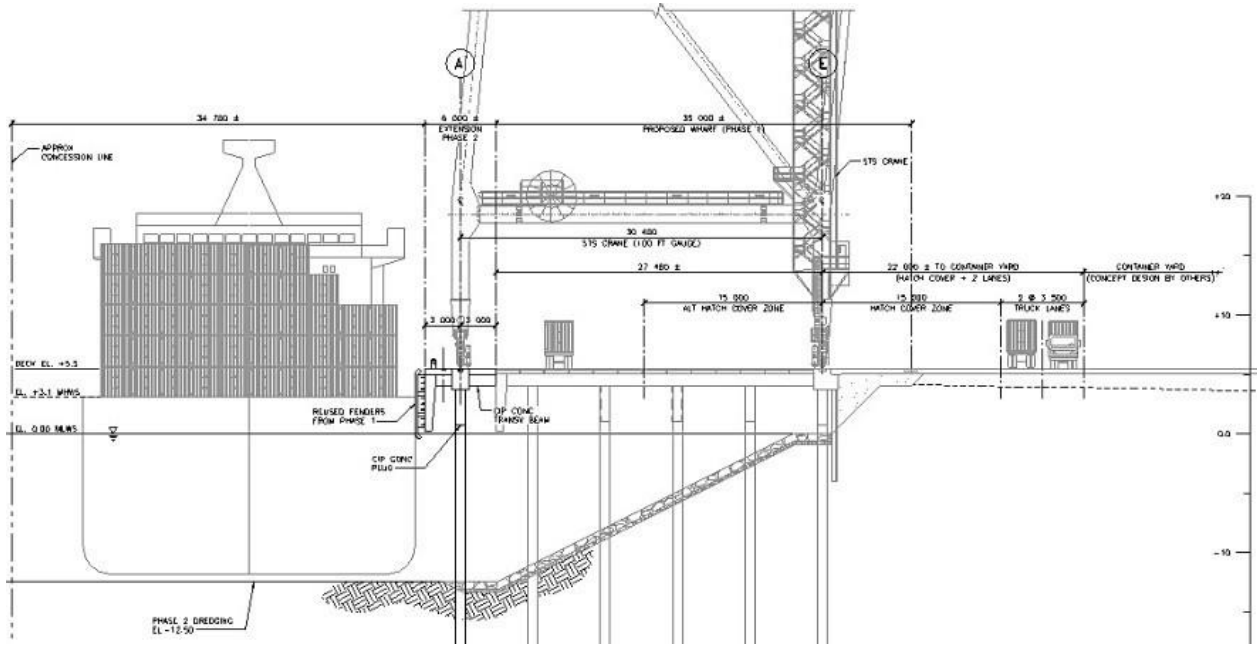
Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), doi: [10.24381/cds.adbb2d47](https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47) (Accessed on 15-Dec-2024).

Woodworth, P.L., J.R. Hunter, M. Marcos, P. Caldwell, M. Menéndez, I.D. Haigh (2016); Towards a global higher-frequency sea level dataset. *Geoscience Data Journal*, Volume 3, Issue 2, November 2016. (doi: [10.5285/3b602f74-8374-1e90-e053-6c86abc08d39](https://doi.org/10.5285/3b602f74-8374-1e90-e053-6c86abc08d39))

8.0 ANEXO

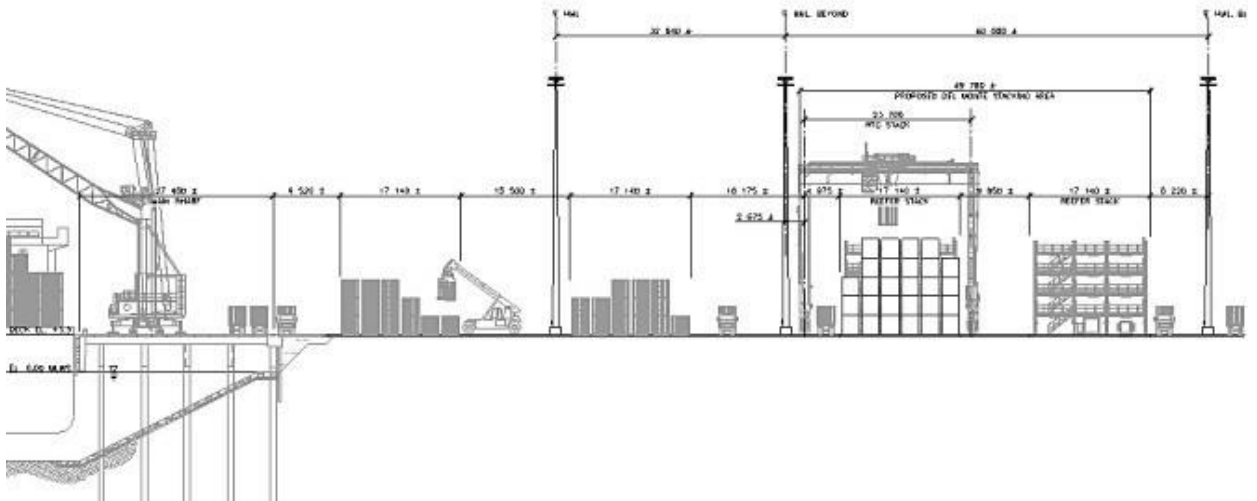
8.1 Puerto Barú Dibujos Conceptuales

Figura 8-1: Vista en sección - Muelle principal



Fuente: EIA Puerto Barú

Figura 8-2: Patio de contenedores y sección general del puerto



Fuente: EIA Puerto Barú

8.2 Fuentes para Materiales de Construcción

Figura 8-3: Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá Dirección Nacional de Recursos Minerales Solicitudes de Minerales No Metálicos (sólo la primera página)

