

CAPÍTULO VI

6 DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE FÍSICO

6.1. Formaciones Geológicas Regionales

Para realizar la presente Línea Base se siguió la metodología o procedimientos que a continuación se indican (Cuadro 6.1), no sin antes destacar que se trabajó en lo fundamental, con información secundaria, debidamente procesada, de la geología general existente.

Cuadro 6.1. Metodología geológica.

| METODOLOGÍA GEOLOGÍA | | |
|---|---|---|
| FASE PRE-CAMPO | FASE DE CAMPO | FASE DE GABINETE |
| En primer lugar, se procedió a ubicar el polígono del área de influencia del Puerto Barú sobre el Mapa base, generado a escala 1:50.000, con las Unidades Geológicas a la mayor escala encontradas. | En esta fase, en la medida que fue posible bajo las condiciones de accesibilidad, se trataron de identificar perfiles o materiales geológicos, que corroborarían la información geológica básica existente. | La información que se proporciona a continuación se basó fundamentalmente en información ya existente, relativa a la geología regional; es decir, la generada para todo el país de Panamá, haciendo énfasis en los materiales por los cuales están constituidas las mismas. De igual manera se abordó la geología local, y en particular el polígono estudiado, y se hizo la descripción respectiva de dichos materiales, en los mismos términos considerados. Por último, se realizó el Mapa 6.1. Mapa geológico con la representación cartográfica de las Formaciones Geológicas del área del Polígono analizado. |
| De igual manera, en esta fase se procedió a la búsqueda de la información existente tanto bibliográfica como cartográfica. | | |

Fuente: Equipo Consultor, 2022.

Al final, se analizó la tectónica considerando las estructuras geológicas producidas por deformación de la corteza terrestre en general para Panamá y en el área de influencia de todo el Proyecto, especificando los procesos originarios de las estructuras actuales, y de igual manera el sistema de fallamientos existente a nivel regional y local.

A continuación, se describe la estratigrafía referida en general para toda la República de Panamá, y lo relacionado a la identificación y descripción de las rocas, que en términos generales componen las formaciones geológicas respectivas. Como marco teórico es de resaltar que, desde el punto de vista litológico, los materiales se clasifican de acuerdo con su génesis o formación, diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo, siendo la primera a la cual haremos referencia en esta oportunidad.

a. Rocas plutónicas o intrusivas

Se reconocen para Panamá siete grupos de rocas plutónicas, cuatro pertenecientes al Periodo Terciario y tres al Secundario. De éstos, solamente dos Grupos han sido nombrados: el Grupo Tabasará (Formaciones Escopeta, Río Pito y Guayabito), y el Grupo Colón (Formaciones Br. Cuango y Mamóní). Dichas formaciones se caracterizan por la presencia de intrusiones básicas y ultrabásicas del Cretácico, cuarzo-dioritas cretácicas, y cuarzo monzonitas granodioríticas del Terciario.

b. Rocas metamórficas

Este tipo de rocas son muy escasas, ocurren en pequeños afloramientos donde se han podido identificar esquistos verdes serpentinosos, cloríticos y actinolíticos, todos productos de metamorfismo regional de rocas ultra básicas y básicas. Se presenta un solo grupo Sin Nombre, perteneciente al Periodo Secundario, que incluye la Formación Lovaina.

c. Rocas de origen volcánico

Las rocas consideradas como más antiguas en el Istmo de Panamá afloran en pequeñas áreas en la región suroccidental de las Penínsulas de Azuero y Soná. Se trata de formaciones de origen volcánico de quimismo básico, que se encuentran actualmente metamorfoseados en las facies de esquistos verdes.

Dentro del grupo de las Formaciones Volcánicas se encuentran las de Cerro Picacho, Barú y Cerro Viejo, que pertenecen al Periodo Cuaternario. Del periodo Terciario se tiene evidencia de ocho grupos, tres de ellos no cuentan con nombre definido, dentro de los cuales se tienen las siguientes formaciones: El Valle, Playa Colorada, Pedro Miguel, Cucaracha, Las Cascadas, Las Perlas, y el grupo conformado por Soná, Tribique y El Piro. Los otros grupos corresponden a La Yeguada, Cañazas, San Pedrito, Panamá y Majé, que agrupan un total de trece formaciones. Finalmente, perteneciente al Periodo Secundario, se observa el Grupo Playa Venado con sus formaciones Caobanera, Pta. Sabana y Playa Venado, así como el Grupo Sin Nombre con sus formaciones Dacitas, Loma M. y Quebro.

Las rocas volcánicas o piroclásticas, también conocidas como rocas ígneas extrusivas, son producto de la cristalización de los materiales expulsados por los volcanes. Las propiedades ingenieriles de las rocas volcánicas dependen del grado de solidificación, y de acuerdo con ésta, presentan una variedad de resistencias y permeabilidades. El principal problema de las rocas volcánicas es su fácil desintegración al secarse y humedecerse, y la presencia de arcillas activas como la montmorillonita, como subproducto del proceso de meteorización. Las principales rocas volcánicas que se ubican en las formaciones que se encuentran en el área de estudio son: la andesita, el basalto y las tobas. La microestructura es muy variada de acuerdo con su proceso de formación. Dentro de este tipo de rocas, se encuentran las que se identifican en el Cuadro 6.2 siguiente:

Cuadro 6.2. Rocas de origen volcánico.

| ROCAS DE ORIGEN VOLCÁNICO | | |
|--|---|---|
| TOBAS | ANDESITAS | BASALTO |
| <p>Las Tobas volcánicas son rocas formadas por material suelto arrojado por un volcán en erupción. Son materiales muy porosos y ricos en vidrio. En ocasiones, las tobas presentan depósitos de materiales arcillosos, expansivos o arcillas inestables.</p> | <p>La Andesita es una roca de grano fino volcánica, que se le encuentra como flujo de lava y ocasionalmente, como pequeñas inclusiones. Generalmente, es de color marrón y es muy común en las áreas volcánicas de Sur América. Los minerales constituyentes son esencialmente plagioclasa, hornblenda y biotita con muy poco cuarzo. Tienen básicamente la misma composición de la Diorita, pero tienen un grano más fino, y pueden contener algunos cristales de Plagioclasa de varios milímetros de largo.</p> | <p>El Basalto es una roca ígnea básica de grano fino, formada por la erupción volcánica que se cristaliza en forma muy rápida. El tamaño de los cristales es menor de 0,05 mm, y para observarlo se requiere microscopio. La composición mineral del basalto es aproximadamente mitad piroxeno y mitad plagioclasa, hasta con 5% de óxido de hierro. El Basalto en las zonas volcánicas forma grandes depósitos. Por lo general, el color es negruzco o verde oscuro, pero en ocasiones puede ser rojizo o marrón, debido a la oxidación de los minerales que se convierten en óxidos de hierro. El suelo formado por los Basaltos es muy rico en nutrientes como el potasio y el fósforo, y por esta razón son utilizados para agricultura intensiva en las zonas cafeteras. El Basalto sano es duro y difícil de excavar y se requiere el uso de explosivos. Es generalmente un material excelente para construcción. Se puede esperar que durante las excavaciones se encuentren capas o lentes de Basalto meteorizado, y pueden desprenderse grandes bloques. En la ingeniería para cualquier proyecto a ubicarse en áreas como estas debe considerarse el manejo de zonas con debilidad que se encuentran debajo de la roca.</p> |

Fuente: Atlas de Panamá 2010.

La mayoría de las rocas ígneas en estado sano son muy competentes, pero al meteorizarse forman suelos que pueden ser poco resistentes.

d. Rocas de origen sedimentario

En las formaciones sedimentarias se han encontrado fósiles pertenecientes al Cretácico Superior. Existen diferentes formaciones que cuentan con porcentajes variados de este tipo de roca fósiles, y datan del Periodo Cuaternario hasta el Secundario. Durante el Cuaternario únicamente se observa la presencia del grupo Aguadulce, constituido por las formaciones Las Lajas, Río Hato y Boca de Chucará. La mayor cantidad de grupos se presenta para el Terciario, donde se congregan doce grupos, cuatro de los cuales son denominados Sin Nombre, agrupando una serie de ocho Formaciones tales como: Chagres, Chucunaque, Santiago, y la Formación Gatuncillo entre otras. Asimismo, dentro de este Periodo, se encuentran el Grupo Gatún, La Boca, Caimito, Panamá, Macaracas, Senosri-Uscari, Tonosí y Chiguirí, que incluye formaciones de interés como Gatún, Tuira, La Boca, Caimito, Panamá fase Marina, Bohío, Macaracas, Senosri-Uscari, Darién, Tonosí, David, entre otras.

Durante el Periodo Secundario se observa al Grupo Changuinola, con las Formaciones Changuinola, Ocú y Piriati, donde resaltan las dos primeras, por ser las de mayor porcentaje de composición sedimentaria. Otro de los grupos que compone este Periodo es el Paragüito, que contiene las Formaciones Paragüito, Tiurtí y C. Sardina; así como el grupo Sin Nombre, con su Formación Cuango.

Las rocas Sedimentarias están formadas por la sedimentación y cementación de partículas de arcilla, arena, grava o cantos. Sus características de estabilidad dependen generalmente del tamaño de los granos, los planos de estratificación, las fracturas normales a la estratificación, y el grado de cementación. Las rocas sedimentarias más comunes son el conglomerado, breccia o brecha, las lutitas, areniscas, limolitas, calizas, dolomitas, y evaporitas. El conglomerado y la breccia, son dos variedades de rocas sedimentarias de grano grueso. Se componen de guijarros de materiales resistentes cementados por otros materiales más finos. El nombre depende de la forma de los guijarros, si son redondeados se les llama conglomerados, y si son angulosos se les denomina

breccias o brechas. En algunos casos contienen material tanto redondeado como anguloso. La porosidad de estas rocas es muy alta, y pueden conformar acuíferos importantes. Los conglomerados son bastante estables, y permiten relativamente cortes de pendientes, debido a su cementación, y a que los materiales gruesos tienen un efecto de refuerzo sobre la masa de roca.

- **Litología del área de influencia.**

- **Aluviones (Formación Las Lajas)**

Los suelos aluviales son depósitos transportados por el agua en movimiento, y depositados cuando la velocidad del agua ha disminuido; estos materiales pueden ser de origen fluvial o lacustre y pueden contener partículas finas, gruesas o entremezcladas. Los depósitos aluviales generalmente son estratificados, y la permeabilidad en la dirección horizontal es mayor que en la dirección vertical. Los suelos aluviales, compuestos por arcilla, tienden a ser blandos y los de arena tienden a ser sueltos, y debido a su poca cementación, los materiales aluviales son propensos a erosión y deslizamientos. En ocasiones, los suelos aluviales presentan una matriz de arcilla cementando los granos de arena, grava y limos. Estos cementantes son generalmente óxidos de hierro o arcillas. Los suelos aluviales cementados forman, en ocasiones, terrazas altas con niveles freáticos colgados, muy susceptibles a los desliza.

- **Sedimentos Consolidados (Formación Las Lajas)**

Son esencialmente rocas sólidas hechas de materiales que han sido metamorfoseados o cementados; en este tipo de sedimentos el agua subterránea fluye a través de fracturas y/o espacios de poros. Los sedimentos consolidados son rocas sedimentarias, incluyendo conglomerados, areniscas, limolitas, pizarras, piedra caliza, y el carbón. Por ejemplo, la piedra caliza está compuesta de depósitos oceánicos como fragmentos de corales, conchas, y esqueletos marinos, creando capas a lo largo del tiempo; del mismo modo la piedra arenisca, que está compuesta de pequeños granos de arena.

- **Lutitas carbonosas (Formación Las Lajas)**

Las rocas que contienen cantidades importantes de arcilla se les denomina genéricamente como lutitas, y a ellas pertenecen las limolitas, arcillolitas y lodolitas. Las lutitas son uno de los materiales más complejos desde el punto de vista de estabilidad de taludes. En particular las lutitas carbonosas presentan por lo general poco contenido de inertinitas con abundantes vitrinitas y liptinitas.

– **Corales (Formación Las Lajas)**

Es un material compuesto de fósiles de especies marinas, y de algunos minerales que durante siglos buscaron acomodo en el fondo del mar. Van de porosos a semiporosos y compactos. Están compuestos por fósiles marinos, diversos minerales marinos, y obviamente restos de corales.

– **Deposiciones tipo delta (Formación Las Lajas)**

Un delta es un depósito sedimentario, construido en la desembocadura de un río por delante de la línea de costa. Son el resultado de una mayor competencia del flujo de las aguas corrientes que del mar (o lago), que penetran en él, formando costas deltaicas. Los depósitos son modelados por la acción del mar. Se encuentran, principalmente, en mares sin grandes mareas, aunque los hay en todos los mares del mundo, la condición es que los aportes fluviales superen a la capacidad del mar para desalojarlos.

Las sedimentaciones en los deltas son muy potentes, varios centenares de metros. Los fragmentos más gruesos se depositan cerca de la desembocadura, mientras que los finos llegan más lejos. Los depósitos con partículas más gruesas forman las capas de fondo y las capas frontales, con una pendiente notable en dirección al mar, y terminados en un talud son el basamento sobre el que se construye el delta. Encima de estas se depositan las capas somitales (las superiores), depositadas por el agua de las crecidas y el viento, cuando el brazo de mar inicial está colmatado. Forman un cono aplanado de arenas y limos, y son la parte emergida del delta

– **Areniscas (Formaciones Las Lajas, Galique, y Tonosi)**

Las areniscas son una forma de arena endurecida por procesos geológicos. El tamaño de los granos varía de 60 μm a varios mm, y están cementados por otros minerales, con frecuencia por el cuarzo precipitado. Las areniscas se clasifican de acuerdo con el tamaño de sus granos como fina, media

o gruesa, y de acuerdo con la naturaleza de los materiales cementantes. Las areniscas, aunque tienden a ser resistentes, en ocasiones son relativamente débiles cuando su cementación ha sido pobre.

El comportamiento de la arenisca meteorizada depende de la clase de cemento. Si es de calcita se disuelve con mayor facilidad que el de sílice. El cemento de óxido de hierro puede dar un color rojo a la roca, y el dióxido de hierro un color marrón a amarillo. Algunas areniscas son de color verde grisáceo, debido a cambios ligeros en la composición química. Las areniscas compuestas casi de puro cuarzo, se denominan Cuarcitas.

Dentro de las variantes de las areniscas encontramos las que contienen fósiles, que no son más que restos orgánicos que han dejado animales y plantas, hace millones de años y aún perduran.

– Conglomerados (Formaciones Las Lajas y Senosri Uscari)

Es una roca sedimentaria de tipo detrítico formada mayoritariamente por clastos redondeados, con tamaño de grava o mayor (>2 mm). Dichos clastos pueden corresponder a cualquier tipo de roca. Un tipo de roca similar son las brechas, pero estas se distinguen de los conglomerados por estar compuestas de clastos angulosos. Los conglomerados componen menos del 1% de las rocas sedimentarias del mundo en cuanto refiere su peso.

Los conglomerados se pueden esencialmente subdividir en dos tipos: con un alto grado de escogimiento, de una litología (tipo de roca) limitada y con poca matriz, y los conglomerados con poco escogimiento, más heterogéneos en cuanto a su litología y abundante matriz. El primer tipo se origina de la deposición en cursos de agua, mientras que el segundo tipo se origina de movimientos de masa.

– Lutitas (Formaciones Las Lajas, Tonosi y Senosri Uscari)

A las rocas que contienen cantidades importantes de arcilla se les denomina genéricamente como lutitas, y a ellas pertenecen las limolitas, arcillolitas y lodolitas. Las lutitas son uno de los materiales más complejos desde el punto de vista de estabilidad de taludes. De acuerdo con el grado de

solidificación, las lutitas varían en su comportamiento. Las lutitas de grado bajo tienden a desintegrarse después de varios ciclos de secado y humedecimiento. Algunas lutitas son muy resistentes pero la mayoría de los casos, presentan una resistencia al esfuerzo cortante de mediana a baja. Las lutitas pueden ser arcillosas, limosas, arenosas o calcáreas, de acuerdo con los tamaños y composición de las partículas. En ocasiones tienen una presencia de roca cementada, y en otras la de un suelo con capas relativamente sueltas.

Las arcillolitas son las lutitas con alto contenido de arcilla, lo cual las hace muy físlas y susceptibles a deslizamientos. Contienen carbón de grano fino (lutitas carbonosas), y sulfuro de hierro, las cuales son muy físlas, y producen una gran cantidad de deslizamientos.

– Calizas tobáceas (Formación Senosri Uscari)

La caliza es una roca sedimentaria con más del 50% de carbonato de calcio. Esta roca es por lo general dura y compacta, pero presenta problemas geotécnicos relacionados con la disolución del CaCO_3 . Existen una variedad de rocas de la familia de la caliza, dependiendo de las cantidades de carbonato de calcio, arena, limos, conchas de animales marinos y arcilla. En particular, las calizas tobáceas, son rocas muy porosas, con una variedad de limo, formada por la precipitación de carbonatos a partir de cuerpos de agua dulce a temperatura ambiente, en numerosas ocasiones sobre vegetales vivos.

– Arcillas (Formación Senosri Uscari)

Es una roca sedimentaria descompuesta, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,0039 mm. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, como los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

– **Limolitas (Formacion Galique)**

Es una roca sedimentaria clástica o detrítica, que tiene un tamaño de grano en el rango de limo, más fino que la arenisca, y más grueso que las arcillas. Como su nombre indica, está compuesta principalmente (más de 2/3) de limo, partículas de tamaño definidos como granos de 1/16 - 1/256 mm o de 4 a 8 en la escala phi (ϕ) de Krumbein. Las limolitas difieren significativamente de las areniscas, debido a sus poros más pequeños, y una mayor propensión a contener una significativa fracción de arcilla.

Aunque a menudo se confunde con lutita, la limolita carece de la fisibilidad y láminas que son típicas de las lutitas. Las limolitas pueden contener concreciones. A menos que la roca sedimentaria sea bastante arcillosa, es probable una estratificación que sea oscura, y que tiende a superar en ángulos oblicuos no relacionados con el lecho. El mudstone o esquisto, es una roca que contiene barro, que es un material que tiene un alcance de limo y arcilla. La limolita se diferencia, por tener una composición mayoritaria de limo, y no de arcilla.

– **Tobas (Formacion Galique)**

La toba volcánica es una roca ígnea extrusiva (roca volcánica), que se forma por la consolidación y litificación de productos volcánicos que han sido expulsados desde un volcán, típicamente por una erupción volcánica explosiva. Una toba volcánica generalmente es una roca que está formada principalmente por ceniza volcánica, y en términos generales se describe a todas las rocas que se forman por la consolidación de productos volcánicos.

– **Basaltos /Andesitas (Formación Barú)**

Los basaltos son rocas extrusivas ricas en plagioclasas. En el diagrama de Streckeisen están en el mismo lugar que las andesitas. La diferencia es que un basalto contiene el mineral olivino y, generalmente, no tiene textura porfídica, la preferencia es el mineral augita (no hornablenda como en la andesita). Los basaltos tienen una textura micro-criptocristalina, generalmente sin fenocristales.

– **Cenizas (Formación Barú)**

La ceniza es el producto de la combustión de algún material, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales. Parte queda como residuo en forma de polvo, depositado en el lugar donde se ha quemado el combustible, y parte puede ser expulsada al aire como parte del humo.

– **Tobas aglomeradas (Formación Barú)**

Un aglomerado es una roca ígnea volcánica, formada casi totalmente de trozos angulares o redondeados de lava, de variadas formas y tamaños; están asociados con los flujos de lava, que son expulsados durante las erupciones volcánicas.

– **Lavas (Formación Barú)**

La lava es magma que, durante su ascenso a través de la corteza terrestre, alcanza la superficie. Cuando sale a la superficie, la lava suele tener temperaturas que oscilan entre 850 °C (1562 °F), y 1200 °C (2192 °F). A diferencia del magma que enfría lentamente a grandes profundidades, la lava experimenta:

- Presiones atmosféricas, que hacen que pierda los gases que contenía durante su ascenso.
- Temperaturas ambientales responsables de un rápido enfriamiento.