GOBIERNO NACIONAL MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS CON PASO FIRME										
MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS DIRECCION NACIONAL DE RECURSOS MINERALES SOLICITUDES DE MINERALES NO METALICOS										
Nº	EXP.	SIMBOLO	TIPO	FECHA DE ENTRADA	EMPRESA	MATERIAL	LOCALIZACIONES	ZONAS	HAS	ESTATUS
1	2023-13	AMRPSA	EXTRACCION	06-sep-23	AGREGADOS Y MINERALES RIO PIEDRA, S.A.	Piedra de Rio	Portobelo (Cah.) y Maria Chagata - Portobelo - Colón	1	314.46	Evaluación
2	2001-44	ADHC	EXTRACCION	02-jul-01	AGRICULTURE DEVELOPMENT HOLDING, CORP.	Piedra caliza y tosca	Buena Vista y Nuevo San Juan, Colón, Colón	2	335.2000	Evaluación
3	2010-17	ASPSA	EXTRACCION	09-jan-10	AGRICULTURA Y SERVICIOS DE PANAMA, S.A.	Tosca y piedra de cantera	Yaviza-Pinogana-Darien	1	100.00	Evaluación
4	2001-78	ABSA	EXPLORACION	28-dic-01	AGROBRAIMA, S.A.	Piedra de cantera, tosca y otros	Oli, El Pisco y La Pava, Oli, Cocle	2	502.50	Elegible
5	2014-13	ABSA	EXTRACCION	23-may-14	AGROGANADERA BLANQUITA, S. A.	Tosca, piedra de cantera y otros	Chiriquí, David, Chiriquí	1	125.00	Evaluación
6	2014-06	AGASA	EXTRACCION	12-mar-14	AGROGANADERA ANIL, S.A.	Tosca y piedra de cantera	San Bartolo, La mesa, Veraguas	1	107.00	Evaluación
7	2000-45	APSA	EXTRACCION	15-may-00	ALFA PANAMA, S.A.	Piedra de cantera	Santiago, Chapumpa, Santiago y Santa Maria, Veraguas y Herrera	3	336.36	Evaluación
8	2024-09	APCSA	EXPLORACION	08-may-24	AMPLIACION DE PUERTOS DE COLON, S.A.	Arena submarina	Cacique Garrute - Portobelo - Colón	4	1981.21	Evaluación
9	2007-11	ADMH	EXTRACCION	09-mar-07	ANDRES DAVID MADURO HERRERA	Tosca y piedra de cantera	Cerro Chame corregimiento cabecera, Chame, Panamá	1	69.03	Evaluación
10	2023-03	APCI	EXPLORACION	20-mar-23	ARENA POINT CAPITAL, INC.	Arena submarina	Cerroño - Capira - Panamá Oeste	1	742.69	Evaluación
11	2023-04	APCI	EXPLORACION	20-mar-23	ARENA POINT CAPITAL, INC.	Arena submarina	Esmeralda - Balboa - Panamá	1	1,937.30	Evaluación
12	2023-05	APCI	EXPLORACION	20-mar-23	ARENA POINT CAPITAL, INC.	Arena submarina	Esmeralda - Balboa - Panamá	1	1,995.06	Evaluación
13	2007-98	ARSA	EXTRACCION	22-nov-07	ARENA REGIONAL, S.A.	Arena continental	Santo Tomás y Santa Gallo, Alanje, Chiriquí	3	426013.00	Evaluación
14	2009-43	AMESA	TRANSPORTE Y BENEFICIO	4-dic-09	ARENAS MATERIALES Y EQUIPO, S.A.	Arena continental	Chepo, Chepo, Panamá	1	8675.00	Elegible
15	94-106	AUSA	EXTRACCION	27-sep-04	ARENAS UNIVERSALES, S.A.	Arena submarina	Chame, Chame, Panamá	1	900.00	Caducidad-Apelación
16	99-24	ACSA	EXPLORACION	15-jan-99	ARENAS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	Arena submarina	Mar Caribe al Norte de las Costas de Cristóbal, Colón, Colón	1	1.00	Rechazo-Reconsideración
17	2007-88	ACSA	EXPLORACION	02-nov-07	ARENAS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	Arena submarina	Miguel de La Borda, Donoso, Colón	6	1980.47	Evaluación
18	2007-89	ACSA	EXPLORACION	02-nov-07	ARENAS Y CONSTRUCCIONES, S.A.	Arena submarina	Gobea y Miguel De La Borda, Donoso, Colón	4	1922.59	Evaluación
19	97-08	AVSA	EXTRACCION	27-mar-97	ARENERA LA VICTORIA, S.A.	Arena continental	Cocle y El Coco, Penonomé, Cocle	3	499.20	Evaluación
20	2005-04	ASSA	EXPLORACION	2-feb-05	AURIFERA EL SOL, S.A.	Arena y otros	Chepillo, Chepo, Panamá	2	1.80	Caducidad-Reconsideración
21	2019-03	AASA	EXPLORACION	9-may-09	AVANCE Y AMPLIACIONES, S.A.	Arena submarina	Norte-La palma Taimati y Puerto Pila, Chepigana, Darién	2	992.51	Evaluación
22	2019-05	AASA	EXPLORACION	3-jul-19	AVANCE Y AMPLIACIONES, S.A.	Arena submarina	Norte de La palma, Taimati , Gariachine y Puerto Pila, Chepigana, Darién	2	997.10	Evaluación
23	2019-08	AASA	EXPLORACION	3-jul-19	AVANCE Y AMPLIACIONES, S.A.	Arena submarina	Norte de La palma, Taimati , Gariachine y Puerto Pila, Chepigana, Darién	3	997.75	Evaluación
24	2023-01	ANSA	EXTRACCION	27-ene-23	AZUCARERA NACIONAL, S.A.	Piedra caliza	Pelías Chatas - Océ - Herrera	1	71.23	Evaluación
25	2012-28	BIASA	EXPLORACION	12-dic-12	BABILONIA INTER ATLANTIC, S.A.	Arena submarina	Miguel de la borda y Gobea, Donoso, Colón	2	1880.00	Evaluación
26	2015-16	BISA	EXPLORACION	1-oct-15	BAGATRAC, S.A.	Piedra de cantera	Rio Iglesia, Chepigana, Panamá	1	130.27	Evaluación
27	2016-06	BISA	EXPLORACION	28-jun-16	BAGATRAC, S.A.	Piedra de cantera	Buena Vista Colón, Colón	1	124.00	Evaluación
28	2004-20	BBSA	EXTRACCION	17-jan-04	BASALTO EL BONGO, S.A.	Piedra de cantera	La Villa de Los Santos-Los Santos-Los Santos	1	170625.00	Evaluación
29	2007-72	BP	EXTRACCION	14-sep-07	BAO PEISHAN (Nombre Real)	Tosca	Boca Chica, San Lorenzo, Chiriquí	1	110.00	Evaluación

8.3 Tablas de Materiales de Construcción

Tabla 8-1: Materiales de construcción - Muelle principal

MUELLE PRINCIPAL			
ID	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Movimientos de tierra		
1.1	Movilización de equipos	Global	1
1.2	Instalación y compactación material granular de relleno tras el muro	m ³	9037
1.3	Protección de talud bajo agua, 600 mm escollera W50= 200 kg. 300 mm. Filtro de roca < 4 pulgadas	m ³	16200
1.4	Geotextil entre in situ y protección de talud, Mirafi 1100N	m ²	18842
2	Pilotes y muro		
2.1	Movilización de equipos y prefabricados	Global	1
2.2	Fabricación e instalación de tablestacas AZ18-700, 60.000 psi. 512 m de largo x 8,5 m de alto, incluye revestimiento.	m	512
2.3	Fabricación e instalación de largueros, dos (2) C10 x 22, 50.000 psi. 1.024 m de longitud	m	1024
2.4	Tapas de tablestacas. Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 300 kg/m ³	m ³	512

2.5	Fabricación e instalación de pilotes (acero u concreto reforzado), API 5L X60 (60.000 psi) 810 mm x 25 mm, revestimiento del tope a 2 m bajo la línea de lodo.	Unidad	686
2.6	Fabricación e instalación de envolturas de cada pilote (top 6 m de cada pila)	m	4116
2.7	Tapones de concreto reforzado, pilotes, f'c= 5.000 psi. 300 kg/m3	m ³	1061
3	Super-estructura		
3.1	Vigas transversales Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 300kg/m3	m ³	2701
3.2	Vigas en cantiléver Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 350 kg/m3	m ³	240
3.3	Vigas de defensa en canto libre en Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 350 kg/m3	m ³	177
3.4	Bloques de defensa Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 300 kg/m3	m ³	483
3.5	Viga de grúa en Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 350 kg/m3	m ³	2420
3.6	Fabricación e instalación de paneles de Concreto reforzado (losas prefabricadas), 6.000 psi 250 kg/m3, incluido el vertido	m ³	5950
3.7	Cubierta en Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 100 kg/m3	m ³	2058
3.8	Losa de transición Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 350 kg/m3	m ³	1580
4	Mobiliario de muelle y sistema de defensas		
4.1	Fabricación e instalación de elementos de defensa (MV 800 3 pares de patas), incluyendo UHMW Panel, anclas, cadenas y estructura de acero inoxidable.	Unidad	68
4.2	Fabricación e instalación de bolardos (150T) y ferretería asociada	Unidad	70
4.3	Fabricación e instalación de escaleras	Unidad	5
4.4	Fabricación e instalación de luces de navegación	Global	1
4.5	Fabricación e instalación de rieles y electrificación de sistema para grúas pórtico.	Global	1

Fuente: EIA Puerto Barú

Tabla 8-2: Materiales de construcción - Muelle de minicruceros

MUELLE PARA MINICRUCEROS			
ID	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Movimientos de tierra		
1.1	Movilización de equipos	Global	1
1.2	Protección de talud a lo largo, escollera de 600mm W50=200kg. 300mm. Filtro de roca < 4 pulgadas	m ³	3364
1.3	Geotextil entre in situ y protección de taludes, Mirafi 1100N	m ²	3738
2	Subestructura (muelle y pilotes)		
2.1	Movilización de equipos	Global	1
2.2	Fabricación e instalación de pilotes (acero o Concreto reforzado), API 5L X60 (60.000 psi) 810 mm x 25 mm, incluye revestimiento del tope a 2 m por debajo de la línea de lodo.	Unidad	30
2.3	Fabricación e instalación de pilotes de acero, API 5L X60 (60.000 psi). 610 mm x 19 mm, 25 m de longitud, incluye revestimiento del tope a 2 m por debajo de la línea de lodo.	Unidad	66
2.4	Fabricación e instalación de envolturas en cada pilote de acero (6 m/pila)	m	576

2.5	Vaciado en sitio, concreto de refuerzo, tapones de pilots de acero, f'c = 5.000 psi. 300 kg/m3	m ³	99
3	Super-estructura(muelle)		
3.1	Vigas transversales Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 300kg/m3	m ³	68
3.2	Concreto reforzado, vigas cantilever, f'c = 5.000 psi. 350 kg/m3	m ³	31
3.3	Concreto reforzado fender Vigas cantiliver transversal, f'c= 5.000 psi. 350 kg/m3	m ³	6
3.4	Concreto reforzado, bloques de defensa, f'c = 5.000 psi. 300 kg/m3	m ³	45
3.5	Fabricación e instalación de paneles de concreto (losas prefabricadas), 6.000 psi. 250 kg/m3, incluye vaciado	m ³	350
3.6	Topes de Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 150 kg/m3	m ³	150
4	Super-estructura(caballote)		
4.1	Vigas transversales Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 300kg/m3	m ³	480
4.2	Instalación y fabricación de paneles de concreto prefabricados (losas), 6.000 psi. 250 kg/m3, incluye vertido	m ³	1386
4.3	Topping de Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 150 kg/m3	m ³	168
4.4	Abutamiento detrestle	Global	1
5	Delfines de anclaje		
5.1	Fabricación e instalación de pilotes (acero o Concreto reforzado), API 5L X60. 60.000 psi. 914 mm x 25 mm, 25 m de longitud, incluye revestimiento del tope a 2 m por debajo de la línea de lodo	Unidad	8
5.2	Fabricación e instalación de envolturas en cada pilote de acero (6 m/pila)	m	48
5.3	Tapones de pilotes Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 300 kg/m3	m ³	16
5.4	Tapa de Delfín en concreto, f'c = 5.000 psi. 300 kg/m3	m ³	74
5.5	Soporte intermedio de pasarela de tránsito :Pilotes (Acero o Concreto reforzado), API 5L X60 (60.000 psi), 762 mm x 25 mm, 25 m, incluye Concreto reforzado), API 5L X60 (60.000 psi), 762 mm x 25 mm, 25 m, incluye revestimiento de tope a 2 m bajo la línea de lodo	Unidad	4
5.6	Fabricación e instalación de envolturas en cada pilote de acero (6 m/pila)	m	24
5.7	Soporte Intermedio de Pasarela de Tránsito: Tope en Concreto reforzado, f'c= 5.000 psi. 300 kg/m3	m ³	18
6	Mobiliario de muelle y sistema de defensa		
6.1	Fabricación e instalación de defensas (MV 400 2 patas), incluye panel UMHW, anclas, cadenas y estructura de acero inoxidable	Unidad	7
6.2	Fabricación e instalación de bolardos (7-50 T, 2-100 T) y herrajes asociados	Unidad	10
6.3	Fabricación e instalación de escaleras	Unidad	4
6.4	Fabricación de barra Jersey(440m de largo)	Global	1
6.5	Pasarelas de tránsito(4-25 m de largo)	Unidad	2

Fuente: EIA Puerto Barú

Cuadro 8-3: Equipos por actividad laboral

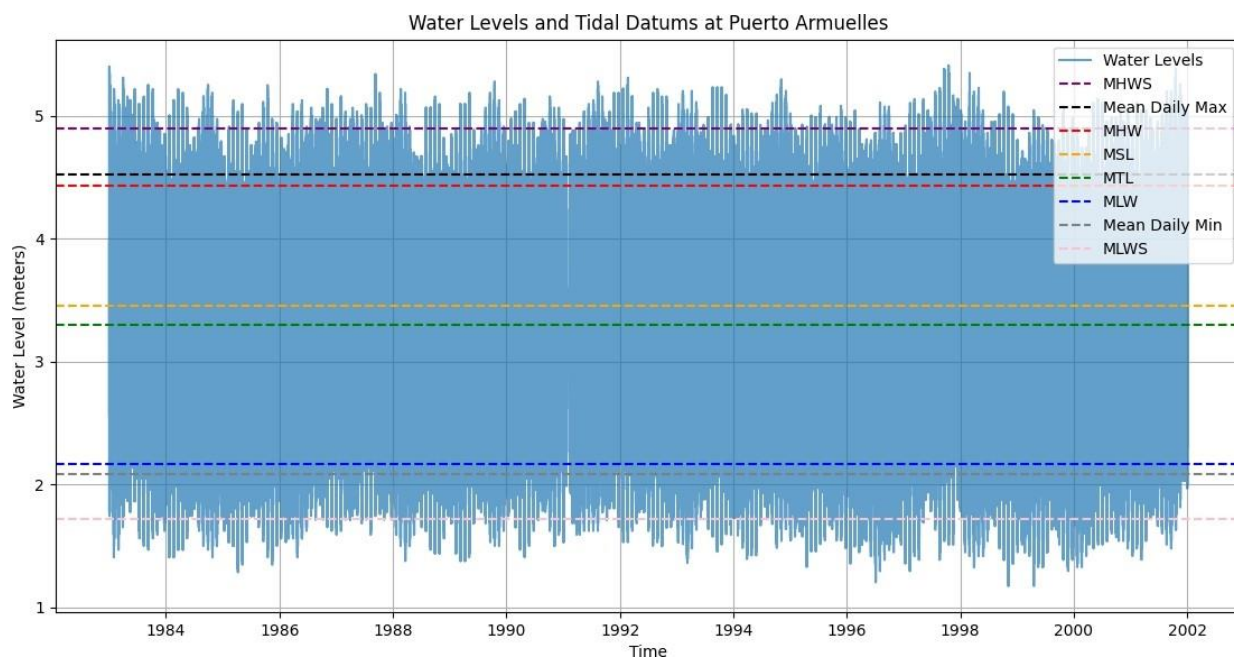
Equipos por actividad laboral	2023		2024		2025		2026	
	Semestres							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción de vías de acceso, infraestructuras, movimientos de tierras, patios de hormigón, aparcamientos, estructuras, etc.								
Camión volquete de 15 m ³	12	12	15	15	12	10	10	10
Camión volquete de 20 m ³	12	12	21	21	12	10	8	8
Camión regador de 20m ³	0	6	6	8	8	6	6	6
Camiones de concreto premezclado de 6 a 7m ³	6	6	6	6	4	4	4	3
Rodillo pata de cabra Dynapac CT262 o similar	6	8	6	8	5	5	5	5
Rodillo vibratorio autopropulsado	4	6	8	10	6	6	4	4
Rodillo neumático autopropulsado tipo HAMMGRW18 o similar.	1	2	2	2	2	2	2	1
Motoniveladora tipo CAT 140H Global o similar.	18	18	16	18	14	14	12	12
Topadora sobre carriles tipo Komatsu D85EX o similar.	1	2	2	2	2	1	1	1
Topadora sobre carriles tipo Komatsu D53A-17 o similar.	2	2	2	3	3	2	2	1
Excavadora sobre orugas tipo CAT 320 o similar	15	15	12	12	10	8	6	4
Excavadora sobre orugas Komatsu PC 300 o similar	3	3	3	3	3	3	2	1
Retroexcavadora sobre llantas tipo CAT 416E o similar	12	12	12	18	18	18	12	6
Telehandler para manipulación general de materiales	8	8	8	8	6	6	6	5
Cargador frontal tipo Komatsu WA250	1	2	4	6	6	4	2	2
Minicargadora tipo BOBCAT 5222	12	12	12	12	12	12	12	6
Terminadora asfáltica tipo BG230B o similar	1	1	1	1	1	0	0	0
Pavimentadora de concreto tipo GOMACOCOMMANDER III o similar.	1	1	1	1	1	1	1	1
Grúas pequeñas para edificaciones	0	0	0	0	2	2	1	1
Equipos menores (cortadoras de acero, formaletas, puntales, refuerzo, vibradores de concreto, otros)	100	120	140	140	120	120	100	80
Construcción de infraestructura marítima, puerto y muelles (muelle principal, muelle de líquidos, muelle turístico).								
Grúas tipo MHC, fase de construcción, recepción de materiales por agua	0	2	2	2	2	2	2	2
Hincador de pilotes hidráulico para pilotes prefabricados	0	4	4	4	0	0	0	0
Camión volquete de 15 m ³	5	10	10	10	0	0	0	0
Camión regador de 20m ³	5	10	8	8	0	0	0	0
Camiones de concreto premezclado de 6 a 7m ³	3	6	6	4	0	0	0	0
Excavadora anfibia tipo CAT312DSP o similar	3	4	4	3	0	0	0	0
Excavadora sobre orugas tipo CAT320 o similar	2	2	2	2	0	0	0	0
Retroexcavadora sobre llantas tipo CAT416E o similar	5	5	5	5	0	0	0	0
Terminador de concreto tipo GOMACOCOMMANDER III o similar.	2	2	2	2	0	0	0	0
Instalador de defensas y barreras de protección de muelles	2	2	2	2	0	0	0	0
Formaletas especializadas metálicas o de plástico sintético para vaciado de losas superior del muelle	16	16	16	16	0	0	0	0