La distinción más evidente entre ambas es que la roca formada a partir de magma (rocas plutónicas), tiene cristales que suelen distinguirse a simple vista (textura fanerítica), mientras que una roca formada a partir de lava tiene cristales que no se distinguen a simple vista (textura afanítica o vítrea).

– **Brecha (Formación Virigua)**

Brecha es una roca compuesta aproximadamente en un 50% de fragmentos angulares de roca de tamaño superior a 2 milímetros unidos por un cemento natural. Los fragmentos constitutivos de los conglomerados y de las brechas, son mayores que los de la arenisca, o sea más de 2 milímetros, pero la brecha se distingue de los conglomerados porque sus fragmentos constitutivos son

angulares. Pueden distinguirse brechas monogénicas, compuestas de elementos de la misma naturaleza, y brechas poligénicas, compuestas de elementos de diferente naturaleza.

– **Bloques subintrusivos (Formación Virigua)**

Las rocas ígneas intrusivas se enfrían bajo tierra. En la profundidad de la corteza, el magma se enfría lentamente. El enfriamiento lento le da la oportunidad de crecer a los cristales. Las rocas intrusivas ígneas, tienen cristales relativamente grandes que los hace fáciles de ver. Las rocas ígneas intrusivas también se llaman plutónicas. Una roca plutónica es un cuerpo rocoso que se forma entre la corteza.

– **Diques swarns (Formación Virigua)**

Un enjambre de diques o enjambres de diques, es una estructura geológica que consiste en un grupo importante de diques magmáticos paralelos, lineales u orientados radialmente que se instruyen dentro de la corteza continental o volcanes.

Consisten en diques emplazados más o menos contemporáneamente, durante un solo evento intrusivo, y son magmáticos y estratigráficos. Tales enjambres de diques pueden formar una provincia ígnea, y son las raíces de la provincia volcánica.

– **Sedimentos volcánicos (Formación Virigua)**

Se corresponden con partículas expulsadas por un volcán durante la erupción, que forman depósitos por decantación suspensiva, luego que el material ha sido eyectado explosivamente desde la boca eruptiva, en una columna eruptiva ascendente. Sus depósitos se clasifican en: depósitos de caída, flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas.

6.1.2 Unidades geológicas locales

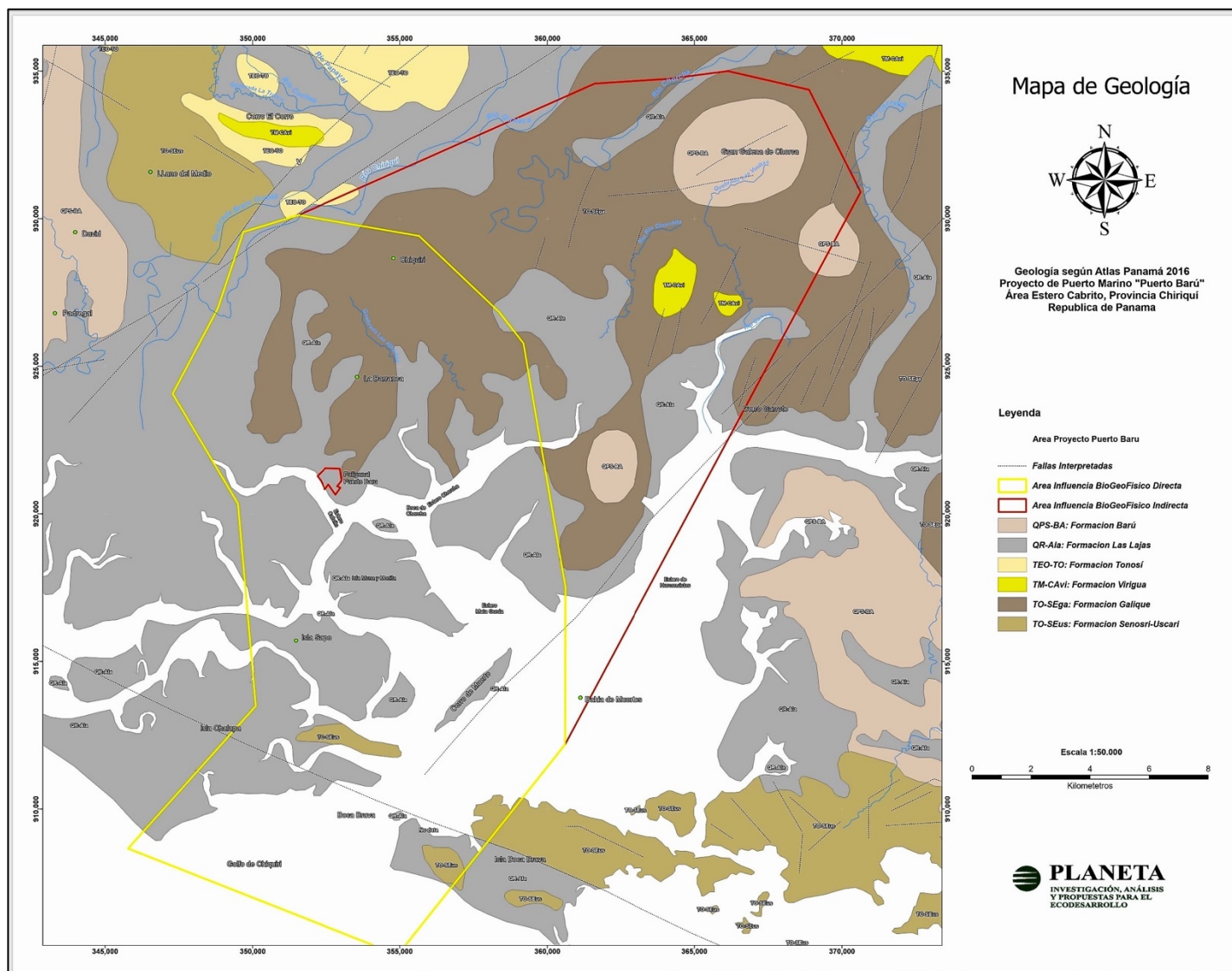
Dentro del área de influencia del proyecto se ubican las siguientes unidades geológicas relacionadas a los Periodos del Cuaternario y Terciario; y sus correlaciones, se harán en referencia al tipo de rocas que se encuentran en cada una de dichas Formaciones (Cuadro 6.3), cuya representación cartográfica, como ya se indicó, se presenta en el Mapa 6.1.

Cuadro 6.3. Unidades geológicas del polígono y correlaciones geológicas.

| UNIDADES GEOLÓGICAS DEL POLIGONO Y CORRELACIONES GEOLÓGICAS | | |
|---|--|---|
| GRUPOS/FORMACIONES DEL PERIODO CUATERNARIO | Formación Barú (QPS-BA) | Formación de origen volcánico que se ubica en la parte Noreste del polígono, corresponde al Cuaternario del Pleistoceno secundario y se caracteriza por la presencia de basaltos/andesitas, cenizas, tobas aglomeradas y lavas. |
| | Grupo Aguadulce/ Formación Las Lajas (QR-Ala) | Formación de origen sedimentario, que se ubica dispersa por todo el polígono, corresponde parte al Cuaternario Antiguo y otro al reciente, y se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta. |
| GRUPOS/FORMACIONES DEL PERIODO Terciario | Grupo Tonosí/ Formación Tonosí (TEO-TO) | Formación de origen sedimentario, y se localiza en la parte izquierda/Oeste del polígono, corresponde al Terciario Eoceno, y está compuesta por lutitas y areniscas. |
| | Grupo Cañazas/ Formación Virigua (TM-CAvi) | Se ubica en la parte Noreste del polígono, y corresponde al Terciario Mioceno, contiene rocas tales como andesitas, basaltos, brechas, tobas, bloques sub intrusivos, diques-swarns, y sedimentos volcánicos. |
| | Grupo Senosri-Uscari/ Formación Galique (TO-SEga) | Formación de origen sedimentario, localizada en la parte norte y central del polígono, procedente del Terciario Oligoceno, y está constituida por rocas como lutitas, areniscas, tobas, limolitas, areniscas con fósiles. Es importante resaltar que en la revisión de la información bibliográfica (Atlas de Panamá), en la sección de geomorfología esta unidad se corresponde con el Cuaternario Antiguo Medio |
| | Grupo Senosri-Uscari/ Formación Senosri Uscari (TO-SEus) | Formación de naturaleza sedimentario, localizada en la parte más sur del Polígono, originario del Terciario Oligoceno, y su composición es de lutitas, conglomerados, calizas tobáceas, y arcillas. Es importante resaltar que en la revisión de la información bibliográfica (Atlas de Panamá), en la sección de geomorfología esta unidad se corresponde con el Cuaternario Antiguo Medio. |

Fuente: Atlas de Panamá 2010.

Mapa 6.1. Mapa geológico.



Fuente: Puerto Barú, 2022

- **Tectónica general y fallamiento regional.**

Tectónica.

El origen y evolución geológica del Istmo de Panamá está estrechamente ligado a la evolución geológica de las regiones continentales vecinas, que se modificaron paralelamente.

Antes de crearse el actual istmo, las aguas cubrían la zona de lo que hoy en día es Panamá, y una gran masa de agua separaba los continentes de América del Norte y del Sur, lo que permitía a las aguas de los Océanos Pacífico y Atlántico mezclarse libremente. La formación del Istmo de Panamá fue gradual. Se inicia en el Mioceno superior al permitir todavía, algunas veces con restricciones, otras con una mayor facilidad, la circulación entre los dos océanos.

El Istmo de Panamá culmina su conformación geológica hacia finales del Plioceno, hace unos 4 millones de años atrás, a partir del lento desplazamiento de las placas tectónicas del Pacífico y del Caribe que, producto de la presión, y del calor causado por esta colisión tectónica, llevó a la formación de un arco de islas de origen volcánico, que luego de miles de años se cubrieron y rellenaron de sedimentos, para conformar así la actual configuración geológica y tectónica de Panamá.

La formación del Istmo de Panamá ocasionó el desvío de las corrientes marinas del Atlántico y el Pacífico; esto influyó en el cambio climático a nivel del planeta. Es, por lo tanto, considerado como el acontecimiento geológico más importante de los últimos sesenta millones de años. Al mismo tiempo, originó la formación de un puente entre las dos Américas y facilitó el desplazamiento de la fauna continental en ambos sentidos. A este hecho sin precedentes en la historia científica, se le atribuye la riqueza de la flora y la fauna que posee Panamá. El desplazamiento de especies de los subcontinentes y del mar, convierte a Panamá en un país rico biológicamente.

En otro sentido y para otras fuentes, los orígenes exactos de la microplaca tectónica de Panamá no se conocen, pero es posible que tengan relación con los grandes acontecimientos tectónicos que, durante todo el terciario, afectaron a la región de contactos entre la placa sudamericana, la placa del Caribe y el fondo del Océano Pacífico, ubicado al sudeste de esta placa.

En el mioceno se da la subducción de la Placa de Coco bajo la del Caribe, lo cual activó el vulcanismo y la orogénesis. Es posible que estos fenómenos determinasen la formación de otro arco de islas volcánicas, que corresponden a la actual Cordillera de Talamanca entre Costa Rica y Panamá, a la Serranía de Tabasará, a las Sierras ignimbríticas de Veraguas y Coclé, al complejo volcánico del Valle de Antón, y al mar de volcanes de Capira.

En estas islas hubo numerosos volcanes, de cuyos cráteres, muchos de ellos consistentes en grandes calderas y de numerosas grietas próximas a ellos, emanaron grandes coladas de lava de todo tipo, las que al superponerse fueron edificando montañas. Además de la lava, los volcanes también arrojaron materiales piroclásticos, especialmente en la parte central y occidental del arco insular transformado en serranía. El otro gran acontecimiento geológico influyente en la historia natural de Panamá fue durante el Plioceno, el levantamiento de un gran geosinclinal ubicado entre el nordeste de Sudamérica, y el oriente de Panamá, consecuencia de la convergencia de las placas Sudamericana y de Nazca. Este espectacular levantamiento formó los tres ramales de los Andes colombianos y unió al istmo panameño, y a las islas cretácicas del Darién y Chocó, con la gran masa del continente austral.

Fallamiento regional y local.

En lo referente al fallamiento regional, es de resaltar que las Provincias de Chiriquí, Los Santos, Darién, Bocas del Toro y el Archipiélago de San Blas, se encuentran sobre tres fallas muy activas como la zona de fractura de Panamá al sur de la provincia de Chiriquí en el mar, la zona de Falla de Soná, Azuero, y la de Pedro Miguel. De igual manera son activas las Fallas que están en el mar, denominadas como el Cinturón Deformado del Norte de Panamá, que se ubica a lo largo de la Costa Caribe del país. Es de resaltar que el área de influencia del Proyecto se encuentra regionalmente en la zona de fractura de Panamá al sur de la provincia de Chiriquí.

En relativo a la zona del proyecto, en el Sur Occidente de Chiriquí, bajo la península de Burica o al sur de ella coinciden las placas de Nazca, el Coco y del Caribe en forma de un punto triple difuso. Entre los elementos estructurales de este punto triple se tiene la Cresta del Coco, que subduce bajo Costa Rica, y es una traza boyante del punto caliente de las Islas Galápagos.

El flanco oriental de la Cresta del Coco esta truncado por la Zona de Fractura de Panamá (ZFP). Esta es una gran falla de transformación, con rumbo Norte-Sur, que sirve de límite entre las placas de Nazca y del Coco, que se extiende desde la zona de extensión de Costa Rica, en el Sur hasta la península de Burica y parte occidental del Golfo de Chiriquí en su extremo Norte. Esta zona de fractura acomoda movimientos laterales derechos, a una tasa de 57 mm/año (Kellog et al., 1995). En la porción más septentrional de esta zona de falla, alrededor de los 6° de latitud Norte, la misma se ramifica en tres zonas de fracturas más pequeñas con igual tipo de desplazamiento lateral derecho (Lonsdale y Klitgord, 1978; Heil, 1988; Kolarsky y Mann, 1995). Estas son, de Este a Oeste, la Zona de Fractura de Coiba, la Zona de Fractura de Balboa y la Zona de Fractura de Panamá, las cuales subducen oblicuamente, bajo el Bloque de Panamá, al sur y Sureste de la península de Burica, en el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (Heil, 1988; Corrigan et al., 1990; Kolarsky et al., 1995; Moore & Sender, 1995).

Las extensiones de la Zona de Fractura de Panamá continúan en tierra firme (Camacho, 1991), a lo largo del eje de la península de Burica, y al llegar al anticlinal de Madre Vieja, se curvan hacia el Noroeste.

Las Placas del Coco y del Caribe parece que están débilmente acopladas cerca del Punto Triple (PTNCC), tal como sugiere el hecho de que las réplicas del sismo de abril de 1983 Ms 7.3, un sismo con mecanismo inverso asociado a la subducción de la placa del Coco bajo Costa Rica, migraron hacia el sureste bajo la Península de Burica (Adamek et al., 1987).

Fallas relacionadas con la Zona de Fractura de Panamá.

Las siguientes fallas están estrechamente relacionadas con los esfuerzos generados por la Zona de Fractura de Panamá:

Zona de Falla Media de Burica (FM)

Esta es una falla de corrimiento lateral derecho que se extiende a lo largo del eje de la Península de Burica y la frontera con Costa Rica. La Falla Media es una zona de debilidad que se extiende al Norte de la Zona de Fractura de Panamá y probablemente refleja la presencia de elementos de esta, subducidos bajo la Península de Burica.

Elementos de la Falla Media fueron cartografiados por geólogos petroleros en la década de 1950, pero la interpretación de esta zona fue realizada por primera vez por Corrigan et al., (1990).

Zona de Falla de Canoas (ZFC)

Cowan (1997) reportó la existencia de la Falla Canoas y la interpretó como una extensión del límite de Placas Cocos-Nazca, al Norte de la Península de Burica. Su traza superficial se extiende ininterrumpidamente a lo largo de 15 Km. desde el Norte de la península de Burica hasta el piedemonte de la Cordillera Talamanca. Esta es una zona de falla de desplazamiento de rumbo lateral derecho, localizada unos 5 km al Oeste de la frontera entre Panamá y Costa Rica, cerca de la población de Paso Canoas, que parece haber generado su último gran evento el 21 de julio de 1934, a raíz del sismo del 18 de julio de 1934 ($M_w 7.6$).

Fallas de la Región de Progreso

Información de la sismicidad de esta zona (Cowan et al., 1995) muestra una marcada alineación de microsismos que se extienden desde el Golfo de Chiriquí hasta las Tierras Bajas de Progreso, cerca de la desembocadura del Río Chiriquí Viejo. La alineación de la sismicidad se interpreta como un elemento de la Zona de Fractura de Panamá, el cual probablemente termina cerca del extremo Sur de la Zona de Falla de Canoas. La estructura tectónica bajo la región de Progreso parece ser geométricamente compleja e inestable, reflejando la dinámica de deformación de un punto triple activo (Andrews, 1989). La inestabilidad de esta área es reflejada por los niveles de alta sismicidad, que incluye el terremoto de julio de 1979 $M_s 6.4$, que tiene un mecanismo focal de tipo normal.

Fallas locales relacionadas con el proyecto y la zona de la Fractura de Panamá.

En la península de Burica y alrededores, la sismicidad es somera y en su mayor parte presenta un carácter lateral derecho.

Zona de Falla Boca Chica (ZFBC)

La zona de falla de Boca chica (ZFBC) pertenece al sistema de zona de falla longitudinal (ZFL) que se extiende a lo largo de Panamá, específicamente en el sur occidental de Chiriquí en el punto triple de confluencia de las placas tectónicas de Nazca, Coco y del Caribe, se caracteriza por ser una falla sinistral con rumbo ENE-WSW que está acompañada por eventuales eventos sísmicos

EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

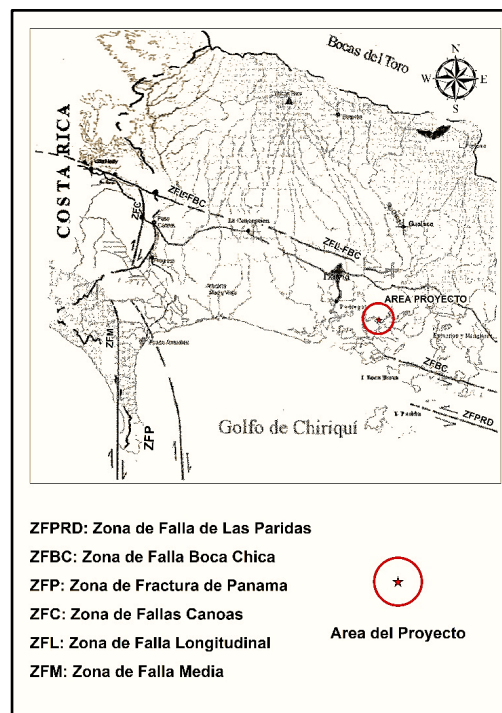
relacionados por la subducción de la placa de Nazca sobre la Microplaca de Panamá (Bloque de Panamá) y por las cercanías de la Zona de Fractura de Panamá que es una de las fuentes sísmica más activas de América central, este último como límite entre la placa de Coco al Oeste y la de Nazca, haciendo que zona sea de un alto índice sísmico.

Zona de Falla Las Paridas (ZFPRD)

Esta falla, ubicada en el extremo Sureste de isla Boca Brava en el golfo Chiriquí está caracterizada por ser una Falla sinistral, y se encuentra influenciada por la placa de Nazca a lo largo de una convergencia oblicua ubicada próxima a la Zona de Deformación Sur de Panamá (ZDSP) y una interacción con la Zona de Falla Boca chica paralela a esta, en el mismo sentido rumbo ENE-WSW que la Boca Chica.

Las principales estructuras asociadas con el extremo Norte de la Zona de Fractura de Panamá se muestran en la Figura 6.1 y se detallan a continuación.