Fuente: EIA Puerto Barú

8.4 Niveles de Agua

Se analizaron los niveles de agua en Puerto Armuelles para determinar el rango de variación de los niveles de marea y determinar niveles de referencia para la ubicación alternativa del puerto y, posteriormente, compararlos con los niveles en Puerto Barú. La versión 3.0 de la base de datos Global Extreme Sea Level Analysis (GESLA), publicado en noviembre de 2021, se descargó de <https://gesla787883612.wordpress.com/downloads/> y fue utilizado para el análisis que se presenta a continuación. El conjunto de datos del Joint Archive for Sea Level (JASL)/ University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC) desempeña un papel central en GESLA-3 (y versiones anteriores); véase Caldwell et al. (2015) para más detalles. Para más información sobre el conjunto de datos GESLA-3, véanse los artículos de [Haigh et al. \(2021\)](#) y [Woodworth et al. \(2017\)](#). Se analizaron los datos horarios del nivel del agua en Puerto Armuelles desde 1983 hasta 2001 extraídos de la base de datos GESLA- 3 (Figura 8-4).

Figura 8-4: Serie temporal de niveles horarios de agua (en metros) en Puerto Armuelles para el periodo 1983- 2001. Fuente: Base de datos GESLA -3. Los niveles de referencia de marea se muestran como líneas discontinuas horizontales.



Fuente: Elaboración propia

La serie temporal horaria de los niveles de agua para Puerto Armuelles, presentada en la Figura 8-4, fue utilizada para calcular los niveles de referencia de la marea; estos niveles fueron usados posteriormente para calcular la corrección de las elevaciones en la batimetría GEBCO que están referidos al nivel medio del mar (MSL), a la bajamar media de sicigias (MLWS). Los niveles de referencia para Puerto Armuelles se resumen en la Tabla 8-4.

El nivel medio del mar (MSL) representa la altura media de la superficie del mar en todas las fases de la marea a lo largo del periodo de análisis de mareas (1983-2001). La pleamar media de sicigias (Mean High Water Springs, MHWS) es la altura media de dos mareas altas consecutivas durante el periodo de mareas vivas, cuando los rangos de marea son máximos. La pleamar media (MHW) refleja la media de todas las pleamares observadas a lo largo del período de interés, mientras que la bajamar media (MLW) es la media de todas las bajamares registradas durante el periodo 1983-2001. El Nivel Medio de Marea (MTL) se calcula como la media aritmética de MHW y MLW. El nivel medio de bajamares de sicigias (MLWS) representa la altura media de dos mareas bajas consecutivas durante la estación de las mareas vivas, coincidiendo con la mayor amplitud de marea. Estos niveles de referencia de marea proporcionan puntos de apoyo críticos para convertir con precisión los datos batimétricos, con el fin de apoyar las evaluaciones de ingeniería y las consideraciones de diseño portuario.

Basándose en la información de la Tabla 8-4, la corrección aditiva de MSL a MLWS que debe aplicarse a todas las elevaciones del lecho en la batimetría GEBCO mostrada en la Figura 4-1 es igual a $(3.45 - 1.72) \text{ m} = 1.73 \text{ m}$.

Tabla 8-4: Niveles de referencia de mareas para Puerto Armuelles

DATUM	VALOR (m)	DESCRIPCIÓN
Marea Máxima	5.41	Marea más alta observada
MHWS	4.90	Pleamar media de sicigias
Marea Máxima Media	4.52	Media de los máximos horarios diarios
MHW	4.43	Pleamar media
MSL	3.45	Nivel medio del mar
MTL	3.30	Nivel medio de la marea
MLW	2.17	Bajamar media
Marea Mínima Media	2.09	Media de los mínimos horarios diarios
MLWS	1.72	Bajamar media de sicigias
Marea Mínima	1.17	Marea más baja observada

Fuente: Elaboración propia

8.0 Reanálisis del Oleaje ERA5

Tabla 8-5: Estadísticas de los datos de oleaje del reanálisis ERA5 para el periodo 1970-2024 en las cuatro estaciones seleccionadas. Mar de fondo.

ESTACIÓN	ALTURA MEDIA DE LASONDAS (m)	MÁX. ALTURA DE ONDA (m)	PERÍODO DE ONDA ASOCIADO (s)	DIRECCIÓN ASOCIADA (°N)
11	1.32	2.98	11.62	208.86
12	1.37	3.08	16.15	200.55
18	1.09	2.44	11.04	206.93
19	1.29	2.92	16.15	200.38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8-6: Estadísticas de los datos de oleaje del reanálisis ERA5 para el periodo 1970-2024 en las cuatro estaciones seleccionadas. Olas de marejada.