Figura 6.1. Fallas del área de influencia del Proyecto.



Fuente: Universidad de Panamá, Laboratorio de Geofísica e Hidrogeología. Tecnociencias 2003 Vol 5 No 2.

- **Conclusiones.**

Formaciones Geológicas Regionales (Panamá).

Se asocian a los siguientes tipos de rocas:

- Rocas plutónicas o intrusivas. Se reconocen para Panamá grupos de rocas plutónicas, pertenecientes a las Formaciones Escopeta, Río Pito y Guayabito, Br. Cuango y Mamóní.
- Rocas metamórficas. Se presenta un solo grupo Sin Nombre, perteneciente al Periodo Secundario, que incluye la Formación Lovaina.
- Rocas de origen volcánico. Las Formaciones asociadas al Periodo Cuaternario son: Cerro Picacho, Barú y Cerro Viejo. Del periodo Terciario se encuentran las siguientes formaciones: El Valle, Playa Colorada, Pedro Miguel, Cucaracha, Las Cascadas, Las Perlas, Soná, Tribique y El Piro, La Yeguada, Cañazas, San Pedrito, Panamá y Majé. Las pertenecientes al Periodo Secundario: Grupo Playa Venado con sus formaciones Caobanera, Pta. Sabana, Dacitas, Loma M. y Quebro.
- Rocas de origen sedimentario. Del Cuaternario se observa la presencia de las Formaciones Las Lajas, Río Hato y Boca de Chucará. Del Terciario se ubican Formaciones tales como: Chagres, Chucunaque, Santiago, y la Formación Gatuncillo, Gatún, Tuirá, La Boca, Caimito, Panamá fase Marina, Bohío, Macaracas, Senosri-Uscari, Darién, Tonosí, David, entre otras. Referidas al Periodo Secundario se encuentran las Formaciones: Changuinola, Ocu y Piriati, Paragüito, Tiurtí, C. Sardina, y Cuango.

Unidades Geológicas del área de influencia y correlaciones geológicas.

En el área de los polígonos de influencia, se ubican las siguientes Unidades Geológicas que abarcan las épocas del Oligoceno tardío, el Mioceno, Plioceno, Pleistoceno y Holoceno, con sus particularidades:

- Formaciones del Cuaternario (del Pleistoceno y Holoceno). Formación Las Lajas (QR-Ala) y Formación Barú (QPS-Ba).
- Formaciones del Terciario (del Oligoceno, Mioceno y Plioceno). Formación Tonosí (TEO-TO), Formación Virigua (TM-CAvi), Formación Senosri-Uscari (TO-SEus), Formación Galique (TO-SEga).

Vale recordar que Campos L. (2001) divide al Grupo Senosri Uscari en tres intervalos: la inferior de edad Mioceno temprano, la media de edad Mioceno medio y la superior del Mioceno tardío, constituida esencialmente de arcilla depositada desde pendientes batiales o prodeltas.

Unidades Geológicas del polígono del Puerto Barú.

En el Área donde se construirán las Facilidades Portuarias y sus accesos, se ubican las siguientes Unidades Geológicas:

- Formación Galique (TO-SEga) del Terciario (Plioceno). Camino de acceso y parte Noreste del polígono del proyecto
- Formación Las Lajas (QR-Ala). Del Pleistoceno, el Oeste del polígono. Del Pleistoceno tardío y Holoceno, los manglares y canales

Referente al Sistema de Fallas.

- Las Provincias de Chiriquí, Los Santos, Darién, Bocas del Toro y el Archipiélago de San Blas, se encuentran sobre tres fallas muy activas, como la zona de Fractura de Panamá, al Sur de la provincia de Chiriquí en el mar, la zona de Falla de Soná, Azuero, y la de Pedro Miguel.
- Las Zonas de Fallas localizadas en el área de estudio, tales como la Zona de Falla Media de Burica, Zona de Falla de Canoas, Fallas de la Región de Progreso, Zona de Fractura de Panamá, Zona de Falla Boca Chica, y la Zona de Falla Las Paridas tienden a ser predominantemente activas.

En relación con el tectonismo.

- El Istmo de Panamá culmina su formación 4 millones de años atrás, a partir del lento desplazamiento de las placas tectónicas del Pacífico y del Caribe, lo que formó un arco de islas de origen volcánico, que luego de miles de años se cubrieron y rellenaron de sedimentos.
- El Istmo está situado sobre una placa tectónica denominada ‘Micro placa de Panamá’, la cual está rodeada por cuatro placas tectónicas mayores: la Placa Sudamericana al este, la Placa Caribe al norte, la Placa de Nazca al sur, y la Placa de Coco al suroeste, coincidiendo estas tres últimas en el extremo sur de la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá, que se encuentran en dicho punto triple difuso, el cual se ha sugerido que está ubicado bajo la Península de Burica

o al sur de ella, en la intersección de la zona de subducción de Centroamérica y la Zona de Fractura de Panamá.

Sugerencias.

- Se recomienda tomar en cuenta el presente informe geológico a los fines de realizar la ingeniería del proyecto, en relación en primer término a la consideración de los materiales/rocas que se ubican en el polígono, así como incluir en dicho análisis de ingeniería, para el diseño de la infraestructura a realizar, la consideración de los elementos y/o medidas atinentes, la presencia de Fallas activas que se ubican relativamente cerca del área de influencia del Polígono del Puerto, lo cual garantizara la integridad física de las obras propuestas a través del tiempo.

6.1.3. Caracterización geotécnica

El propósito de este acápite es desarrollar una caracterización sucinta sobre las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes estratos que conforman los materiales del subsuelo a lo largo del terreno de la huella del proyecto y de su entorno cercano, con el fin de captar los posibles impactos

y riesgos que puedan producirse en el medio, como resultado de las acciones constructivas y operativas del complejo.

Bajo la consideración de que el proyecto hace uso del medio terrestre, pero también del medio hídrico del estuario, se realizaron ensayos tanto en tierra como en agua, cubriendo un total de trece hoyos de perforaciones en tierra y diecinueve a lo largo del canal acuático y su entorno inmediato al sitio de puerto. Esto con el fin de conocer las características del subsuelo en uno y otro caso, y particularmente los contenidos de humedad, la granulometría y Límites de Atterberg.

En el medio terrestre se realizó la toma de muestras en los dos primeros metros de forma continua y luego en cada metro y medio hasta llegar a la condición de rechazo, completándose así la longitud total de la perforación y obteniéndose muestras de 36 mm de diámetro; estas se etiquetaron y sellaron debidamente con el objeto de preservar los contenidos originales. En el caso del corredor de navegación se tuvo el cuidado de medir primero la altura de la barcaza hasta donde tenía contacto con el agua, y luego la profundidad del lecho marino con una ecosonda, dando en el instante el nivel de la marea con dos puntos de referencia procesados a base de información obtenida del punto DAVI que pertenece a la red geodésica del Instituto Geográfico Tommy guardia.

En tierra los puntos de perforación fueron:

Cuadro 6.4. Ubicación de los Hoyos de perforación en tierra.

| PERFORACIÓN | COORDENADAS UTM WGS84 | | PROF. DE LA PERFORACIÓN (M) |
|-------------|-----------------------|----------|-----------------------------|
| | Este | Norte | |
| P-1 | 352517.9 | 921410.9 | 21.45 |
| P-2 | 352234.4 | 921265.7 | 24.45 |
| P-3 | 352013.6 | 921899.0 | 21.45 |
| P-4 | 353132.0 | 922347.0 | 15.30 |
| P-5 | 352035.0 | 929315.6 | 6.00 |
| P-6 | 352641.0 | 921029.4 | 21.45 |
| P-7 | 352845.7 | 921276.3 | 21.45 |
| P-8 | 352656.4 | 920877.9 | 21.45 |
| P-9 | 353322.7 | 922003.8 | 12.30 |
| P-10 | 352908.2 | 922407.9 | 15.45 |
| P-11 | 353290.6 | 924156.6 | 4.95 |

| PERFORACIÓN | COORDENADAS UTM WGS84 | | PROF. DE LA PERFORACIÓN (M) |
|-------------|-----------------------|----------|-----------------------------|
| | Este | Norte | |
| P-12 | 353421.0 | 925240.0 | 9.15 |
| P-17 | 352370.0 | 921104.0 | 19.77 |

En el corredor de navegación, las perforaciones abarcaron varios puntos coincidentes con los muestreos de aguas, agregados de otros adicionales seleccionados mediante análisis de la batimetría, el plan de dragado, la dinámica de sedimentación y la geometría del cauce del río. Los hoyos en este caso no pasaron de los -12 m desde el nivel MLWS, toda vez que es la máxima profundidad para dragar. Los lugares fueron los siguientes (Cuadro 6.5):

Cuadro 6.5. Muestreo del Lecho del Canal de Navegación

| CODIGO DE HOYO | | COORDENADAS UTM WGS-84 | | PROF. LECHO (-M) NIVEL MLWS | OBSERVACIONES |
|----------------|--------|------------------------|--------|-----------------------------|---|
| DRAGADO | AGUAS | ESTE | NORTE | | |
| A | E-S2 | 352000 | 921290 | 2,25 | Se perfora hasta -12 m desde la superficie del agua en el nivel MLWS. Canal principal de navegación |
| B | E-S1 | 352200 | 920950 | 0,98 | |
| C | E-A1 | 352680 | 919800 | 2,93 | |
| D | - | 352640 | 918645 | 3,17 | |
| E | - | 352360 | 918355 | 2,29 | |
| F | - | 352270 | 917550 | 0,90 | |
| G | E-S5 | 355160 | 916150 | 3,54 | |
| H | - | 356426 | 915783 | 7,48 | |
| I | E-S6 | 357200 | 915220 | 1,83 | |
| J | - | 356520 | 915830 | 2,50 | |
| K | E-A0 | 311590 | 921490 | 1,47 | |
| L | E-S4-B | 353550 | 916160 | 5,58 | |
| - | E-S10 | 351570 | 921880 | 2,52 | Se perfora hasta -6 m de lecho. Áreas de lanchas turísticas |
| - | E-S11 | 351710 | 922230 | 2,50 | |
| - | E-S3 | 354199 | 920605 | 0,05 | |
| - | E-S9 | 355421 | 919629 | 0.13 | |
| - | E-S8 | 353920 | 920060 | Fondo | Toma de muestras en superficie del lecho |
| - | E-S4-A | 352765 | 916655 | Fondo | |
| - | E-S7 | 355377 | 911760 | Fondo | |

6.1.3.1 Zonificación geotécnica: área de la huella.

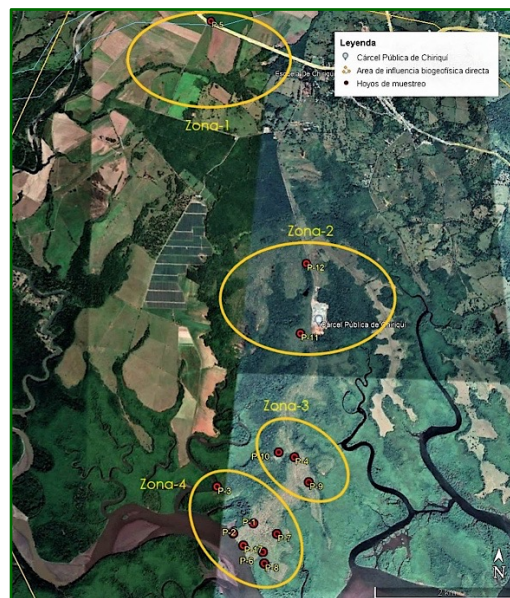
Como primer criterio para la zonificación de unidades se tomó de parámetro la formación geológica. Al respecto, vale recordar que el polígono de la huella y su entorno cercano está dominado por dos grupos: el Grupo Senosri-Uscari con la Formación Galique (TO-SEga) y el

Grupo Aguadulce con la Formación Las Lajas (QR-Ala). También se analizaron las geoformas del área, entendiendo que hay tres unidades concretas: la de canales de marea, la de glacis de suave ondulación y la de “schorre” (zona pantanosa litoral de vegetación fija). Con estos elementos se hizo finalmente una revisión in situ de algunas características del suelo (textura, vegetación, etc.) y se trazaron los puntos de muestreos (de tierra y de agua), cuyas perforaciones cumplieron con la información requerida sobre las propiedades físicas y mecánicas por zona, a través de los perfiles de profundidad. Así se trazan las siguientes zonas:

Medio Terrestre.

- Zona-1: Área del punto P-5
- Zona-2: Área de los puntos P-11 y P-12
- Zona-3: Área de los puntos P-4, P-9 y P-10
- Zona-4: Área de los puntos P-1, P-2, P-3, P-6, P-7, P-8 y P-17

Figura 6.2. Zonas geotécnicas terrestres.



Fuente: Google Earth y Equipo Consultor, 2022.

Medio acuático.

- Zona-5: Esta zona recorre todo el canal de marea utilizado por los barcos para su acceso al puerto, así como las lanchas de turismo hacia el sitio de marina, abarcando un total de 14,6 km

con los 19 hoyos diseñados. Es justamente la diferencia entre un tipo de embarcación y otra, la que lleva a tratar de manera distinta las profundidades de perforación de -12 m y de -6 m. Para el caso, lo sustancial de la labor estuvo dirigida a determinar la granulometría y textura de los sedimentos al igual que la profundidad de roca, por razones de la acción de dragado para el acondicionamiento de los cursos de aguas de navegación.

Figura 6.3. Zona-5 geotécnica, del canal de marea.



Fuente: Google Earth y Equipo Consultor, 2022.

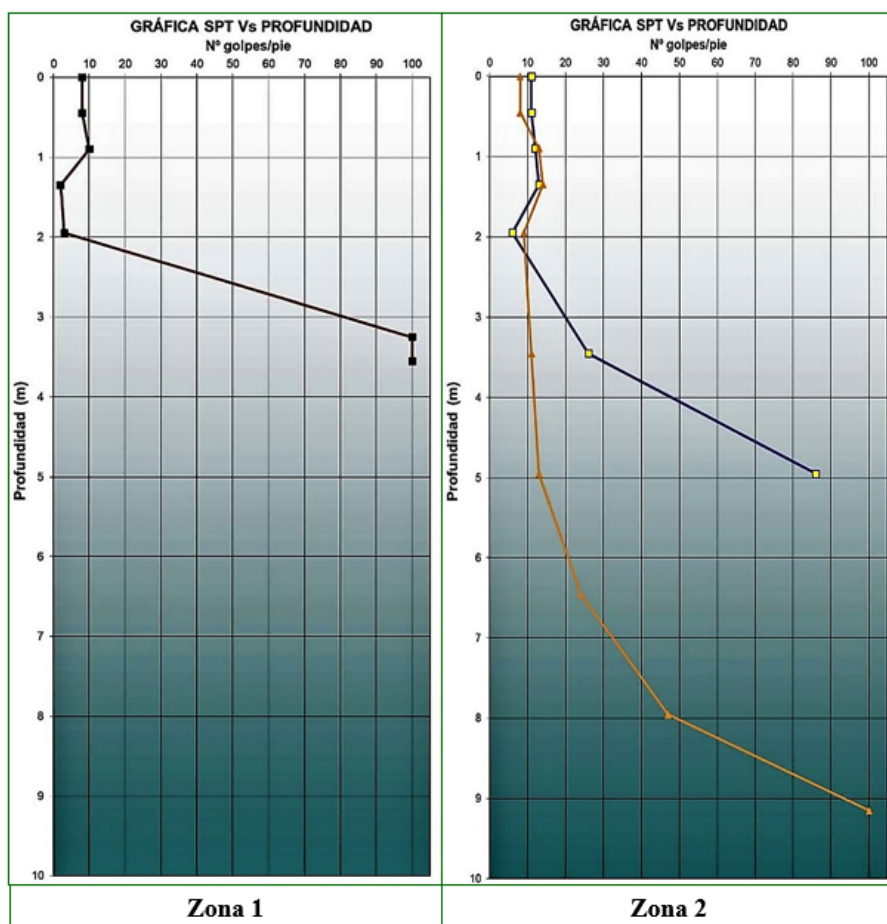
6.1.3.2 Caracterización geotécnica de las zonas.

Medio terrestre.

Simultáneamente a la toma de muestras del suelo se realizó el Ensayo Normal de Penetración (Standard Test Method for Standard Penetration Test, SPT, and Split-Barrel Sampling of Soils), siguiendo las especificaciones establecidas en la norma ASTM D-1586. Todas las muestras recuperadas en las perforaciones fueron identificadas y colocadas en bolsas plásticas debidamente selladas para evitar en lo posible la pérdida de humedad natural.

Posteriormente todas las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se realizaron los ensayos para la clasificación y determinación de las características geotécnicas, siguiendo las mismas normas ASTM. A continuación, las gráficas por zonas del “SPT vs Profundidad”:

Gráfica 6.1. SPT vs Profundidad de las zonas 1 y 2.

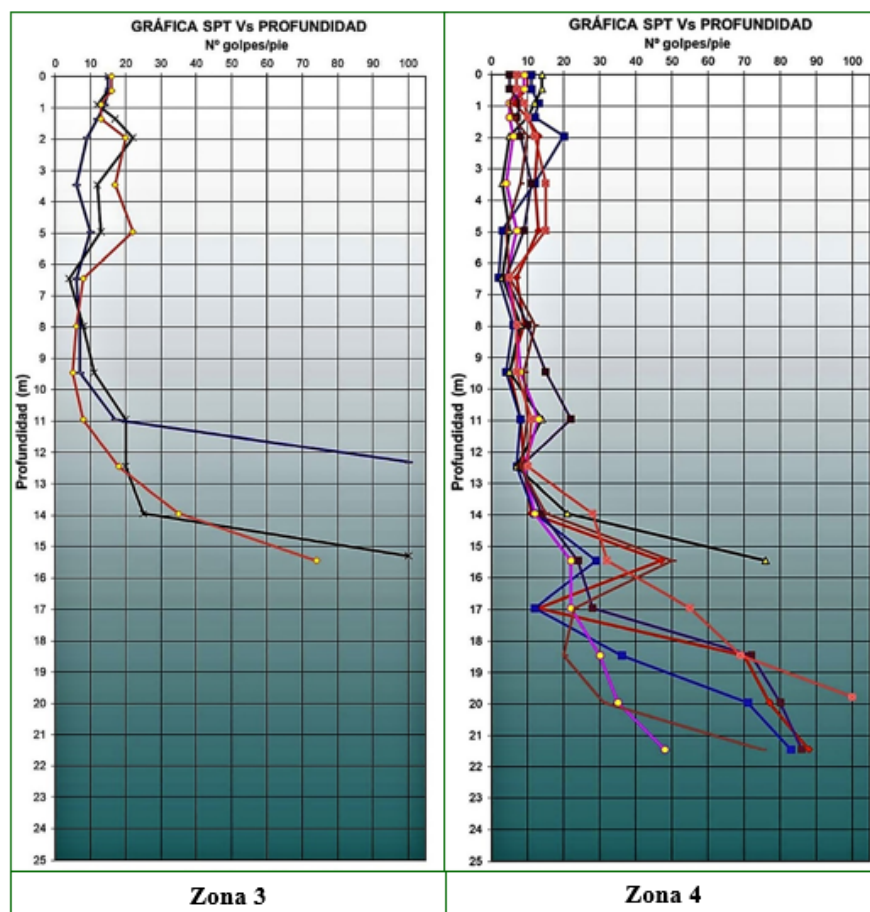


En la Zona-1, vale recordar, se hizo una perforación hasta los -6,0 m en la cual aparece claramente una capa bastante sólida formada de grava en un 50% con muy pocos finos, entre los 2,5 m y 3,3 m de profundidad, seguidos de mucha arena. Sin duda es un estrato aluviónico originado por el río

Chiriquí; y por lo mismo la Humedad marca baja por debajo del 40%, así como el Índice Plástico (IP) de los -2 m hacia abajo (ver gráficas los índices en el Estudio de Geotecnia Terrestre, **Anexo 6**). El peso unitario seco de la muestra es el más alto de todas las zonas con 1.653 kg/m³.

Entre tanto la Zona-2, que toma los índices del P-11 y P-12 presenta mayor Humedad, con más acento en el P-12, el cual pasa el 50% entre los -2 m y -5 m, acercándose a su Límite Líquido (hay que considerar que es un área con lagunas cercanas). Se observa también una baja rápida de su Límite Plástico entre los -3 m y -8 m, ampliando el índice IP seguramente por cambios en la composición. Pero los dos hoyos mantienen una similar existencia de finos.

Gráfica 6.2. STP vs Profundidad de las zonas 3 y 4.



Respecto a la Zona-3, prácticamente todos los hoyos manifiestan una conducta similar en relación con la profundidad de rechazo (llegan todos a los alrededores de -14 m) y las variantes de la curva. Todos muestran una Humedad superior al 50% después de los -5 m (se advierte un área alrededor

con lagunas) y un moderado Límite Plástico, por lo general casi constante. El P-4 manifiesta un singular elevado Límite Líquido en la medida que descende la perforación, lo que amplía su rango del IP con un nivel superior al 50%. El suelo se presenta como un limo elástico (MH) con contenido variable de arenas.

La Zona-4, de gran interés por cargar el peso de la instalación portuaria, alcanza la más baja profundidad por golpes sin toparse con obstáculos relevantes de cantos rodados intercalados; y como se ve en la gráfica, todos los hoyos tienen conductas similares en la curva de descenso. La Humedad muestra una alta proporción del contenido en todos los hoyos de la orilla ribereña (P-3, P-2, P-17, P-6 y P-8), y por encima del 50% en las profundidades que van de los -5 m a -19 m, que es el rango en que se produce sin dudas la mayor intrusión hídrica a causa de las variaciones del nivel mareal. En todos sobre sale una condición constante del Límite Plástico e igualmente del Límite Líquido, manteniendo el LP un nivel por debajo del 40%, lo más seguro que por el factor de composición en la textura del suelo.

Estos análisis condujeron a la siguiente caracterización por zona (Cuadro 6.6, Cuadro 6.7, Cuadro 6.8, Cuadro 6.9, Cuadro 6.10), con el detalle adicional de que, por la textura y contenidos, todas las columnas perforadas están consideradas como de un solo estrato, salvo la de Zona-1 que presenta dos estratos bien diferenciados. Por debajo de estos estratos puede ya esperarse, topar la roca meteorizada descrita en la geología regional.

Cuadro 6.6. Parámetros geotécnicos del Suelo Zona-1.

| MATERIAL | | Prof. (m) | Nspt Corr | Consisten- cia | Color | γ (t/m ³) | ϕ (°) | Su (t/m ²) | E (t/m ²) | ν |
|------------|---|--------------|--------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-------|
| ESTRATO I | Arcilla de baja plasticidad arenosa (CL) y Arcilla limo arenosa (CL-ML) | 0.00 – 3.00 | 5 | MEDIA | Marrón oscuro y marrón rojizo | 1.7 | - | 3.0 | 2600 | 0.30 |
| | | 3.00 – 3.50 | 58 | DURA | | 2.0 | - | 20.0 | 6000 | 0.49 |
| ESTRATO II | Boulders en matriz arcillosa | >.50 | 100 | MUY DENSA | Gris | 2.0 | 40 | - | 9000 | 0.49 |

Nota: Leyenda: ϕ = Ángulo de fricción; Su = Resistencia al corte no drenado; E = Módulo de elasticidad del suelo; ν = Módulo de Poisson. Fuente: Estudio de Geotecnia Terrestre.

Cuadro 6.7. Parámetros geotécnicos del Suelo Zona-2.

| MATERIAL | | Prof. (m) | Nspt Corr | Densidad/ Consist | Color | γ (t/m ³) | ϕ (°) | Su (t/m ²) | E (t/m ²) | ν |
|--------------|--|--------------|--------------|----------------------|--|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-------|
| ESTRATO I | Limo elástico (MH) con contenido de arena variable Grava arcillosa con arena (GC) | 0.00 – 6.25 | 10 | Media | Marrón oscuro y marrón rojizo, marrón rojizo | 1.7 | 29 | - | 500 | 0.31 |
| | | 6.25 – 9.15 | 34 | | | 1.8 | 33 | - | 1600 | 0.37 |

Nota: Leyenda: ϕ = Ángulo de fricción; Su = Resistencia al corte no drenado; E = Módulo de elasticidad del suelo; ν = Módulo de Poisson. Fuente: Estudio de Geotecnia Terrestre.

Cuadro 6.8. Parámetros geotécnicos del Suelo Zona-3.

| MATERIAL | | Prof. (m) | Nspt Corr | Densidad/ Consist | Color | γ (t/m ³) | ϕ (°) | Su (t/m ²) | E (t/m ²) | ν |
|--------------|--|---------------|--------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-------|
| ESTRATO I | Limo elástico (MH) con contenido de arena variable | 0.00 – 13.00 | 8 | Suelta | Marrón rojizo, marrón claro | 1.7 | 26 | - | 400 | 0.31 |
| | | 13.00 – 15.45 | 28 | Media | | 1.8 | 32 | - | 1400 | 0.39 |

Nota: Leyenda: ϕ = Ángulo de fricción; Su = Resistencia al corte no drenado; E = Módulo de elasticidad del suelo; ν = Módulo de Poisson. Fuente: Estudio de Geotecnia Terrestre.

Cuadro 6.9. Parámetros geotécnicos del Suelo Zona-4.

| MATERIAL | | Prof. (m) | Nspt Corr | Densidad | Color | γ (t/m ³) | ϕ (°) | Su (t/m ²) | E (t/m ²) | ν |
|--------------|--|---------------|--------------|----------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-------|
| ESTRATO I | Limo elástico (MH) con contenido de arena variable y Limo (ML) | 0.00 – 15.00 | 6 | Suelta | Marrón rojizo, marrón claro | 1.7 | 26 | - | 400 | 0.31 |
| | | 15.00 – 24.45 | 22 | Media | | 1.8 | 31 | - | 1200 | 0.38 |

Nota: Leyenda: ϕ = Ángulo de fricción; Su = Resistencia al corte no drenado; E = Módulo de elasticidad del suelo; ν = Módulo de Poisson. Fuente: Estudio de Geotecnia Terrestre.

Medio acuático.

El medio acuático se centró en la granulometría de importancia para los efectos del dragado, así como los Límites de Atterberg. Una parte, las muestras entre 0,0 m y 2,5 m de profundidad del medio hídrico, en sitios donde aflora el lecho a cielo abierto con las mareas bajas solo registraron

muestras de superficie; e igual otras, con profundidades superiores a los 12,0 m y de interés por la textura, las cuales se tomaron mediante buceo.

Los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) se realizaron a cada 1,5 m con base a lo establecido en la ASTM D 1586, utilizando cucharas partidas de 2” de diámetro exterior por 18” de largo. Las máquinas de perforación utilizaron martillos de seguridad, en dependencia siempre del tipo que se estuvo empleando. A su vez, la perforación en roca, al igual que en suelo utilizaron doble tubo en diámetro NQ, el cual obtiene muestras de 47,60 mm de diámetro, desarrollando la operación de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM D 2113.

Todos los testigos de suelo y roca fueron colocados en cajas de plástico con capacidad de almacenar 3,00 m de roca para núcleos de roca de diámetro NQ. Las muestras de roca fueron manejadas según el procedimiento descrito en la norma ASTM D 5079. El siguiente cuadro resume los resultados de las pruebas de laboratorios (Cuadro 6.10):

Cuadro 6.10. Resumen de las Pruebas de Laboratorio.

| N° Hoyo | N° Muestra | Profundidad (m) | Humedad (%) | Clasificación S.U.C.S | Clasificación AASHTO | Análisis granulométrico | | | Límite Líquido (LL) | Límite Plástico (LP) | Índice de Plasticidad (IP) | Gravedad Específica |
|---------|------------|-----------------|-------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| | | | | | | % Grava/Gravel | % Arena | % Finos | | | | |
| A | 19 | 7,90 – 8,35 | 12,7 | - | A-2-7 | 0,00 | 90,20 | 9,80 | - | - | - | 2,69 |
| | 20 | 8,35 – 8,80 | 6,6 | | | | | | | | | |
| B | 4 | 1,35 – 1,80 | 41,5 | - | A-2-7 | 0,00 | 94,00 | 6,00 | - | - | - | 2,63 |
| | 12 | 4,95 – 5,40 | 24,0 | - | A-2-7 | 0,00 | 83,20 | 16,80 | - | - | - | 2,62 |
| | 18 | 7,65 -8,10 | 26,6 | SM | A-2-6 | 0,00 | 74,30 | 25,70 | 39,00 | 26,50 | 12,50 | 2,70 |
| | 19 | 8,10 – 8,55 | 49,7 | | | | | | | | | |
| | 26 | 11,25 – 11,70 | 59,1 | MH | A-7-5 | 0,00 | 22,00 | 78,00 | 69,90 | 42,40 | 27,50 | 2,57 |
| | 27 | 11,70 – 12,15 | 54,3 | | | | | | | | | |
| C | 5 | 2,10 – 2,55 | 18,0 | SP | A-2-7 | 0,00 | 97,00 | 3,00 | - | - | - | 2,72 |
| | 6 | 2,55 – 3,00 | 16,9 | | | | | | | | | |
| | 15 | 6,60 – 7,05 | 13,6 | SM | A-7-5 | 0,00 | 57,20 | 42,80 | 46,90 | 31,60 | 15,40 | 2,66 |
| | 19 | 8,40 – 8,85 | 29,2 | MH | A-7-5 | 0,00 | 34,80 | 65,20 | 65,90 | 39,40 | 26,50 | 2,60 |
| | 20 | 8,85 – 9,30 | 32,8 | | | | | | | | | |
| D | 3 | 0,90 – 1,35 | 32,9 | - | A-2-7 | 1,96 | 90,34 | 7,70 | - | - | - | 2,67 |
| | 16 | 6,70 – 7,20 | 61,5 | ML | A-7-6 | 0,00 | 43,70 | 56,30 | 46,00 | 29,50 | 16,60 | 2,48 |
| | 17 | 7,20 – 7,65 | 17,0 | SP | A-2-7- | 0,00 | 97,40 | 2,60 | - | - | - | 2,76 |
| | 20 | 8,55 – 9,00 | 29,3 | MH | A-7-5 | 0,00 | 3,60 | 96,40 | 96,40 | 53,80 | 43,30 | 2,69 |
| | 21 | 9,00 – 9,45 | 28,4 | | | | | | | | | |
| E | 4 | 2,65 – 3,10 | 21,5 | - | A-2-7 | 0,00 | 89,30 | 10,70 | - | - | - | 2,62 |

EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

| N° Hoyo | N° Muestra | Profundidad (m) | Humedad (%) | Clasificación S.U.C.S | Clasificación AASHTO | Análisis granulométrico | | | Límite Líquido (LL) | Límite Plástico (LP) | Índice de Plasticidad (IP) | Gravedad Específica |
|---------|------------|-----------------|-------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| | | | | | | % Grava/ Gravel | % Arena | % Finos | | | | |
| | 5 | 3,10 – 3,55 | 28,5 | MH | A-7-5 | 0,00 | 9,10 | 90,90 | 82,60 | 49,20 | 33,50 | 2,54 |
| | 13 | 6,70 – 7,15 | 41,1 | | | | | | | | | |
| | 14 | 7,15 – 7,60 | 26,8 | MH | A-7-5 | 0,00 | 11,70 | 88,30 | 73,10 | 40,40 | 32,80 | 2,46 |
| | 15 | 7,60 – 8,05 | 17,0 | | | | | | | | | |
| | 16 | 8,05 – 8,50 | 46,3 | MH | A-7-5 | 0,00 | 4,30 | 95,70 | 90,00 | 53,80 | 36,20 | 2,49 |
| | 17 | 8,50 – 8,95 | 19,0 | | | | | | | | | |
| | 18 | 8,95 – 9,40 | 16,3 | MH | A-7-5 | 0,00 | 21,00 | 79,00 | 71,90 | 39,40 | 32,50 | 2,46 |
| | 19 | 9,40 – 9,85 | 17,0 | | | | | | | | | |
| F | 2 | 0,45 – 0,90 | 20,0 | - | A-2-7 | 0,00 | 94,90 | 5,10 | - | - | - | 2,75 |
| | 8 | 3,15 – 3,60 | 27,6 | - | A-2-7 | 0,00 | 88,70 | 11,30 | - | - | - | 2,66 |
| | 11 | 4,50 – 4,95 | 89,5 | - | A-2-7 | 0,00 | 92,90 | 7,10 | - | - | - | 2,67 |
| | 14 | 6,70 – 7,15 | 58,7 | MH | A-7-5 | 0,00 | 39,60 | 60,40 | 59,00 | 38,30 | 20,70 | 2,50 |
| | 15 | 7,15 – 7,60 | 53,6 | | | | | | | | | |
| | 17 | 8,05 – 8,45 | 51,6 | MH | A-7-5 | 0,00 | 4,90 | 95,10 | 86,00 | 50,50 | 35,60 | 2,57 |
| | 19 | 8,95 – 9,40 | 33,5 | - | A-2-7 | 0,00 | 93,70 | 6,30 | - | - | - | 2,68 |
| | 20 | 9,40 – 9,85 | 27,1 | | | | | | | | | |
| G | 3 | 2,05 – 2,65 | 16,3 | - | A-2-7 | 0,00 | 84,00 | 16,00 | - | - | - | 2,52 |
| | 6 | 3,85 – 4,45 | 19,6 | MH | A-7-5 | 0,00 | 31,40 | 68,60 | 56,90 | 38,50 | 18,40 | 2,54 |
| | 11 | 14,00 – 14,45 | 39,2 | MH | A-7-5 | 0,00 | 12,80 | 87,20 | 76,10 | 49,60 | 26,50 | 2,45 |
| | 12 | 14,45 – 14,90 | 18,4 | | | | | | | | | |
| H | 5 | 12,07 – 12,27 | - | MH | A-7-5 | 0,00 | 34,40 | 65,60 | 63,00 | 39,50 | 23,60 | - |
| | 6 | 13,57 – 14,07 | - | MH | A-7-5 | 0,00 | 30,70 | 69,30 | 68,90 | 43,40 | 25,60 | - |
| I | 2 | 0,60 – 1,20 | 22,5 | - | A-2-7 | 0,00 | 91,00 | 9,00 | - | - | - | 2,59 |
| | 5 | 2,40 – 3,00 | 31,0 | - | A-2-7 | 0,00 | 91,80 | 8,20 | - | - | - | 2,90 |
| | 8 | 4,20 – 4,80 | 31,5 | - | A-2-7 | 0,00 | 85,10 | 14,90 | - | - | - | 2,54 |
| | 10 | 5,25 – 5,70 | 8,7 | - | A-2-7 | 0,00 | 89,50 | 10,50 | - | - | - | 2,70 |
| | 11 | 5,70 – 6,15 | 18,2 | | | | | | | | | |
| | 14 | 7,05 – 7,50 | 34,3 | MH | A-7-5 | 0,00 | 3,40 | 96,60 | 93,30 | 46,40 | 47,00 | 2,58 |
| | 15 | 7,50 – 7,95 | 32,7 | | | | | | | | | |
| | 16 | 7,95 – 8,40 | 45,7 | SM | A-7-5 | 0,00 | 61,30 | 38,70 | 52,90 | 35,60 | 17,40 | 2,71 |
| | 17 | 8,40 – 8,85 | 33,6 | | | | | | | | | |
| | 18 | 8,85 – 9,30 | 44,6 | MH | A-7-5 | 5,30 | 7,10 | 87,60 | 80,90 | 45,50 | 35,40 | 2,56 |
| | 20 | 9,75 – 10,20 | 52,5 | MH | A-7-5 | 0,00 | 40,10 | 59,90 | 62,90 | 38,40 | 24,50 | 2,70 |
| | 21 | 10,20 – 10,65 | 21,6 | | | | | | | | | |
| J | 3 | 1,20 – 1,80 | 28,8 | - | A-2-7 | 36,13 | 49,87 | 14,00 | - | - | - | 2,54 |
| K | 6 | 2,25 – 2,70 | 15,7 | - | A-2-7 | 0,00 | 89,80 | 10,20 | - | - | - | 2,70 |
| | 13 | 5,40 – 5,70 | 10,7 | - | A-2-7 | 4,24 | 83,46 | 12,30 | - | - | - | 2,61 |
| L | 3 | 0,90 – 1,35 | 30,6 | - | A-2-7 | 0,68 | 93,22 | 6,10 | - | - | - | 2,61 |
| | 4 | 1,35 – 1,80 | 15,2 | | | | | | | | | |
| | 9 | 3,60 – 4,05 | 37,5 | - | A-2-7 | 0,00 | 83,90 | 16,10 | - | - | - | 2,70 |
| | 10 | 4,05 – 4,50 | 29,5 | MH | A-7-5 | 0,00 | 40,50 | 59,50 | 59,00 | 36,50 | 22,60 | 2,68 |
| | 11 | 4,50 – 4,95 | 29,8 | | | | | | | | | |
| | 13 | 5,40 – 5,85 | 36,1 | MH | A-7-5 | 0,00 | 22,00 | 78,00 | 73,00 | 49,30 | 23,70 | 2,55 |
| | 14 | 5,85 – 6,30 | 32,0 | MH | A-7-5 | 0,00 | 13,60 | 86,40 | 78,90 | 43,40 | 35,50 | 2,67 |
| | 15 | 6,30 – 6,75 | 25,4 | SM | A-2-7 | 0,00 | 69,90 | 30,10 | 47,00 | 30,40 | 16,60 | 2,75 |
| | 16 | 6,75 – 7,20 | 16,5 | | | | | | | | | |
| E-S10 | 3 | 2,75 – 3,20 | 18,2 | MH | A-7-5 | 1,60 | 31,4 | 67,0 | 66,0 | 39,4 | 26,7 | 2,53 |

| N° Hoyo | N° Muestra | Profundidad (m) | Humedad (%) | Clasificación S.U.C.S | Clasificación AASHTO | Análisis granulométrico | | | Límite Líquido (LL) | Límite Plástico (LP) | Índice de Plasticidad (IP) | Gravedad Específica |
|---------|------------|--|-------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| | | | | | | % Grava/Gravel | % Arena | % Finos | | | | |
| | 4 | 3,20 – 3,65 | 22,7 | | | | | | | | | |
| | 5 | 3,65 – 4,10 | 27,3 | MH | A-7-5 | 0,00 | 23,30 | 76,70 | 75,90 | 41,50 | 34,50 | 2,67 |
| | 6 | 4,10 – 4,55 | 28,4 | CH | A-7-5 | 0,00 | 36,90 | 63,10 | 62,90 | 31,40 | 31,50 | 2,64 |
| E-S11 | 1 | 0,00 – 0,45 | 21,0 | MH | A-7-5 | 10,44 | 32,86 | 56,70 | 52,90 | 30,50 | 22,50 | 2,62 |
| | 2 | 0,45 – 0,90 | 32,1 | | | | | | | | | |
| | 7 | 2,70 – 3,15 | 18,8 | MH | A-7-5 | 0,00 | 19,20 | 80,80 | 80,00 | 49,60 | 30,40 | 2,68 |
| | 8 | 3,15 – 3,60 | 29,9 | | | | | | | | | |
| E-S3 | 1 | 0,90 – 1,35 | 31,5 | MH | A-7-5 | 0,00 | 43,90 | 56,10 | 52,90 | 35,40 | 17,50 | 2,68 |
| | 2 | 1,35 – 1,80 | 30,7 | CH | A-7-5 | 0,00 | 33,30 | 66,70 | 65,90 | 31,40 | 34,50 | 2,66 |
| | 3 | 1,80 – 2,25 | 23,2 | - | A-2-7 | 0,00 | 91,10 | 8,90 | - | - | - | 2,74 |
| | 5 | 2,70 – 3,15 | 20,0 | SM | A-7-5 | 0,00 | 64,00 | 36,00 | 42,70 | 32,50 | 10,20 | 2,67 |
| | 6 | 3,15 – 3,60 | 28,3 | | | | | | | | | |
| E-S9 | 2 | 0,45 – 0,90 | 35,3 | - | A-2-7 | 0,00 | 88,50 | 11,50 | - | - | - | 2,73 |
| | 3 | 0,90 – 1,35 | 35,2 | | | | | | | | | |
| | 11 | 4,50 – 4,95 | 25,6 | MH | A-7-5 | 0,00 | 47,10 | 52,90 | 52,90 | 35,50 | 17,50 | 2,62 |
| | 12 | 4,95 – 5,40 | 9,3 | - | A-2-7 | 0,00 | 94,60 | 5,40 | - | - | - | 2,73 |
| | 13 | 5,40 – 5,85 | 34,7 | | | | | | | | | |
| E-S8 | 1 | Superficie del lecho. Muestreo por buzos | - | SM | A-2-6 | 0,00 | 75,70 | 24,30 | 37,60 | 26,50 | 11,30 | 2,59 |
| E-S4-A | 1 | Superficie del lecho. Muestreo por buzos | - | - | A-2-7 | 4,48 | 86,42 | 9,10 | - | - | - | 2,74 |
| E-S7 | 1 | Superficie del lecho. Muestreo por buzos | - | - | A-2-7 | 3,83 | 86,77 | 9,40 | - | - | - | 2,68 |

Como puede observarse, arenas y finos ocupan el alto porcentaje de la textura, con acento en las arenas y en los finos del limo. Por lo general la Gravedad Específica se sitúa bastante cercana al de las arenas, y deja prever una buena relación entre volumen vacío y sólido de la muestra, todo lo cual es importante para la extensión de la pluma de sedimentos por efecto del dragado. De hecho, también es un sedimento de bajo contagio con los contaminantes metálicos.