ESTACIÓN	ALTURA MEDIA DE LASONDAS (m)	MÁX. ALTURA DE ONDA (m)	PERÍODO DE ONDA ASOCIADO (s)	DIRECCIÓN ASOCIADA (°N)
11	0.19	2.64	7.03	201.11
12	0.19	2.95	7.25	199.01
18	0.16	2.08	5.45	218.71
19	0.14	2.45	6.26	189.24

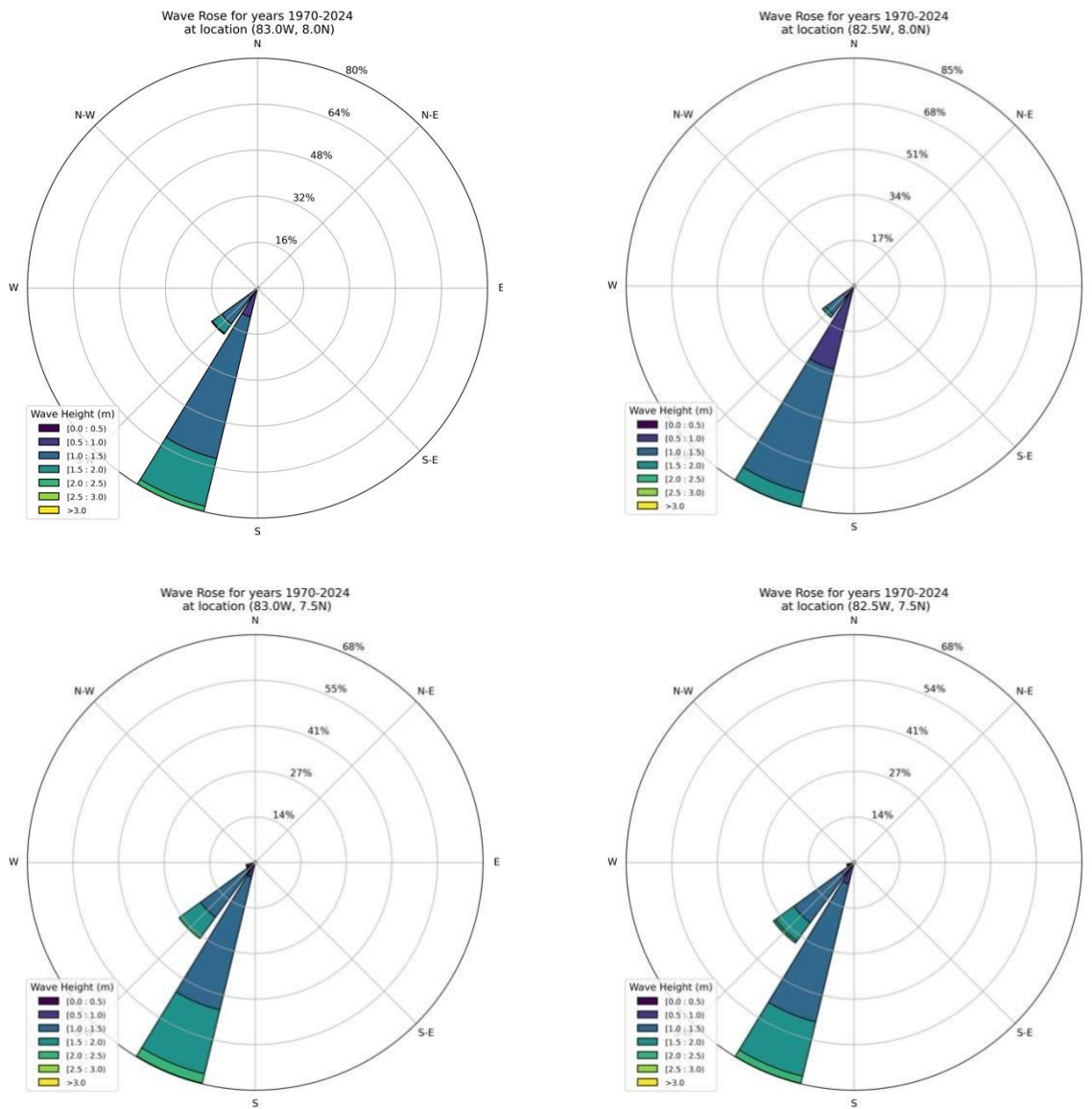
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8-7: Estadísticas de los datos de oleaje del reanálisis ERA5 para el periodo 1970-2024 en las cuatro estaciones seleccionadas. Olas de marejada del cuadrante oriental.

ESTACIÓN	ALTURA MEDIA DE LASONDAS (m)	MÁX. ALTURA DE ONDA (m)	PERÍODO DE ONDA ASOCIADO (s)	DIRECCIÓN ASOCIADA (°N)
11	0.08	1.64	4.70	103.06
12	0.07	1.47	5.19	179.81
18	0.09	1.03	4.39	170.93
19	0.05	1.24	5.07	176.19