Al respecto, se hizo como actividad verificadora un examen del propio sedimento de fondo, con muestras representativas, y el resultado fue: “Arena de grano fino, compacidad suelta, plasticidad nula, contenido de humedad bajo, color gris oscuro. Estructura homogénea, contenido de materia orgánica nulo”. Los contenidos que aparecen, vía el microscopio electrónico son fundamentalmente: Cuarzo (15-28%), Feldespato (18-28%), Frag. de rocas (10-23%), Magnetita

(15-22%), Mg-Fe Silicatos (18-28%); luego y en proporciones pequeñas, los Fémicos y fragmentos de conchas.

Figura 6.4. Muestra de sedimentos



6.1.3.3 Conclusiones respecto a las acciones constructivas.

En las condiciones encontradas de un subsuelo donde hay materiales superficiales de resistencia baja y niveles freáticos muy cerca de la superficie (ver aguas subterráneas más adelante), son adecuadas las fundaciones directas tipo zapatas desplantadas, a una profundidad (Df) de 1,50 m por debajo del nivel actual de terreno.

En cambio, para estructuras de cargas pesadas son necesarias fundaciones profundas tipo pilotes circulares excavados dentro del estrato competente (por debajo de -21 m), para minimizar o mitigar el daño en las estructuras como producto de la posible deformación del suelo.

Para la estructura del intercambiador vial cerca de la perforación P-5 (Zona-1) la situación es más compleja. Es necesario remover y reemplazar el suelo natural hasta una profundidad de -3,0 m. Posteriormente se recomienda colocar una capa de 1,5 m de un suelo que clasifique como A-2-4, compactado en capas de máximo 15 cm al 98% de la densidad seca y con humedad en el rango de $\pm 1\%$ de la óptima según el Ensayo Proctor Estándar ASTM D-1557. Sobre el suelo compactado

se recomienda el uso de fundaciones directas tipo zapatas desplantadas a una profundidad de 1,5 m por debajo del nivel actual del terreno.

En cuanto al dragado, deberá tomarse en cuenta toda la información existente del tipo de suelo a extraer, así como de la dinámica hidráulica, tanto en el diseño de las pendientes de laderas como en la tecnología aplicada al propio dragado, de forma a garantizar el mejor sostenimiento del corte lateral del cauce de fondo y la menor extensión de la pluma de sedimentos causada por la remoción del material.

6.2 Geomorfología

A continuación se desarrolla lo correspondiente a la Geomorfología del proyecto.

6.2.1 Marco metodológico.

Para la elaboración de las Unidades Cartográficas Geomorfológicas (Geoformas) se llevaron a cabo las siguientes actividades, que se muestran en el Cuadro 6.11.

Cuadro 6.11. Actividades para la elaboración de la Unidad Cartográfica Geomorfológicas.

| FASE DE PRE CAMPO | FASE DE CAMPO | FASE DE GABINETE |
|---|--|---|
| <p>Revisión de la información geomorfológica del área de estudio, haciendo especial énfasis en el análisis de la morfodinámica de la zona de emplazamiento del proyecto, mediante imágenes satelitales, mapas e información existente, y se evaluaron las condiciones topográficas y de relieve, así como las unidades morfoestructurales presentes en el proyecto.</p> <p>Se utilizó la jerarquización y definiciones de paisajes y geoformas, del Programa Inventario Nacional de Tierras de Venezuela.</p> <p>El análisis de pendientes se derivó del Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual provee una enorme capacidad para modelar los aspectos topográficos del terreno en el área de influencia del Proyecto, basado en la información X, Y, Z. Para producir la información de pendiente se utilizó el programa ARCMAP el cual permite a través de la herramienta “Slope” o PENDIENTE, calcular la tasa máxima de cambio existente entre los valores de una celda, y los valores de las celdas inmediatamente aledañas a ella, y se generó el Mapa de Modelo digital escala 1: 50,000 del MDE. Los rangos de pendiente establecidos son los del Manual de Levantamiento de Suelos.</p> <p>A partir del mapa de modelo y del análisis de las Imágenes satelitales, se asignó de manera preliminar, a cada unidad cartográfica, su ubicación en las Categorías, por paisaje y geoforma, para orientar de manera preliminar la visita de campo las observaciones a realizar.</p> <p>A partir del mapa de modelo y del análisis de las Imágenes satelitales, se asignó de manera preliminar, a cada Unidad cartográfica, su ubicación en las Categorías por Paisaje, Sub paisaje, y Geoforma, para orientar de manera preliminar durante la visita de campo, las observaciones a realizar.</p> | <p>En los recorridos de campo se verificó la información y se precisaron y verificaron cuando fue posible, los sitios o posibles puntos vulnerables en las áreas del proyecto, con procesos morfodinámicos críticos: susceptibilidad a la erosión, estabilidad de laderas, movimientos de masa, zonas inundables, entre otros, para lo cual se procedió al llenado de la Planilla de Campo diseñada, antes citada.</p> <p>Se realizó con énfasis en el área de ubicación del futuro Puerto Barú.</p> | <p>Para la caracterización de la variable geomorfología, se utilizó el Estudio de Geomorfológica de la República de Panamá; es de resaltar que la presente línea base del área de estudio, consiste y se limitó a generar un Informe que contiene la descripción de la información generalizada de las geoformas y morfodinámica, la cual está constituida por un Mapa 6.2. Geomorfológica. cuyas unidades fueron caracterizadas con base a la descripción de pendientes, y de los procesos erosivos actuales y/o potenciales, en los casos de los relieves accidentados como la meseta volcánica, glaciés y lomas, e inundación en el caso del estuario; la representación cartográfica de los mismos, se ubica en el área de influencia del proyecto. Con la geometría de las unidades del modelo de terreno generadas en la etapa pre campo, la información recabada en la visita de campo, y con el análisis de las Imágenes satelitales se generó el Mapa geomorfológico.</p> <p>Con la comparación de la geometría de las unidades y sus variaciones, más la visita de campo se generó el informe. Con base a las verificaciones de campo se ajustó la geometría de las Unidades del Mapa geomorfológico preliminar, luego se realizó la identificación de las geoformas, ubicadas en el área de influencia del proyecto, y por último se</p> |

EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

| FASE DE PRE CAMPO | FASE DE CAMPO | FASE DE GABINETE |
|-------------------|---------------|---|
| | | procedió a realizar la descripción de dichas unidades, a partir de la información existente y recabada, indicando los aspectos más relevantes a ser considerados para las futuras evaluaciones impactos ambientales, así como el señalamiento de los retornos ambientales sobre el proyecto |

Fuente: Equipo Consultor, 2022.

En particular para el Análisis morfodinámico costero, se llevaron a cabo las siguientes actividades, que se muestran en el Cuadro 6.12.

Cuadro 6.12. Actividades para el Análisis morfodinámico costero.

| FASE DE PRE CAMPO | FASE DE CAMPO | FASE DE GABINETE |
|--|---|---|
| <p>La morfodinámica costera se hizo analizando la estabilidad de las geoformas afectadas por la hidrodinámica del Paisaje del Estuario, en área de influencia del proyecto, comparando la geometría de las geoformas utilizando Cartas con escala 1: 50.000 de los años 1991 y 2012 del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Carta Topográfica "3710-IV ISLA SEVILLA" a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia". Las Líneas de Costa 2012 fuente cartográfica, Carta Topográficas a escala 1:25.000: 3741 III SW CERRO PEDREGAL, 3741 III SE CHIRIQUÍ, 3741 II SW CHORCHITA, 3740 I SW BOCA CHICA, 3740 IV SW ISLA SEVILLA, 3740 IV SE ISLA BOCA BRAVA, 3740 IV NW BOCA DE SAN PEDRO, 3740 IV NE ISLA MONO y 3740 I NW HORCONCITOS, así como imágenes Google de los años 2019</p> <p>En el caso de las unidades correspondientes al Complejo de Cordón Litoral. Se realizó un diagnóstico de la estabilidad de las geoformas afectadas por la hidrodinámica en área de influencia del proyecto, comparando la geometría de las geoformas utilizando cartas con escala 1: 50.000 de los años 1991 y</p> | <p>En los recorridos de campo se verificó la información y se precisaron y verificaron cuando fue posible, los sitios o posibles puntos vulnerables en las áreas del proyecto, con procesos morfodinámicos críticos: susceptibilidad a la erosión, zonas inundables, entre otros, para lo cual se procedió al llenado de la Planilla de Campo diseñada, antes citada. Se hizo énfasis en las unidades con cobertura vegetal (Shorre) y sin cobertura vegetal (Slikke)</p> | <p>Para la caracterización de la variable geomorfología en el estuario, se utilizó el Estudio de Geomorfología de la República de Panamá; es de resaltar que la presente línea base del área de estudio, consiste y se limitó a generar un Informe que contiene la descripción de la información generalizada de las geoformas y morfodinámica, la cual está constituida por un Mapa, cuyas unidades fueron caracterizadas con base a la descripción de pendientes, y de los procesos erosivos actuales y/o potenciales, en los casos de los relieves accidentados representados en el estuario por los Lomas relictos. En el caso del sistema deposicionales del estuario se analizó la estabilidad de las geoformas por comparación entre la geometría de las mismas en diferentes años y diferentes sensores (cuando fue posible) e al igualmente, cual es el factor estabilizante.</p> <p>Se conformaron las representaciones cartográficas de las geoformas, que se ubican en el área de influencia del proyecto. Con la geometría de las unidades del modelo de terreno generadas en la etapa pre campo, la información recabada en la vista de campo, y con el análisis de la estabilidad de se generó el Mapa geomorfológico.</p> |

EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

| FASE DE PRE CAMPO | FASE DE CAMPO | FASE DE GABINETE |
|---|--|--|
| <p>2012 del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, así como imágenes Google del año 2019</p> <p>En el Mapa 6.3, se muestra la evolución de límites de la costa del Océano Pacífico, generadas a partir de las cartas geográficas antes mencionadas, de los años 1991 y 2012, así como la imagen Google 2019, en las áreas ocupadas por las geoformas Playa y Grao.</p> <p>Para el caso del Sistema Depositional de Pantano, se comparó, igualmente, la geometría de las geoformas de las cartas antes mencionadas con las imágenes Google y se estableció de manera subjetiva su estabilidad.</p> | | |
| | Se realizó con énfasis en el área de ubicación del futuro Puerto Barú. | Con la comparación de la geometría de las unidades y sus variaciones, más la visita de campo se generó el informe y se incorporó al Mapa Geomorfológico. |

Fuente: Equipo Consultor, 2022.

Un aspecto importante es resaltar es que se generaron criterios previos a la visita de campo, lo que, junto con la revisión de la bibliografía existente, permitió definir el análisis de las áreas de relieve accidentado, y las áreas inundables.

Respecto a los criterios para la caracterización de las áreas de relieve accidentado, se tomó lo establecido en el Cuadro 6.13 en el análisis, por el cual cada rango de pendiente usado facilitó generar el modelo de terreno, y se le asignó un potencial de erosión.

Cuadro 6.13. Rango de Pendientes, denominación de relieve y potencial de erosión.

| RANGOS DE PENDIENTES, DENOMINACIÓN DEL RELIEVE, Y POTENCIAL DE EROSIÓN | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| PENDIENTE (%) | DENOMINACIÓN DEL RELIEVE | POTENCIAL DE EROSIÓN |
| 0-3 | Plano | Sin potencial de erosión |
| 3-8 | Suavemente ondulado | Bajo |
| 8-20 | Ondulado | Medio |
| 20-45 | Ligeramente escarpado | Alto |
| 45-60 | Escarpado | Muy alto |

| RANGOS DE PENDIENTES, DENOMINACIÓN DEL RELIEVE, Y POTENCIAL DE EROSIÓN | | |
|--|--------------------------|----------------------|
| PENDIENTE (%) | DENOMINACIÓN DEL RELIEVE | POTENCIAL DE EROSIÓN |
| 60-100 | Muy escarpada | Muy alto |

En cuanto a los criterios para la caracterización de las áreas inundables, el proceso de desborde a partir de una corriente de agua indistintamente provenga de un canal de marea o de un río, obligo a considerar las frecuencias de inundación que se presentan a continuación, en el Cuadro 6.14.

Cuadro 6.14. Rangos de frecuencia, denominación de la frecuencia y potencial de erosión.

| RANGOS DE FRECUENCIA, DENOMINACIÓN DE LA FRECUENCIA, Y POTENCIAL DE EROSIÓN | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|
| FRECUENCIA | DENOMINACIÓN DE LA FRECUENCIA | POTENCIAL DE INUNDACION |
| Sin inundaciones o con frecuencias mayores a cinco años | Sin inundación | Sin |
| Inundaciones con frecuencia menores de una vez cada cinco años | Ocasional | Bajo |
| Inundaciones con frecuencia hasta de una vez por año | Frecuente | Medio |
| Inundaciones con frecuencia más de una vez por año | Muy Frecuente | Alto |

A los fines de caracterizar las Unidades Cartográficas de las Geoformas en el Cuadro 5.15 se describe el contenido de cada ítem, utilizado para las Unidades Geomorfológicas:

Cuadro 6.15. Descripción de las Unidades geomorfológicas

| DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS | | |
|---|---|--|
| SÍMBOLO | GEOFORMA/CONDICIONES DE PENDIENTES | LITOLOGÍA. |
| En las Tablas resúmenes se les asignó una identificación alfanumérica a cada Unidad Cartográfica; la primera letra corresponde al paisaje o sub-paisaje predominante en la misma. | Se identificó la geoforma dentro de cada sub-paisaje y cuando aplica, y a cada geoforma se le asignó un rango de pendientes, o asociación de ellas. | A cada geoforma se le asignó la litología, la cual fue tomada del Mapa de Geomorfología del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”. |

Cuadro 6.16. Descripción de las unidades geomorfológicas.

| DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS | | | |
|---|--|---|---|
| EDAD | BALANCE MORFODINAMICO | | LOCALIZACIÓN Y SUPERFICIE |
| | EROSIÓN | INUNDACIÓN | |
| A cada geoforma se le asigno la edad, la cual fue tomada del Mapa de Geología del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” | A cada geoforma se le atribuyeron la presencia de procesos erosivos actuales y/o potenciales, en los casos de los relieves accidentados, así como la identificación de posibles áreas con presencia de movimientos de masa, así como la erosión en las geoformas del estuario. | Para el caso de los Valles y el Estuario, se estimó el periodo de retorno de las inundaciones, de acuerdo, básicamente a la información suministrada por los lugareños, y otros especialistas (Línea Base Vegetación por ej). | Se describieron las ubicaciones geográficas de las diferentes geoformas, y se calcularon a partir del Mapa Geomorfológico, las superficies que ocupan la Unidades Cartográficas, dentro del Área de influencia establecida. |

6.2.2 Unidades de paisaje y geoformas.

Las Unidades geomorfológicas fueron caracterizadas, ubicándolas por paisajes, sub-paisajes (cuando aplica), geoformas, litología y geocronología. A las geoformas se les dieron los atributos de pendientes, a partir del mapa de modelo de terreno, y aspectos morfodinámicos potenciales en caso de cambios en la alteración de la topografía y eliminación de la vegetación, referidos a erosión (incluye erosión de cualquier tipo como laminar o movimientos en masa), e inundación en la Unidad Cartográfica a la escala referida. Con respecto a la erosión en los transectos realizadas no se observaron en particular movimientos en masa, y la inundación está circunscrita en las áreas de Valles inundables (Rio Chiriqui y otros no mapeables). En el caso del paisaje de Estuario se hizo la morfogénesis comparando la geometría de las geoformas con cartas geográficas de diferentes años, imágenes satelitales y batimetría, cuando aplica. Además, se describió a cada unidad su ubicación, se calculó su superficie, y porcentaje dentro del área de influencia.

Con estos criterios, los Paisajes identificados en el área de influencia son: Piedemonte, Valle y Estuario, cuyos Sub-Paisajes y Geoformas se presentan en el Cuadro 6.17. Es importante destacar que en el Mapa 6.2 de Geomorfología se muestran las Unidades Geomorfológicas Cartográficas de Paisajes y Sub-Paisajes, y sus geoformas, los cuales serán descritos a continuación.

Cuadro 6.17. Unidades Cartográficas de Paisajes, Sub-paisajes y Geoformas.

| UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE PAISAJES, SUB PAISAJES Y GEOFORMAS | | | |
|--|---------------------------------|-------------|---|
| PAISAJE | SUB-PAISAJE | SIMBOLO | GEOFORMAS |
| Piedemonte | Mesas volcánicas | CMV | Cima de Mesas volcánicas con una asociación de relieves de suavemente ondulados y ondulados |
| | | EMV1 | Escarpes de Mesas volcánicas con una asociación de relieves ligeramente escarpados y muy escarpados |
| | | EMV2 | Escarpes de Mesas volcánicas con relieves ondulados |
| | Glacis | G1 | Glacis conservado con una asociación de relieves de suavemente ondulados a ondulados |
| | | G2 | Glacis suavemente disectado con una asociación de relieves ondulados a suavemente ondulados |
| | Lomas | L1 | Lomas con una asociación de relieves ligeramente escarpados y ondulados |
| | | L2 | Lomas con una asociación de relieves muy escarpados, escarpados, y ondulados |
| Valle | Valle | V1 | Valles Chiriquí |
| Estuario | Complejo cordón litoral | P | Playas |
| | | G | Grao |
| | | Cm | Canales de marea |
| | Complejo sedimentario pantanoso | Lc | Laguna costera |
| | | Sc | Schorre |
| | | Sl | Slikke |
| | | Lr | Lomas relictas con una asociación de relieves muy escarpados a escapados. |

- **Paisajes de piedemonte.**

Corresponde a una unidad ubicada en el área de transición entre relieves accidentados y las zonas circundantes más bajas; presenta alturas inferiores a los 480 msnm, y ocupa una superficie de 15.757 ha, lo que representa el 41,0 % del área de influencia del proyecto.

En cuanto a la datación de este Paisaje de Piedemonte es necesario señalar que, existe una diferencia en la datación dada por el Instituto Geográfico Tommy Guardia en el Mapa Geomorfológico, que la clasifica en el Cuaternario Antiguo y Medio, mientras el Mapa Geológico la ubica en el Terciario; para el caso de la Caracterización de Geomorfología, se colocara como Cuaternario Antiguo y Medio.