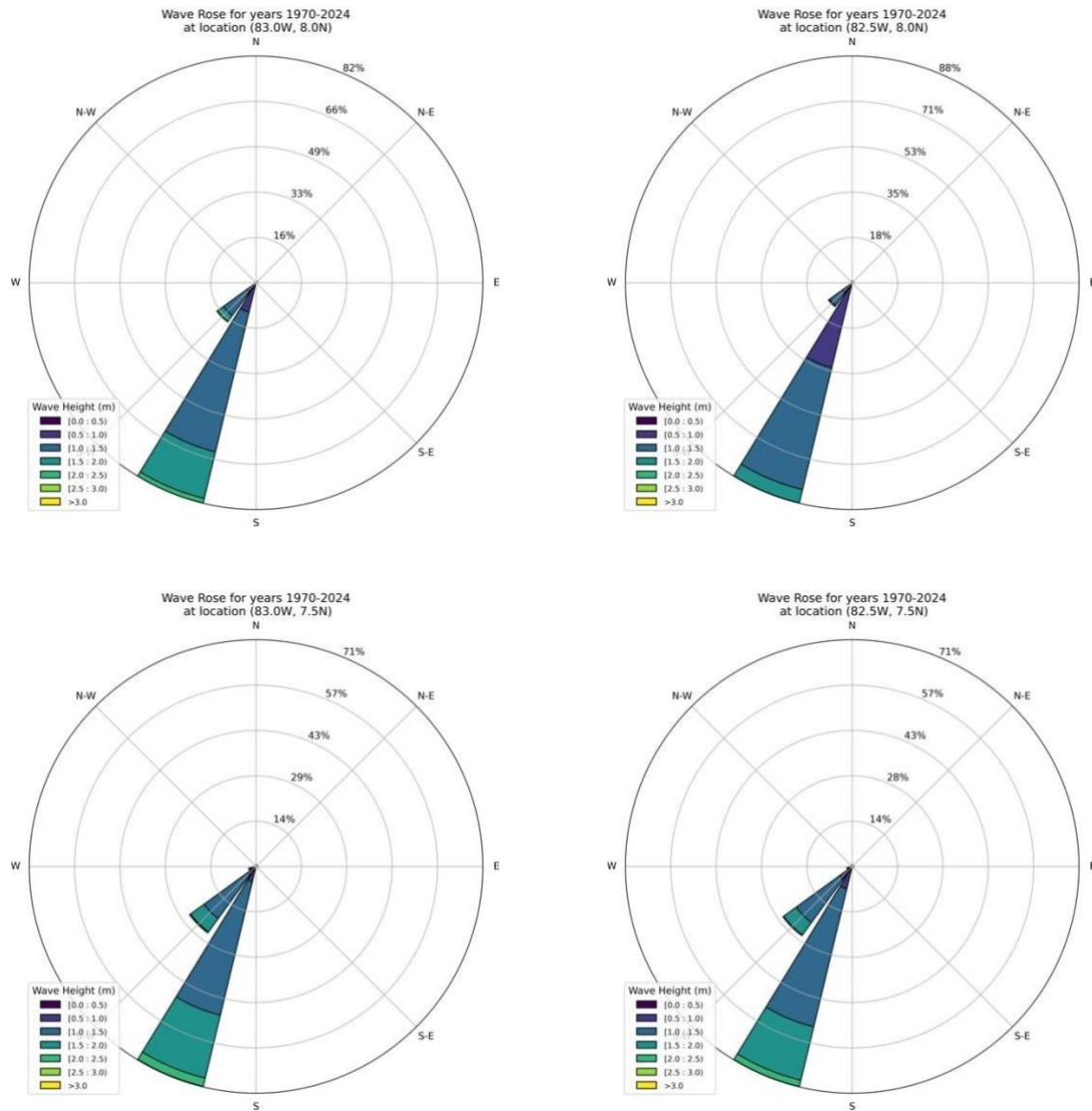
Fuente: Elaboración propia

Figura 8-5: Rosas de oleaje (altura de ola total) del ERA5 para el periodo 1970-2024. (Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12. Abajo a la derecha: Estación 11.)



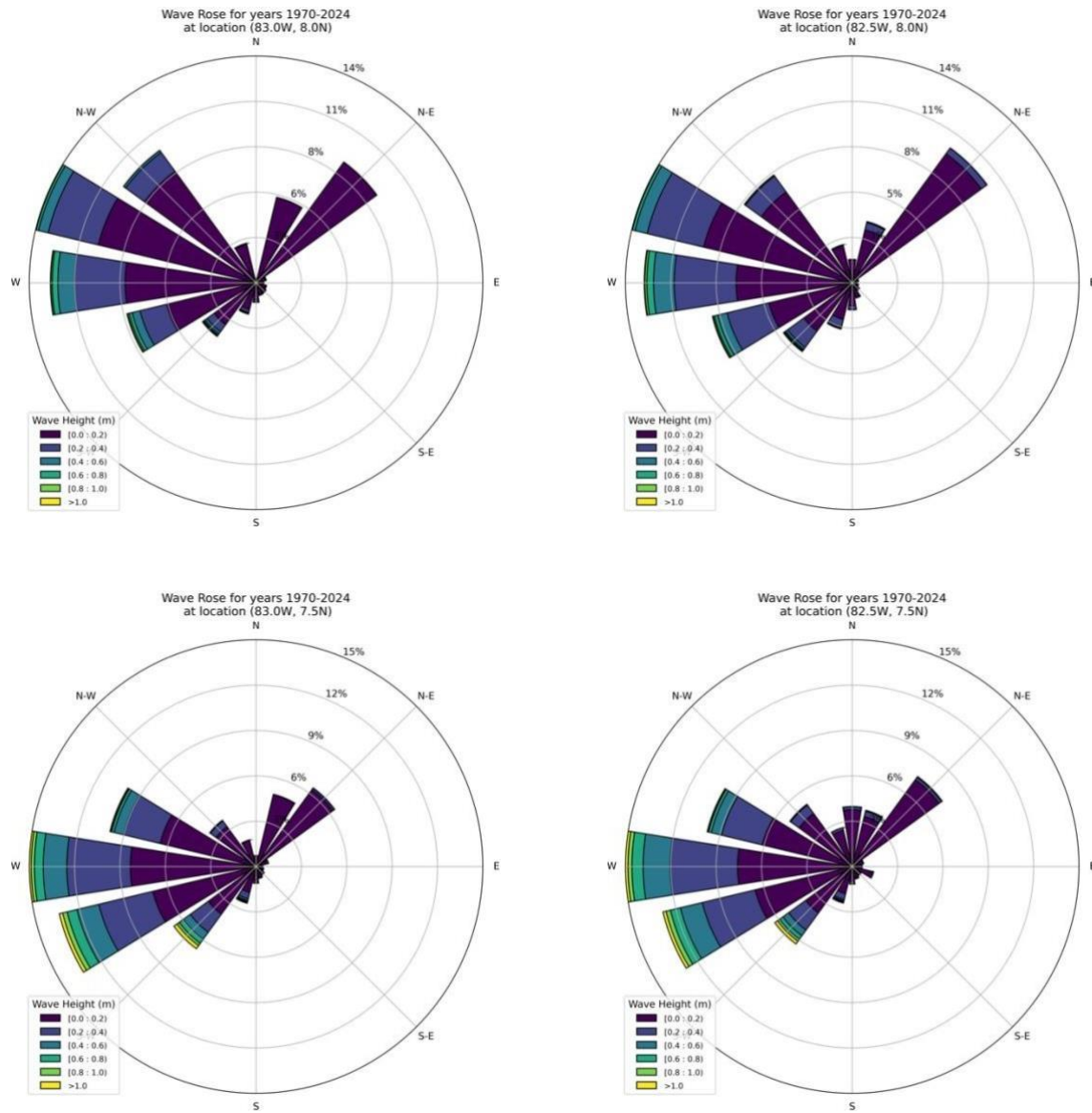
Fuente: Elaboración propia

Figura 8-6: Rosas de oleaje (mar de fondo) del ERA5 para el periodo 1970-2024. (Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12. Abajo a la derecha: Estación 11.)



Fuente: Elaboración propia

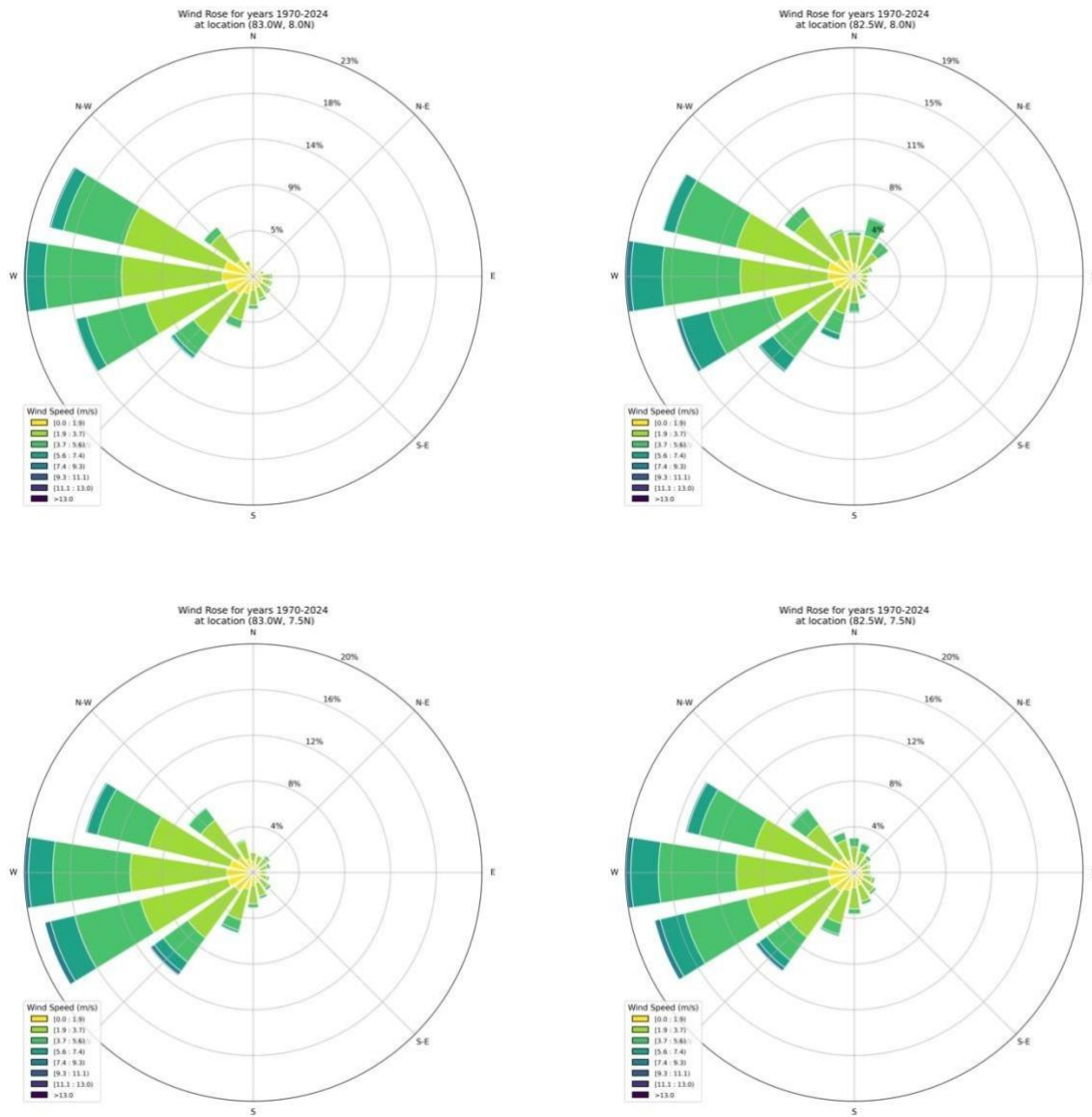
Figura 8-7: Rosas de oleaje (marejada) del ERA5 para el periodo 1970-2024.
 (Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12.
 Abajo a la derecha: Estación 11.)



Fuente: Elaboración propia

8.1 Reanálisis del Viento ERA5

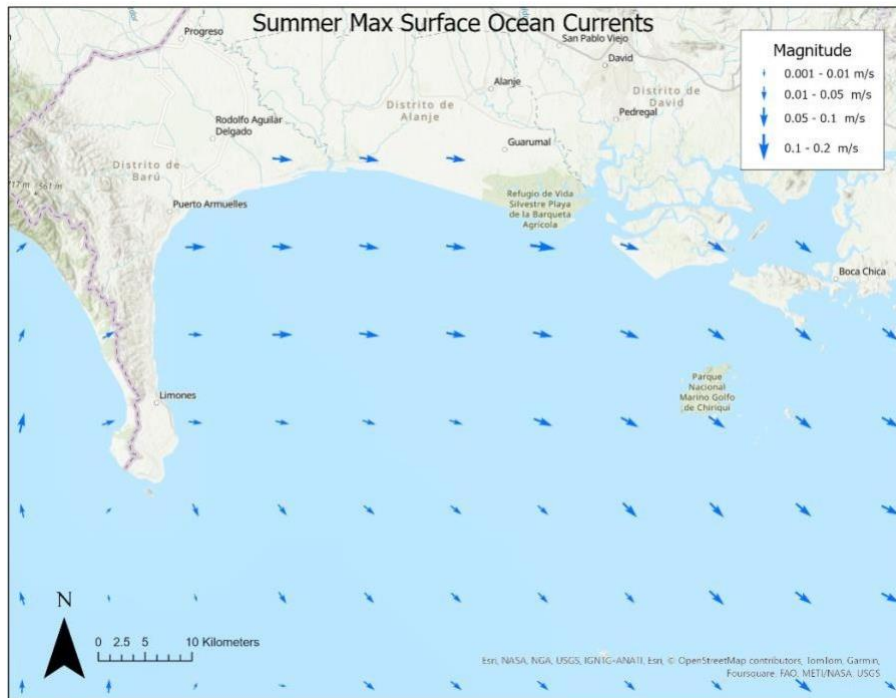
Figura 8-8: Rosas de viento para cuatro estaciones representativas. (Arriba a la izquierda: Estación 19. Arriba a la derecha: Estación 18. Abajo a la izquierda: Estación 12. Abajo a la derecha: Estación 11.)



Fuente: Elaboración propia

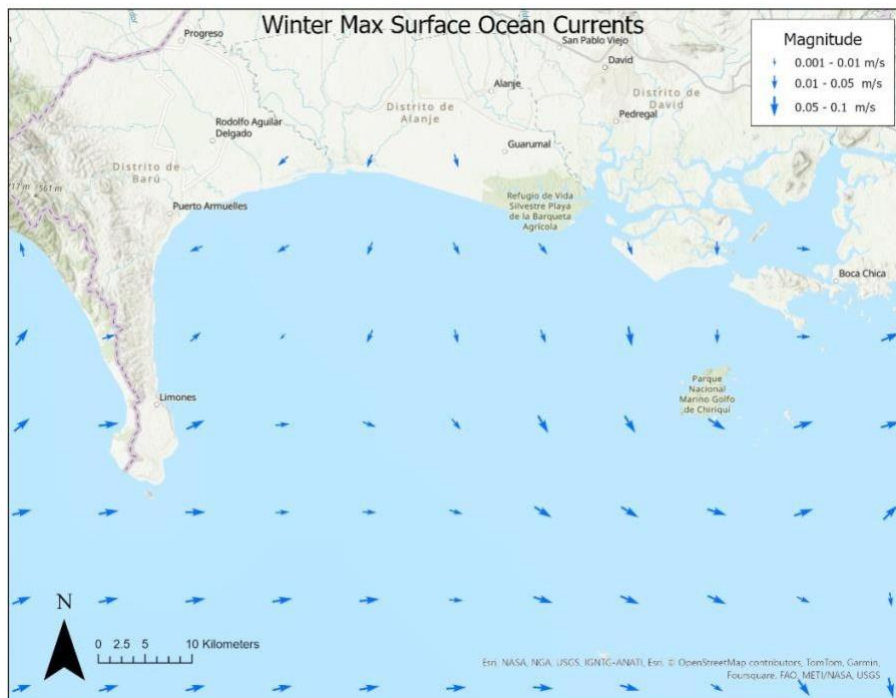
8.2 Corrientes Oceánicas

Figura 8-9: Corrientes oceánicas superficiales máximas de verano (JAS) frente a Puerto Armuelles.



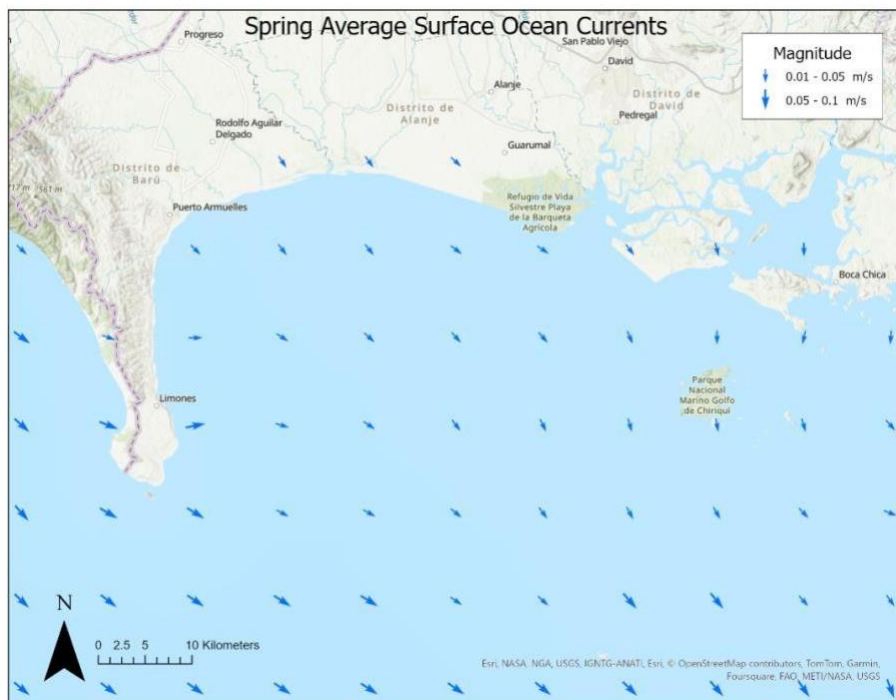
Fuente: Elaboración propia

Figura 8-10: Corrientes oceánicas superficiales máximas de invierno (JFM) frente a Puerto Armuelles