Este paisaje está constituido por tres Sub-Paisajes: Mesas volcánicas, Glacis y Lomas, que a continuación se describen.

- **Sub-Paisaje de Mesas Volcánicas.**

Se ubica en la Gran Galena de Chorchá, en el noroeste del área de influencia del Polígono. Este Sub-Paisaje tiene como característica ser una zona elevada de terreno, con una cima y una asociación de relieves de suavemente ondulado y ondulado; las laderas tienen pendientes que gradan, presentándose en el área próxima a la cima, una asociación de pendientes muy escarpada y escarpada. En el resto de la unidad, la pendiente predominante es ondulada. Corresponde a la Gran Galena de Chorchá. Ocupan una superficie de 3.653 ha, lo que representa el 8,8 % del área de influencia del proyecto. A continuación, en el Cuadro 6.8. Parámetros geotécnicos del Suelo Zona-3.se presenta la caracterización de las Geoformas y luego su descripción respectiva.

Cuadro 6.18. Caracterización de las geoformas.

| UNIDAD DE PAISAJE DE PIEDEMONTES Y SUB-PAISAJE DE MESAS VOLCÁNICAS | | | | | | |
|--|---|--|---|---|-----------|-----|
| SÍMBOLO | GEOFORMA /CONDICIONES DE PENDIENTE | LITOLOGÍA | EDAD | BALANCE MORFODINÁMICO | ÁREA (HA) | % |
| MVC | Mesa Volcánica Cima. Asociación de relieves suavemente ondulado a ondulado. | Se caracteriza por la presencia de basaltos, andesitas, cenizas, tobas aglomeradas, y lavas. | Cuaternario del pleistoceno secundario | Asociación de bajo y moderado potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | 1.008 | 2,4 |
| MVE1 | Mesa Volcánica Escarpe. Asociación de relieves escarpado, y muy escarpado. | Está constituida por rocas como lutitas, areniscas, tobas, limolitas, areniscas con fósiles / también se caracteriza por la presencia de basaltos, /andesitas, cenizas, tobas aglomeradas y lavas. | Formación de origen sedimentario, que corresponde al Terciario Oligoceno/ Cuaternario del pleistoceno secundario. | Muy alto potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | 1.837 | 4,4 |
| MVE2 | Mesa Volcánica Escarpe Relieve ondulado. | | | Moderado potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | 809 | 1,9 |

– **Cima (MVC)**

Ocupa la posición alta de la Mesa. Está caracterizada por tener una asociación de relieves suavemente ondulados a ondulados, y tiene una asociación de moderado potencial morfológico por activación de procesos erosivos, que corresponde a las pendientes onduladas. No se observaron

Movimientos de Masa. Ocupan una superficie de 1.008 ha, lo que representa el 2,4 % del área de influencia del proyecto.

– **Escarpes (MVE)**

Escarpes con una asociación de relieves escarpado y muy escarpado (MVE1).

Están ubicadas en la parte alta de la Mesa, a continuación de la Cima. Tiene un potencial morfodinámico muy alto por activación de procesos erosivos, que corresponde a los relieves escarpados y muy escarpados. No se observaron Movimientos de Masa. Ocupan una superficie de 1.837 ha, lo que representa el 4,4 % del área de influencia del proyecto.

Escarpes con relieves ondulados (MVE2)

Ocupan las áreas bajas de la Mesas. Tiene un de potencial morfodinámico moderado por activación de procesos erosivos. No se observaron Movimientos de Masa. Ocupan una superficie de 809 ha, lo que representa el 1,9 % del área de influencia del proyecto (Figura 6.5).

Figura 6.5. Escarpe con relieves ondulados, escarpado y muy escarpados.



- **Sub-Paisaje de Glacis.**

Es un plano topográfico inclinado y suficientemente uniforme, como para constituirse en un aplanamiento local, cualquiera sea su origen y la naturaleza de su basamento geológico. Un Glacis siempre es inclinado, con pendientes muy variables. En el sentido transversal, en cambio las pendientes son casi nulas.

El plano inclinado del Glacis es entallado por los procesos de erosión, produciendo diferentes grados de disección, que da origen dos Geoformas, con diferentes pendientes y diferentes potenciales de morfodinámicos por activación de procesos erosivos, que se muestran en el Cuadro 6.19 y que a continuación se describen.

El Sub-Paisaje Glacis ocupa una superficie de 7.956 ha, lo que representa el 19,2 % del área de influencia del proyecto.

Cuadro 6.19. Unidad de paisaje de piedemonte y sub-paisaje de Glacis.

| UNIDAD DE PAISAJE DE PIEDEMONTE Y SUB-PAISAJE DE GLACIS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----------|-----|
| SÍMBOLO | GEOFORMA /CONDICIONES DE PENDIENTE | LITOLOGÍA | EDAD | BALANCE MORFODINÁMICO | ÁREA (HA) | % |
| G1 | Glacis conservado. Asociación de relieves de suavemente ondulado a ondulado | Se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, | Formación de origen sedimentario, que corresponde al Cuaternario antiguo medio. | Asociación de bajo y moderado potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | 3.993 | 9,6 |
| G2 | Glacis disectado. Asociación de relieves ondulado a suavemente ondulado | conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta. | | Asociación moderada y bajo potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | 3.963 | 9,6 |

— **Glacis conservado (G1)**

En el área de estudio está ubicado heterogéneamente en el paisaje de Piedemonte en el polígono del área de influencia del Proyecto. Está caracterizado por tener una asociación de relieves de suavemente ondulado a ondulado, lo cual es el resultado de un suave entalle del Glacis del cual aún se conservan pequeñas superficies originales planas. Tiene una Asociación de bajo a moderado

potencial de erosión morfodinámico, por activación de procesos erosivos. No se observaron Movimientos de Masa. Ocupan una superficie de 3.993 ha, lo que representa el 9,6 % del área de influencia del proyecto.

– **Glacis disectado (G2)**

El área de estudio está ubicada heterogéneamente en el paisaje de Piedemonte en el polígono del área de influencia del Proyecto. Está caracterizado por tener una asociación de relieves ondulados y suavemente ondulados, lo cual es el resultado de un moderado entalle del Glacis, y tiene una Asociación de moderado a bajo potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos. No se observaron Movimientos de Masa. Ocupan una superficie de 3.963 ha, lo que representa el 9,6% del área de influencia del proyecto. (Figura 6.6)

Figura 6.6. Entalle ondulado protegido de la erosión.



- **Sub-Paisaje de Lomas.**

Son relieves accidentados, que se caracterizan por presentar su base con dirección predominante y configuración alargada, y su figura se asocia al lomo de un animal. Las vertientes son simples convexo-cóncavas y las mismas son dominantes en los rangos ya definidos el Cuadro 6.3 y van desde 8% a 100%. A continuación, en el Cuadro 6.20 se presenta la caracterización de las geoformas, así como su descripción.

Cuadro 6.20. Caracterización de las geoformas.

| UNIDAD DE PAISAJE DE PIEDEMONTE Y SUB-PAISAJE DE LOMAS | | | | | | |
|--|--|---|---|---|-----------|-----|
| SÍMBOLO | GEOFORMA /CONDICIONES DE PENDIENTE | LITOLOGÍA | EDAD | BALANCE MORFODINÁMICO | ÁREA (HA) | % |
| L1 | Lomas con asociación de relieves ligeramente escarpados y ondulados | Está constituida por rocas como lutitas, areniscas, tobas, limolitas, areniscas con fósiles // También se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta | Formación de origen sedimentario, localizada en la parte norte y central del Polígono, corresponde al Terciario Oligoceno// Formación de origen sedimentario, y se ubica dispersa por todo el Polígono, corresponde al Cuaternario reciente | Asociación de alto y moderado potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | 1.796 | 4,7 |
| L2 | Lomas con asociación de relieves muy escarpados, escapados y ondulados | Está constituida por rocas como lutitas, areniscas, tobas, limolitas, areniscas con fósiles// Se caracteriza por la presencia de basaltos/andesitas, cenizas, tobas aglomeradas y lavas// También se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta | Formación de origen sedimentario, localizada en la parte norte y central del polígono, corresponde al Terciario Oligoceno/ Cuaternario del pleistoceno secundario// Formación de origen sedimentario, y se ubica dispersa por todo el Polígono, corresponde al Cuaternario reciente | Asociación de muy alto, alto y moderado potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | 2.352 | 6,1 |

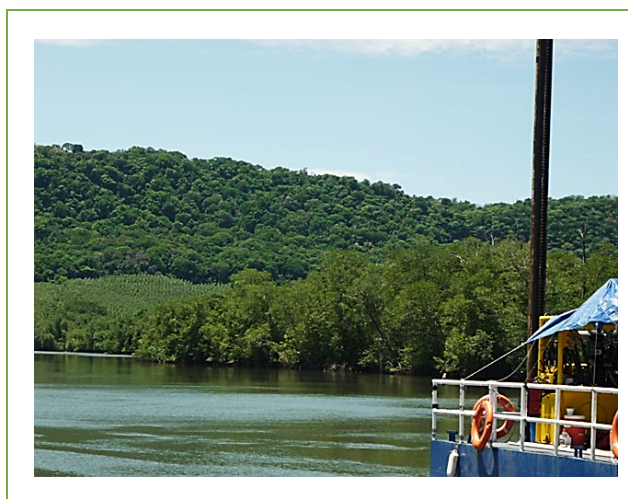
Ocupan una superficie de 4.148 ha, lo que representa el 10 % del área de influencia del proyecto. Estas unidades están morfodinámicamente estabilizadas por la vegetación de bosque que las protege de la erosión; sin embargo, tienen un potencial morfodinámico en asociaciones, con un rango desde muy alto hasta moderado potencial de erosión para todas las geoformas de loma.

– **Lomas con asociación de relieves ligeramente escarpados y ondulados (L1)**

Está caracterizada por tener una asociación de relieves de ligeramente escarpado y ondulado; tiene una asociación de alto y moderado potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos.

La litología de las geoformas de este Sub-Paisaje corresponde a rocas como lutitas, areniscas, tobas, limolitas, areniscas con fósiles. También, se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, manglares, corales, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta. No se observaron Movimientos de Masa. Ocupan una superficie de 1.796 ha, lo que representa el 4,3 % del área de influencia del proyecto.

Figura 6.7. Geoformas de canal de marca, Shorre y Lomas.



– **Lomas con asociación de relieve muy escarpados, escarpados y ondulados (L.2)**

Está caracterizada por tener una Asociación relieves de escarpados, ligeramente escarpado y ondulado, de igual manera con una asociación de muy alto, alto y moderado potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos. La litología de las geoformas de este Sub-Paisaje corresponde a lutitas, areniscas, tobas, limolitas, areniscas con fósiles. También se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta. No se observaron Movimientos de Masa. Ocupan una superficie de 2.352 ha, lo que representa el 5,7 % del área de influencia del proyecto.

• **Paisajes de valles.**

Los Valles son depresiones alargadas por las cuales se escurren o se han escurrido un curso de agua. En el espacio de estudio ocupa una superficie de 3.023 ha, lo que representa el 7,2 % del área de influencia del Proyecto. En el Sub-Paisaje Valle existen dos geoformas: Valle del Río Chiriquí,

Valles de los ríos Chorcha y Corrales, y los Valles de disección del Glacis. A continuación, en el Cuadro 6.21 se caracterizan los Valles identificados, antes mencionados

Cuadro 6.21. Unidades cartográficas paisaje de valles.

| UNIDADES CARTOGRÁFICAS PAISAJE DE VALLES | | | | | | | |
|--|---|------------------------------------|--|--|---|-----------|-----------|
| SÍMBOLO | SUB-PAISAJE | GEOFORMA /CONDICIONES DE PENDIENTE | LITOLOGÍA | EDAD | BALANCE MORFODINÁMICO | ÁREA (HA) | % |
| V1 | Valle del Río Chiriquí | Plano | Se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta. | Formación de origen sedimentario, que corresponde al Cuaternario reciente. | Sin potencial de erosión y sin potencial de inundación. No se observaron Movimientos en Masa. | 3.023 | 7,9 |
| No aplica | Valles de los ríos Chorcha y Corrales (no mapeable) | Ondulados | | | Sin potencial de inundación, con moderados potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | No aplica | No aplica |
| No aplica | Valles de Glacis (no mapeable) | Ondulado | | | Alto potencial de inundación, con moderados potencial de erosión. No se observaron Movimientos en Masa. | No aplica | No aplica |

- **Valle del río Chiriquí (V1).**

Corresponde al Valle determinado por el río Chiriquí que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto, siendo predominantemente en área de Glacis, pero condicionado por la dinámica fluvial, hasta llegar al complejo pantanoso del estuario. Es un medio de acumulación, de fondo plano, su balance morfodinámico está definido por los procesos de inundación, sin potencial de erosión, tiene un régimen de escorrentía permanente, tiene periodos de inundación superiores a una vez cada cinco años y sedimentológico torrencial, este último atributo se evidencia en los materiales gruesos que se observan en su lecho y en los suelos. En la Figura 6.8, se muestra el contacto entre los sedimentos aluviales, totalmente deforestados y los sedimentos marinos con Manglar. No se observaron Movimientos de Masa. Ocupa una superficie de 3.023 ha, lo que representa el 7,2 % del área de influencia del Proyecto.

Figura 6.8. Transición sedimentos aluviales y marinos.



- **Valles de los ríos Chorcha y Corrales (No mapeables).**

Estos valles predominando en el Paisaje de Glacis, son estrechos no mapeables, con régimen de escurrimiento permanente de los ríos y su fondo es inundable con la frecuencia de una vez en periodos mayores a cinco años. No se observaron Movimientos de Masa.

- **Valles de Glacis (No mapeables).**

Son Valles de disección del glacis, no son mapeables en el área de estudio; son estrechos y numerosos, ocupan las áreas correspondientes a las pendientes onduladas de la geoforma, tienen fondo estrecho, y sometido a inundaciones frecuentes en el fondo. No se observaron Movimientos de Masa.

- **Paisajes de estuario.**

El paisaje Estuario del rio Chiriquí es una Planicie costera, y está controlado tanto en su morfogénesis como en su morfodinámica, por los cambios en la línea costera y las geoformas presentes. En los ambientes sedimentarios que se desarrollan en este Estuario, ocupa una superficie de 19.642 ha, lo que representa el 47,4 % del área de influencia del Proyecto. Se identifican dos Sub-Paisajes o Sistemas deposicionales: el Complejo de sedimentario de cordón litoral y el Complejo de sedimentario de pantano, en el cual es obvio que no ocurren movimientos de masa

por ser un medio deposicional. A continuación, se describen los Sub-Paisajes y geoformas correspondientes:

- **Sub-Paisaje complejo sedimentario cordón litoral.**

Está ubicado hacia el Océano Pacífico, donde se encuentran dos Geoformas relacionadas con la dinámica litoral: Playas y Grao. Los aportes de sedimentos en este Complejo están dominados por el oleaje, corrientes, y mareas. Los sedimentos tienden a ser más gruesos que el limo, debido a que es un sistema de alta energía, producto del sistema de transporte, corrientes litorales, y las olas. Ocupan una superficie de 675 ha, lo que representa el 1,2% del área de influencia del proyecto. La desembocadura del río Chiriquí, es la principal fuente de sedimentos para el Estuario, los cuales son transportados por las corrientes marinas paralelas a la costa, con dirección Noroeste a Sureste; dicha desembocadura se encuentra ubicada a 15.174 m del Grao, medidos por la costa. La Figura 6.9 a continuación presenta las geoformas del área, y en el Cuadro 6.22 que le sigue, sus características.

Figura 6.9. En primer plano el Complejo sedimentario de cordón litoral: Playa (P) y Grao (G). En segundo plano Complejo Sedimentario Pantano: Laguna costera (Bahía de Muertos), Canales de Marea (Cm), Schorre (Sc), Slikke (Sl) y Lomas relicto (Lr)



Cuadro 6.22. Unidad de paisaje estuario y sub-paisaje complejo cordón litoral.

| UNIDAD DE PAISAJE ESTUARIO Y SUB-PAISAJE COMPLEJO CORDON LITORAL | | | | | | |
|--|------------------------------------|---|---|--|-----------|-----|
| SÍMBOLO | GEOFORMA /CONDICIONES DE PENDIENTE | LITOLOGÍA | EDAD | BALANCE MORFODINÁMICO | ÁREA (ha) | % |
| P | Playas | Se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta | Formación de origen sedimentario, que corresponde al Cuaternario reciente | Alto potencial morfodinámico | 429 | 1,1 |
| G | Grao | No aplica | Cuaternario reciente | Muy alto potencial por erosión hidrodinámica en el fondo | 246 | 0,1 |

– **Playas (P)**

Acumulación en el borde del mar de materiales más gruesos que limo. En el caso de este estudio, la Playa se apoya sobre dos relieves relictos; y tiene una pequeña grada que es visible durante la marea baja. Se caracteriza por presentar un balance morfodinámico alto, por las variaciones que ocurre el balance de erosión y progradación o acumulación. Ocupan una superficie de 429 ha, lo que representa el 1,1 % del área de influencia del proyecto.

– **Grao (G)**

Es la zona donde se interrumpe la continuidad del Cordón litoral, a través de la cual penetra la marea a la Laguna, en el sitio denominado localmente Boca Brava; su ancho es de 1.671m y su profundidad es de -46 m. Este componente del sistema es importante por cuanto, a través de él y la entrada de Boca Chica, se realiza al intercambio de agua entre el Estuario y el Océano Pacífico. Se considera alto el balance morfodinámico, debido a que, en él, se presentan las mayores profundidades que registra la batimetría, lo cual es el resultado del flujo y reflujo de las mareas. Ocupan una superficie de 245 ha, lo que representa el 0,1% del área de influencia del proyecto.

- **Sub-Paisaje Complejo sedimentario de pantano.**

Está constituido por terrenos bajos, asociados a la Planicie costera y bajo la influencia de las mareas. El Complejo esta colonizado casi en su totalidad por vegetación de Manglares, y es atravesado por otros ambientes deposicionales como el rio Chiriquí, el cual posee una desembocadura por la playa desde del Grao del Estuario, mediante un difluente del mismo rio. Este ramal entra directamente al estuario, y se continua con el canal de marea de nombre local Estero Tranquilla, el cual luego cambia de nombre a Estero Cabrito. En este Canal de marea se dragará el futuro canal de navegación, para el acceso al Puerto del proyecto.

Como ya se mencionó, la desembocadura del rio Chiriqui, es la principal fuente de sedimentos para el estuario, los cuales son transportados por las corrientes marinas paralelas a la costa, con dirección con dirección Noroeste a Sureste. Los ríos Chorchá y Corrales, desembocan directamente en el pantano a través de canales de marea que reciben los nombres de Estero de Chorchá y Estero de Ajo, siendo ambos relevantes por sus aportes de agua dulce al ecosistema del estuario. Ocupan una superficie de 19.634 ha, lo que representa el 49,4 % del área de influencia del proyecto.

Finalmente se resalta que en el Sub-Paisaje de Complejo Sedimentario de Pantano, la granulometría es de limos y arcillas, y los procesos de deposición son de baja energía y poca circulación. En el mismo se identifican las geoformas Canales de marea, Laguna costera, Schorre, Slikke y Lomas relictos. Es de destacar que los Canales de marea y la Laguna son cuerpos de agua, pero forman parte esencial de la dinámica de intercambio de agua en el Complejo de pantano. A continuación, se presenta en el Cuadro 6.23, la caracterización de las geoformas y luego su descripción.

Cuadro 6.23. Caracterización de geoformas.

| UNIDAD DE PAISAJE ESTUARIO Y SUB-PAISAJE COMPLEJO SEDIMENTARIO DE PANTANO | | | | | | |
|---|------------------------------------|--------------------|--|--|-----------|-----|
| SÍMBOLO | GEOFORMA /CONDICIONES DE PENDIENTE | LITOLOGÍA | EDAD | BALANCE MORFODINÁMICO | ÁREA (ha) | % |
| Cm | Canales de marea | Sedimentos marinos | Formación de origen sedimentario, que corresponde al | Inundaciones permanentes con las mareas, genera depósitos de limo en el área convexa de los meandros y procesos erosivos locales en: las áreas cóncavas de los meandros y en el fondo del canal, lo que determina que sean | 2.341 | 5,6 |

| UNIDAD DE PAISAJE ESTUARIO Y SUB-PAISAJE COMPLEJO SEDIMENTARIO DE PANTANO | | | | | | |
|---|---|---|---|--|-----------|------|
| SÍMBOLO | GEOFORMA /CONDICIONES DE PENDIENTE | LITOLOGÍA | EDAD | BALANCE MORFODINÁMICO | ÁREA (ha) | % |
| | | | Cuaternario reciente | de bajo potencial morfodinámico. | | |
| Lc | Laguna costera | | | Permanentemente inundadas, y sin potencial de erosión, es decir de bajo potencial morfodinámico | 5.741 | 13,8 |
| Sc | Schorre | | | Permanentemente inundada y sin potencial de erosión, con bajo potencial morfodinámico | 10.114 | 24,4 |
| Sl | Slikke | | | Inundadas por las mareas diarias, son depósitos de limo en canales de marea, sin potencial de erosión (Bajo potencial morfodinámico) | 163 | 0,4 |
| Lr | Lomas relictos con asociación de relieves muy escarpados y escarpados | Está constituida por rocas como lutitas, areniscas, tobas, limolitas, areniscas con fósiles// También se caracteriza por la presencia de aluviones, sedimentos consolidados, areniscas, corales, manglares, conglomerados lutitas carbonosas, y deposiciones tipo delta | Formación de origen sedimentario, localizada en la parte norte y central del Polígono, corresponde al Terciario Oligoceno// Formación de origen sedimentario, y se ubica dispersa por todo el Polígono, corresponde al Cuaternario reciente | Asociación de muy alto y alto potencial morfogenético por procesos erosivos. | 609 | 1,5 |

– Canales de marea (Cm)

Canal de marea es cualquier hendidura longitudinal, por la cual fluye agua predominantemente por la acción de la marea, sus rasgos más significativos es que ejercen control fundamental sobre la hidrodinámica de las planicies y determinan la cantidad de flujo de agua que llega a los distintos lugares en dichas planicies. El origen y mantenimiento de los Canales depende de la acción de las corrientes, y de las mareas, y en general están poco influenciados por el escurrimiento de los tributarios terrestres, que suministran el agua dulce. Los canales varían de tamaño en el Estuario, siendo significativamente en este caso, de mayores dimensiones en la boca del contacto con la

Bahía, y considerablemente más pequeños en la cabecera, en el sistema de posicionamiento del Pantano, llegando su influencia, hasta donde ocurre la presencia de Mangle. El conjunto de los canales de este estuario, se considera un sistema interconectado de Canales de marea. Los Canales de marea en el área del estudio presentan meandros, que están en un equilibrio dinámico, produciendo procesos de erosión en el área cóncava del meandro y depósitos en el área convexa, por esta razón de acuerdo con la Batimetría (**Anexo 9a y b. Batimetría del Canal de Acceso**), tienden a ser más profundos en el área cóncava del meandro, y más someros en el lado opuesto. Están permanentemente inundados por la acción de las mareas, y localmente se denominan esteros. Ocupan un área de 2.341 ha y el 5,6 % del área de influencia del proyecto.

– **Laguna costera (Lc)**

Es un cuerpo de agua salada permanentemente, acumulada en zonas de depresión, que se caracterizan por tener comunicación permanente con el Océano Pacífico a través de un Grao, y por estar separadas del Océano Pacífico por Playas. Corresponde a un cuerpo de agua como un medio de deposición, y se identifica localmente como la Bahía de Muertos. Ocupa un área de 5.741 ha y el 13,5 % del área de influencia del proyecto.

– **Schorre (Sc)**

Se corresponde a Limos depositados por las mareas, colonizados por la vegetación y solo recubiertos por breves intervalos; en el área de estudio la vegetación es de Manglar. Cubren junto con la Laguna la mayor parte del área de estudio en el Estuario; están ubicados en las Islas formadas por Canales de marea, y tienen frecuentemente lomas relictas. Están permanentemente inundados y sin potencial de erosión, por estar estabilizados por la vegetación de Manglares. Ocupan un área de 10.114 ha y el 24,4 % del área de proyecto.

– **Slikke (Sl)**

Son geoformas constituidas por Limos depositados por las mareas poco o no colonizados por la vegetación, y recubiertas con aguas salobres varias horas durante cada marea. Se encuentran ubicados en la porción cóncava de los meandros de los Canales de marea, y en los lugares en donde ellos se bifurcan, resaltándose que muchas áreas de estas geoformas no son mapeables. Dichas

geoformas se inundan por las mareas diarias, sin potencial de erosión. Ocupan un área de 163 ha y el 0,4 % del área de proyecto.

– **Lomas relictas (Lr)**

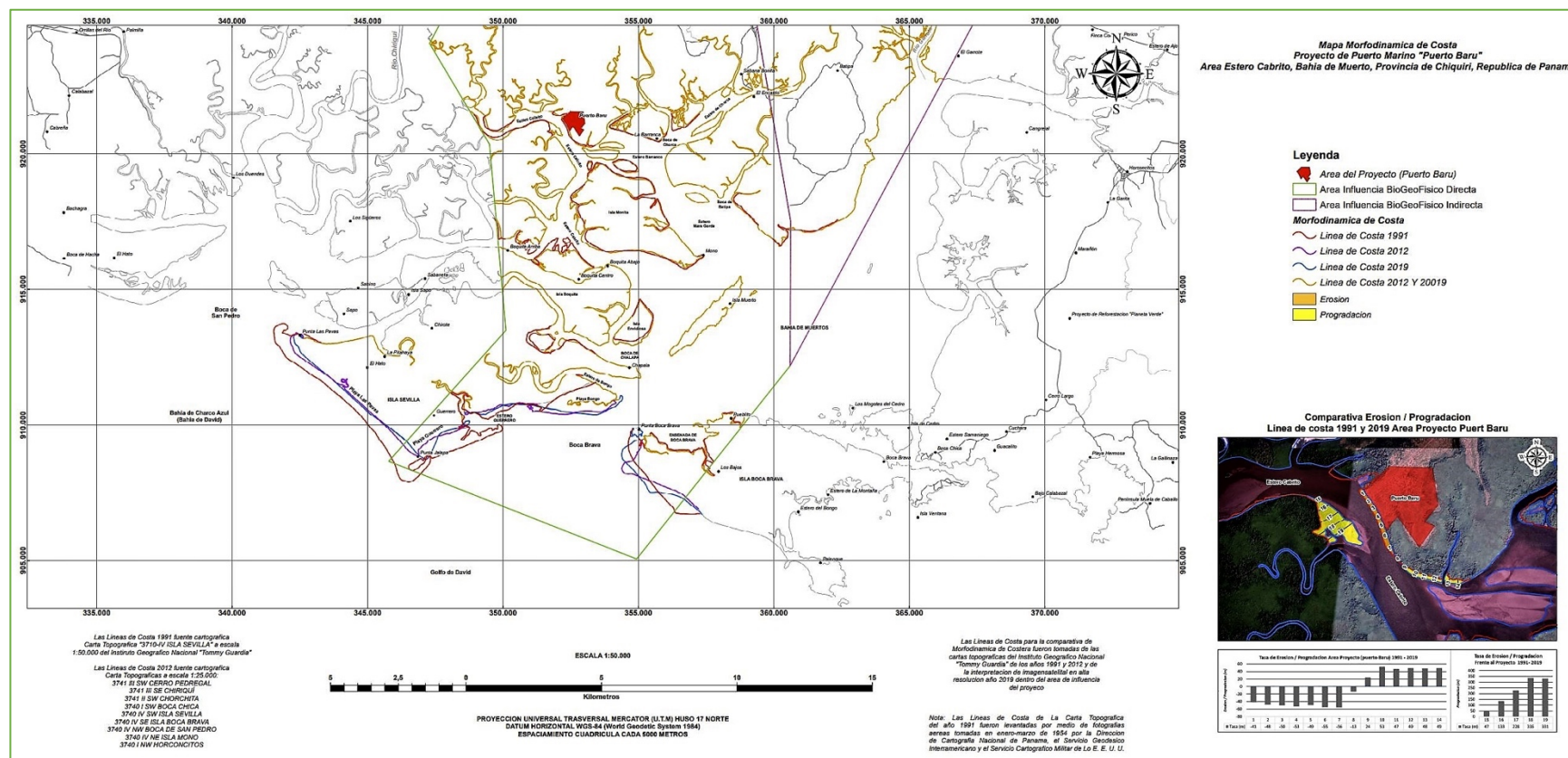
Son restos testigos de relieves que aparecen de manera discontinua en el Complejo sedimentario de pantano, por lo general en forma de Lomas. Se infiere que estos relictos sirvieron de freno a las corrientes, permitiendo depositar los Limos en el área aledaña a ellos. Por lo general no son mapeables a la escala del estudio. Están caracterizados por tener una asociación de relieve muy escarpado y escarpado; su potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos. es una asociación de muy alto y alto. El relikto más relevante es la Isla de Muerto ubicada en la Laguna costera. Ocupan una superficie de 609 ha, lo que representa un 1,5 % del área de influencia del proyecto.

- **Morfodinámica de costas de playas (1991 – 2019).**

Criterios de definición de Tramos y Zonas.

Para el análisis de este ítem se utilizó el siguiente procedimiento: Una vez hecha geometría de la geoforma Playa en el Complejo Sedimentológico del Cordón Litoral, se estableció que cada una de las unidades delimitadas, constituye una unidad geográficamente definida y sedimentológica funcional, que se denominó Tramo. Dentro de cada Tramo, se ubicaron puntos, y a partir ellos se trazaron líneas perpendiculares a la costa y paralelas entre ellos, a partir de ese trazado; se obtuvieron un conjunto de áreas que se denominan Zonas, que son similares en cuanto a los procesos de erosión y/o progradación. A continuación, se describen los Tramos identificados y sus Zonas, y en el Mapa de Morfodinámica Costera, donde se ubican los Tramos y las Zonas, facilitando al lector su ubicación y dinámica de manera integral, así como su representación cartográfica.

Mapa 6.3. Morfodinámica costera.



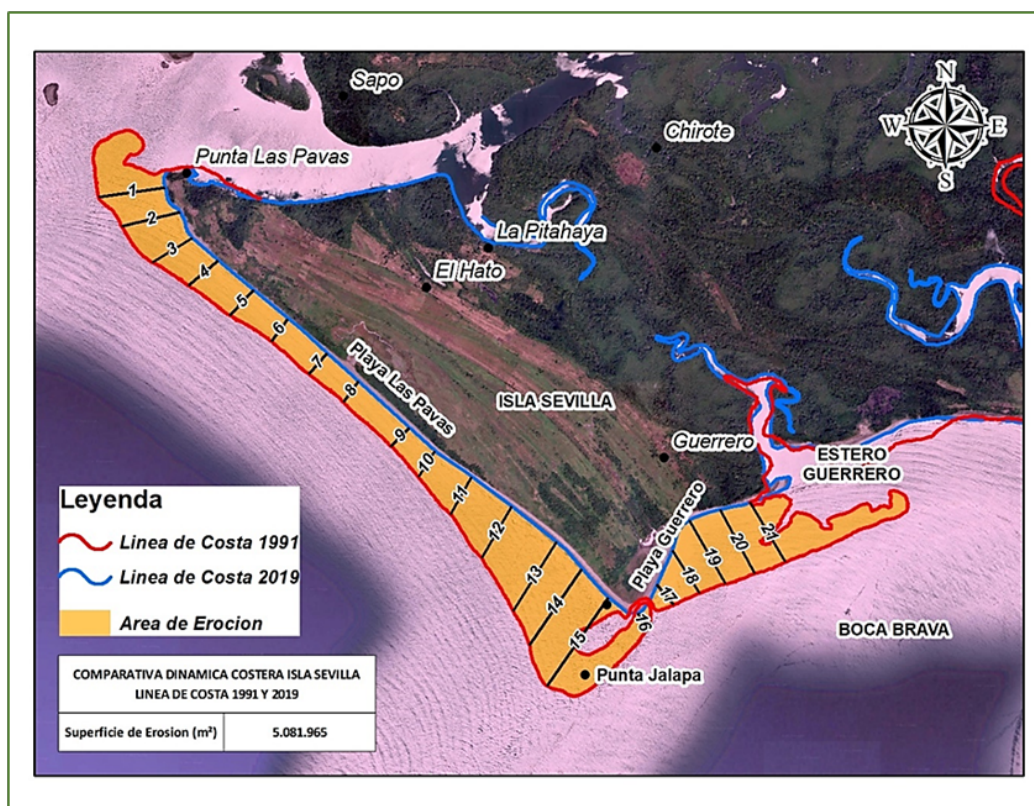
Fuente: Equipo Consultor, 2022.

Tramo 1. Costa de la playa entre Punta Las Pavas y Estero Guerrero.

- **Análisis del balance para el periodo 1991 – 2019.**

Corresponde a la Isla Sevilla, que está ubicada entre Punta Las Pavas y Estero Guerrero, y se caracteriza por tener procesos de erosión generalizados en todo el frente al Océano Pacífico. Haciendo una comparativa de esta dinámica en la línea de costa durante el periodo marcado, las áreas por zonas de erosión y progradación ponen en evidencia tal proceso al revelar una superficie de erosión de 5.081.965 m³. La Figura 5.10 muestra la ubicación de las Zonas y Tasas de erosión/progradación para el periodo 1991-2019.

Figura 5.10. Zonas y tasas de erosión / progradación para el periodo 1001-2019.



En el Tramo se presentan dos Zonas, que a continuación se describen:

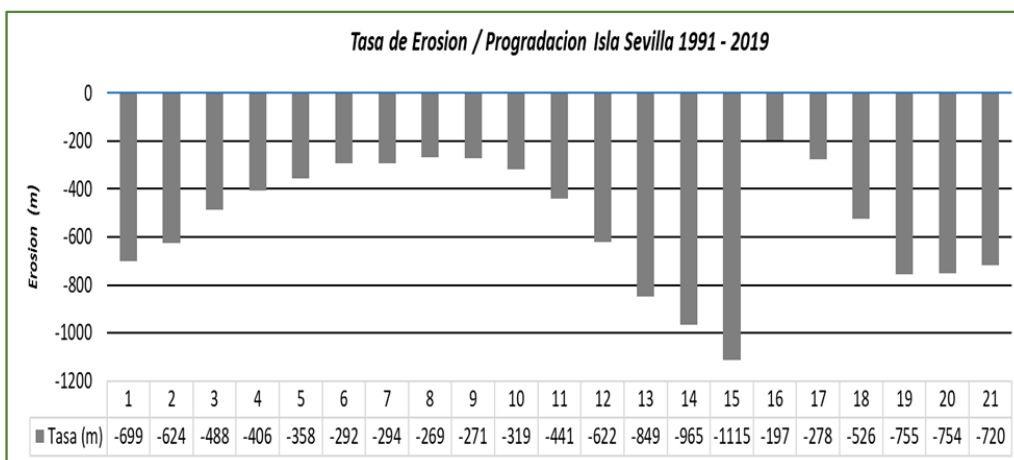
– **Zona A**

Está ubicado entre Punta Las Pavas y Punta Jalapa, se caracteriza por presentar los mayores procesos erosivos en sus extremos, con rangos entre 699 m en Boca San Pedro y 1.115 m en Punta Jalapa; en el área central los valores se reducen hasta llegar a un mínimo de 269 m (Gráfica 5.3).

– **Zona B**

Está ubicado entre Punta Jalapa y el Estero Guerrero, corresponde a Playa Guerreo, y se caracteriza por presentar valores de erosión crecientes, con un valor mínimo de unos 197 m en Punta Jalapa y un máximo de 754 m frente al Estero Guerrero (Gráfica 5.3).

Gráfica 5.3. Tasa de Erosión / Progradación Isla Sevilla (1991-2019).



Los valores entre los Puntos del 1 al 15 corresponden a la Zona A, y del Punto 16 al 21 corresponden a la Zona B.

Como conclusión se puede indicar que para el lapso 1991 – 2019 el Tramo 1, correspondiente a la geoforma de Playa en Isla Sevilla ha tenido una disminución de 508 ha en su superficie por procesos erosivos, en dicho periodo, haciendo la salvedad de que, la Carta de 1991 se elaboró con fotos de 1954.

- **Análisis del balance para el período 2012 – 2019.**

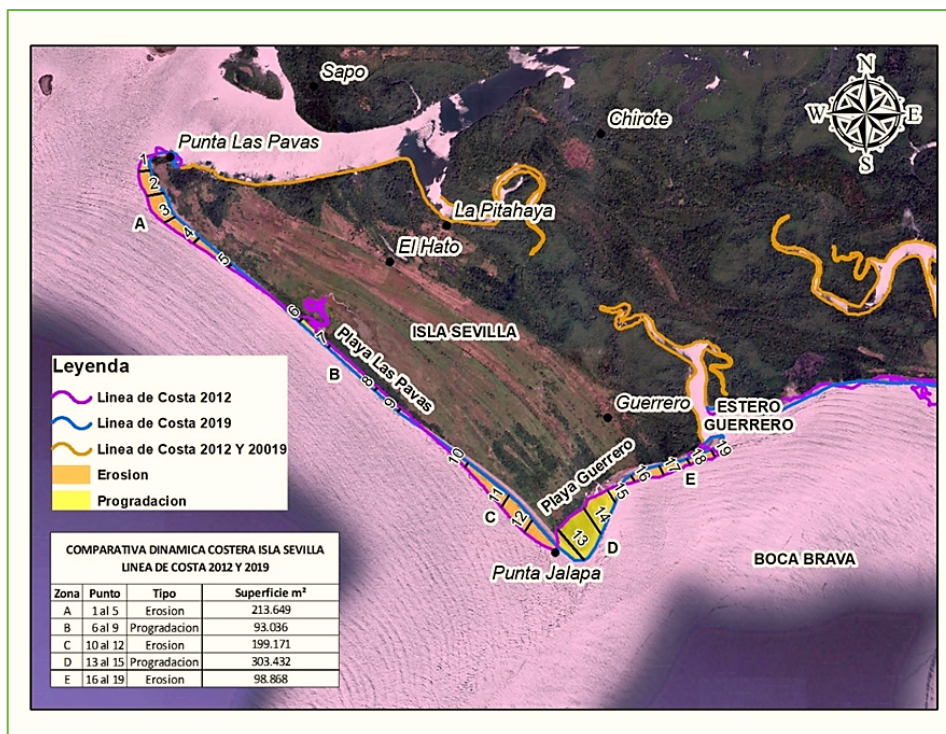
El periodo 1991-2019 analizado anteriormente, muestra un proceso de erosión generalizado; ahora, este periodo 2012-2019 muestra sectores con procesos combinados de erosión y progradación, tal cual lo expresa el Cuadro 6.24 a continuación.