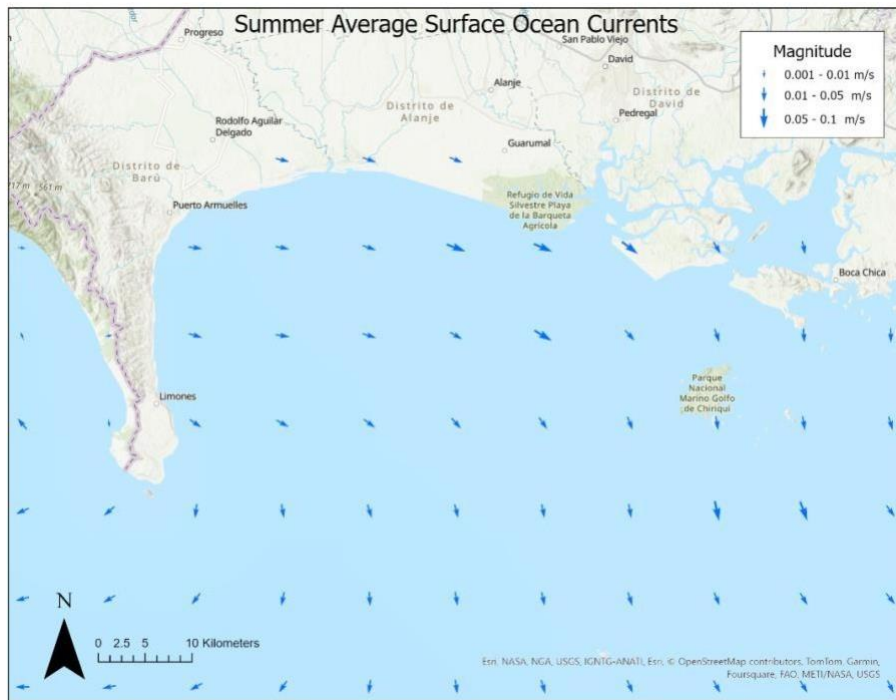
Fuente: Elaboración propia

Figura 8-11: Corrientes oceánicas superficiales medias de primavera (AMJ) frente a Puerto Armuelles.



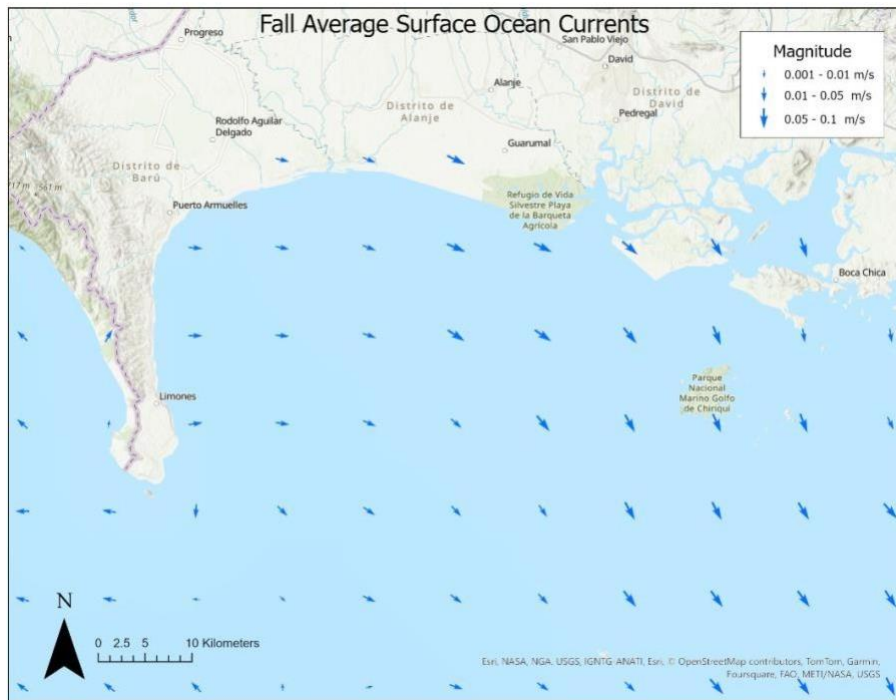
Fuente: Elaboración propia

Figura 8-12: Corrientes oceánicas superficiales medias de verano (JAS) frente a Puerto Armuelles.



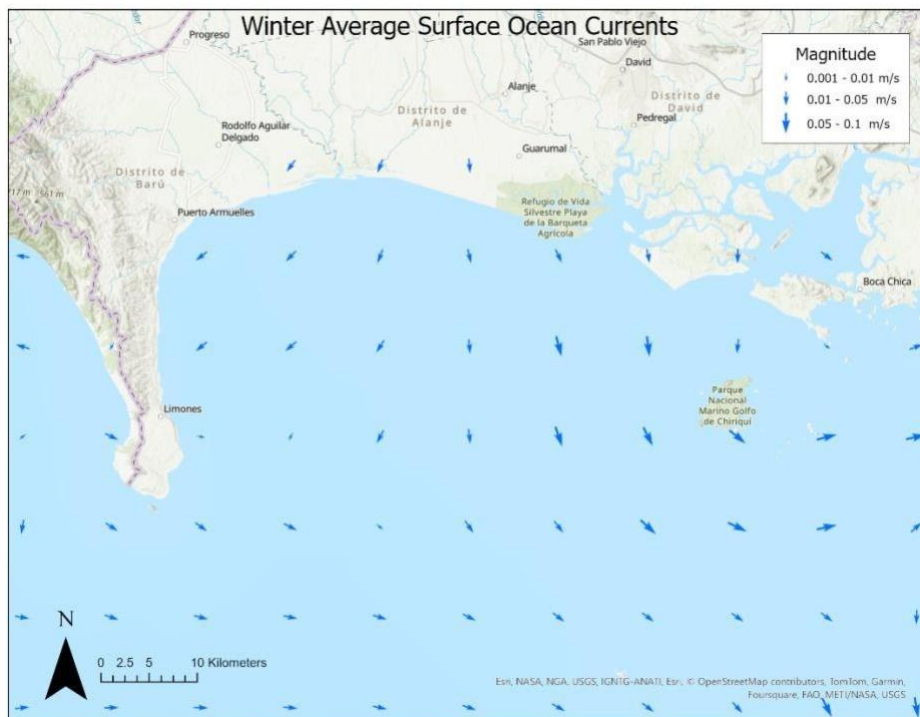
Fuente: Elaboración propia

Figura 8-13: Corrientes oceánicas superficiales medias de otoño (OND) frente a Puerto Armuelles.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-14: Corrientes oceánicas superficiales medias de invierno (JFM) frente a Puerto Armuelles.



Fuente: Elaboración propia