Cuadro 6.24. Comparativa de dinámica costera Isla Sevilla 2012 y 2019

| COMPARATIVA DE DINAMICA COSTERA ISLA SEVILLA 2012 Y 2019 | | | |
|--|----------|--------------|---------------------------|
| Zona | Puntos | Tipo | Superficie m ² |
| A | 1 al 5 | Erosión | 213.649 |
| B | 6 al 9 | Progradación | 93.036 |
| C | 10 al 12 | Erosión | 199.171 |
| D | 13 al 15 | Progradación | 303.432 |
| E | 16 al 19 | Erosión | 98.868 |

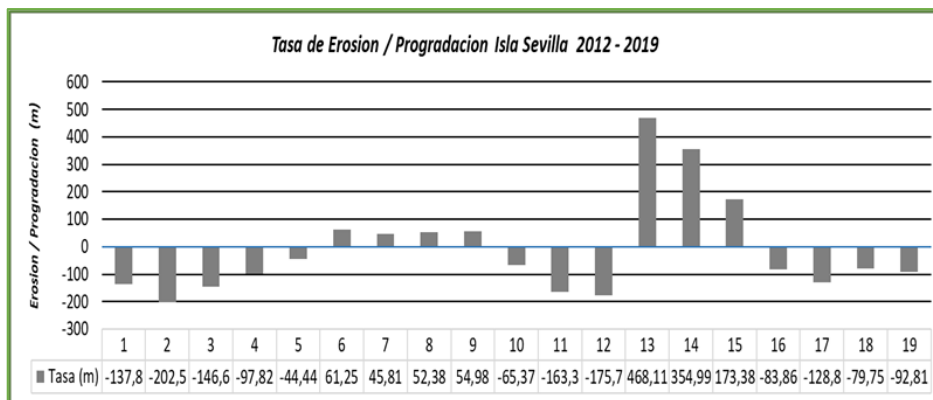
La Figura 6.11 se plasma claramente la ubicación de las Zonas y Tasas de erosión/progradación en el Tramo 1 de para este periodo.

Figura 6.11. Ubicación de las zonas y tasa de erosión/progradación – Tramo 1.



A partir de el Cuadro 6.24 y la Gráfica 6.4 se muestran las Tasas de erosión/ progradación en la Isla Sevilla. Los valores entre los Puntos del 1 al 5 corresponden a la Zona A, del punto 6 al 9 corresponden a la Zona B, del Punto 10 al 12 a la Zona C, del Punto 13 al 15 a la Zona D, y del Punto 16 al 19 a la Zona E. A continuación, la Gráfica 6.4.

Gráfica 6.4. Tasa de erosión / progradación Isla Sevilla (2012-2019)



En la gráfica se observa que la mayor zona de progradación, de 498 m (300.432 m²), ocurre en la Zona D, que comienza en el Punto 13 correspondiente a Punta Jalapa, área en la cual se inicia geográficamente Boca Brava.

En el Tramo se presentan cinco Zonas, que se describen a continuación:

– **Zona A**

Se caracteriza por presentar una dominancia de los procesos erosivos con rango de valores, de 44 m en Punto 5 hasta 203 m; en el Punto 2, la superficie erosionada es de 213.649 m². Gráfica 6.4

– **Zona B**

Consiste en una progradación con rangos de valores de 46 m (Punto 7), y 61 m (Punto 6), donde hubo una ganancia de superficie de 92.036 m². Gráfica 6.4

– **Zona C**

Corresponde a un área de erosión, con rangos de valores de 63 m (Punto 10), y 176 m (Punto 12), y tuvo una pérdida de superficie de 199.171 m². Gráfica 6.4

– **Zona D**

Consiste en una progradación, con rangos de valores de 173 m (Punto 15), y 468 m (Punto 13), y hubo una ganancia de superficie de 303.432 m². Gráfica 6.4

– **Zona E**

Corresponde a un área con predominio de la erosión, con un rango de desplazamiento de la costa entre 80 m (Punto 18), y 129 m (Punto 17), con una pérdida de 98.618 m². Gráfica 6.4

Como conclusión del balance progradación/erosión para el Tramo 1, en el periodo 2012 – 2019 se destaca que el balance es dominado por la erosión (511.688 m²), según lo que se mostró en el Cuadro 6.24 y existe un importante aumento de los procesos de progradación para el periodo 2012-2019, con 396.488 m², mientras que las zonas de erosión sumaron 311.688 m², con pérdida de superficie de 84.780 m².

Por otra parte, tal como ya se indicó en el periodo 2012 – 2019, se demuestra la presencia de zonas con erosión y progradación, lo cual sugiere que las costas del sector están evolucionando, con un equilibrio relativamente dinámico.

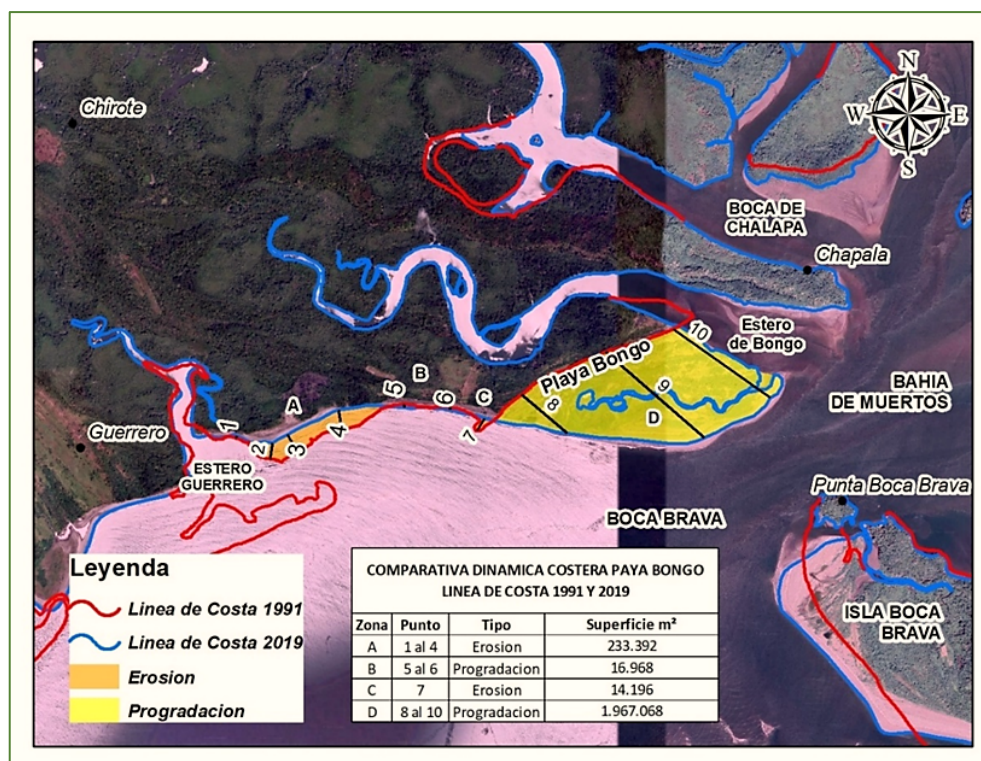
Tramo 2. Costas de Playa Bongo.

- **Análisis del balance para el periodo 1991 – 2019.**

El tramo está ubicado entre el Estero de Guerrero y Estero Bongo. Es un tramo que tiene un comportamiento mixto, en lo referido al balance de los procesos erosión y progradación, que son mostrados en la Figura 6.12, el Cuadro 6.25 y la Gráfica 6.5.

La Figura 6.12 muestra la ubicación de las Zonas y Tasas de erosión/progradación.

Figura 6.12. Zonas y tasas de erosión / progradación



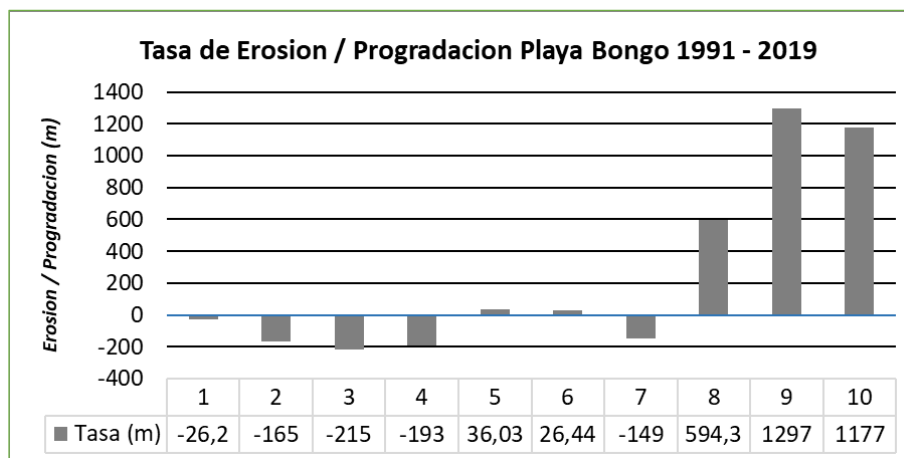
Entre tanto, el Cuadro 6.25 a continuación muestra las áreas por zonas de erosión y progradación para el mismo periodo.

Cuadro 6.25. Comparativa de dinámica costera playa Bongo 1991 a 2019.

| COMPARATIVA DE DINAMICA COSTERA PLAYA BONGO 1991 a 2019 | | | |
|---|---------|--------------|---------------|
| Zona | Puntos | Tipo | Superficie m² |
| A | 1 al 4 | Erosión | 233.392 |
| B | 5 al 6 | Progradación | 16.968 |
| C | 7 | Erosión | 14.196 |
| D | 8 al 10 | Progradación | 1.967.068 |

En la Gráfica 6.5 se presentan las Tasas de erosión y progradación en Playa Bongo mencionada para el periodo 1991 a 2019. Los valores entre los Puntos del 1 al 4 corresponden la Zona A, los Puntos 5 y 6 corresponden la Zona B, el Punto 7 corresponde a la Zona C, y del Punto 8 al 10, corresponden a la Zona D.

Gráfica 6.5. Tasa de erosión / progradación Playa Bongo (1991-2019).



Los rasgos de las cuatro Zonas identificadas pueden describirse como sigue:

– **Zona A.**

Se caracteriza por presentar una dominancia de los procesos erosivos, con de rango valores de 26 m en el Punto 1, hasta 215 en el Punto 3, y la superficie erosionada es de 233.392 m². Gráfica 6.5

– **Zona B**

Predomina una progradación con valores con un rango de 36 m (Punto 5), a 26 m (Punto 6), con una ganancia de superficie de 16.968 m². Gráfica 6.5

– **Zona C**

Corresponde a un área de erosión (Punto 7), que tiene 149 m, con una pérdida de superficie de 14.196 m². Gráfica 6.5

– **Zona D**

Es el límite Este del Grao, que corresponde a un área con predominio de la progradación, con un rango de desplazamiento de la costa entre 594 m (Punto 8), y 1.297 m (Punto 9), con una ganancia de 1.961.068 m². La predominancia de la progradación tiende a formar una barra, que eventualmente puede cerrar el Grao. Gráfica 6.5

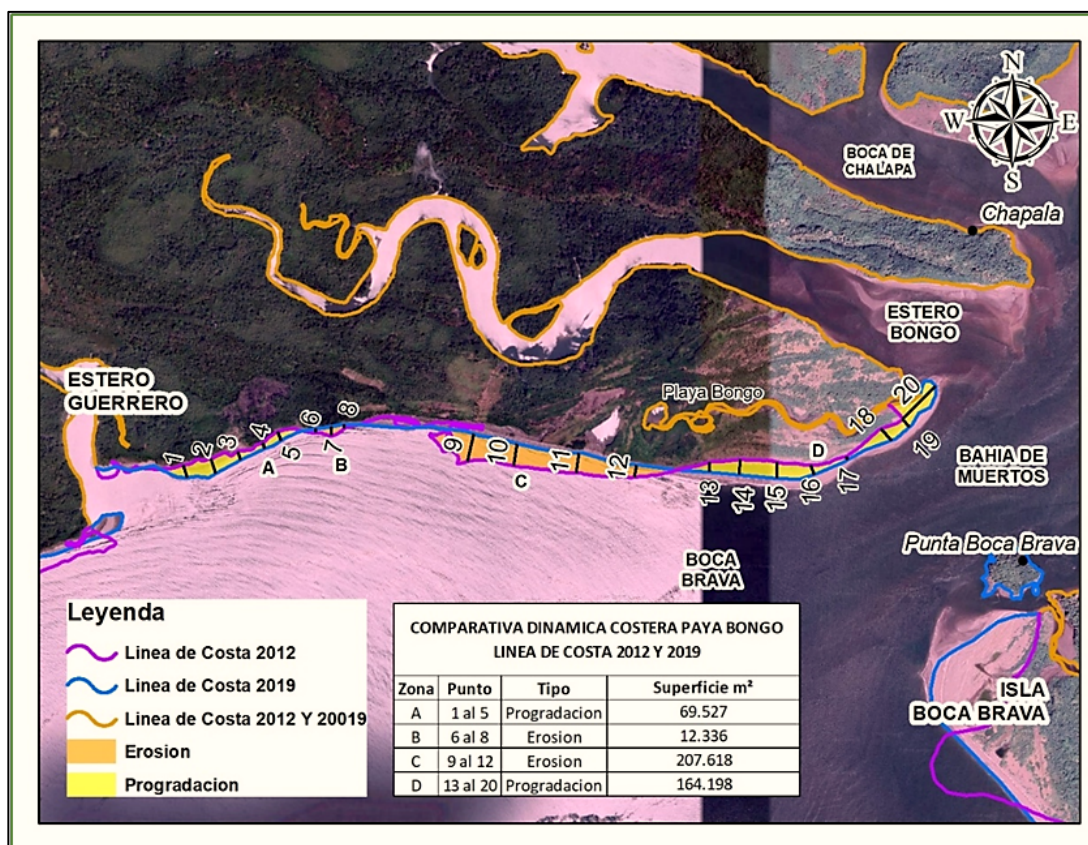
Como conclusión es de resaltar que para este periodo 1991- 2019, existe un importante aumento de los procesos de progradación con 1.984.036 m², mientras que las zonas de erosión sumaron 247.588 m², con un balance de ganancia de superficie de 1.736.448 m².

- **Análisis del balance para el periodo 2012 – 2019.**

En los periodos 1991-2019, y 2012-2019 analizados, se muestran procesos combinados de erosión/progradación. Cuadro 6.26, Figura 6.13 y Gráfica 6.6.

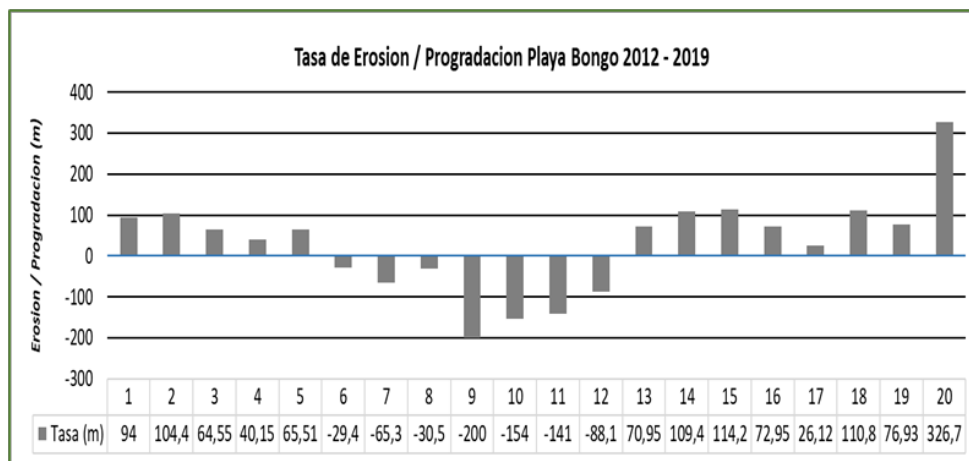
En la Figura 6.13, que sigue, se muestra la ubicación de las Zonas y Tasas de erosión/ progradación en el Tramo 2 de para el periodo 2012-2019.

Figura 6.13. Zonas y tasas de erosión / progradación – Tramo 2.



La Gráfica 6.6 muestra las tasas de erosión y progradación en Playa Bongo para el periodo trazado. Los valores entre los Puntos del 1 al 5 corresponden la Zona A, los Puntos 6 al 8 corresponden la Zona B, del Punto 9 al 12 corresponden a la Zona C, y del Punto 13 al 20, corresponden a la Zona D.

Gráfica 6.6. Tasa de erosión / progradación Playa Bongo 2012-2019.



El Cuadro 6.26 siguiente, presenta la dinámica comparativa costera de Playa Bongo para el periodo de estudio.

Cuadro 6.26. Comparativa de dinámica costera de Playa Bongo (2012 a 2019)

| COMPARATIVA DE DINAMICA COSTERA PLAYA BONGO 2012 A 2019 | | | |
|--|----------|--------------|---------------|
| Zona | Puntos | Tipo | Superficie m² |
| A | 1 al 5 | Progradación | 69.527 |
| B | 6 al 8 | Erosión | 12.336 |
| C | 9 al 12 | Erosión | 207.618 |
| D | 13 al 20 | Progradación | 164,198 |

Las cuatro Zonas identificadas en el tramo para este periodo son:

– **Zona A**

Consiste en una progradación con un rango de valores de 40 m (Punto 4), y 104 m (Punto 2), donde hubo una ganancia de superficie de 69.527 m². Gráfica 6.6

– **Zona B**

Corresponde a un área de erosión, con valores en un rango de 29 m (Punto 6), a 65 m (Punto 9), con una ganancia de superficie de 12.336 m². Gráfica 6.6

– **Zona C**

Corresponde a un área de erosión, con rangos de valores entre 88 m (Punto 12), a 200 m (Punto 9), con una ganancia de superficie de 207.618 m². Gráfica 6.6

– **Zona D**

Corresponde a un área de Progradación con valores en un rango de 26 m (Punto 17), a 326 m (Punto 20), con una ganancia de superficie de 164.198 m². Gráfica 6.6

Como conclusión el balance de progradación y erosión para el Tramo, en este periodo los procesos de progradación son de unos 233.725 m², mientras que las zonas de erosión sumaron 219.954 m², con ganancia de superficie de 13.771 m².

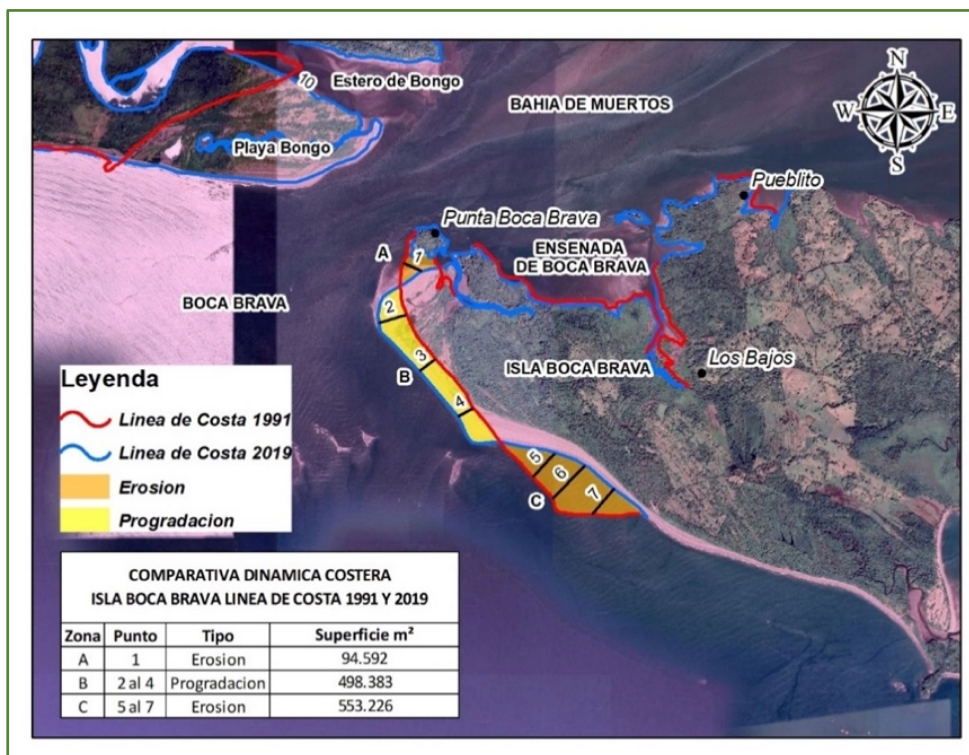
Tramo 3. Costa de playa de Isla Boca Brava.

- **Análisis del balance para el periodo 1991 – 2019.**

El análisis muestra un comportamiento mixto, con áreas de erosión y progradación donde se encuentran tres Zonas bien definidas en la Figura 6.14, descritas en el Cuadro 6.27.

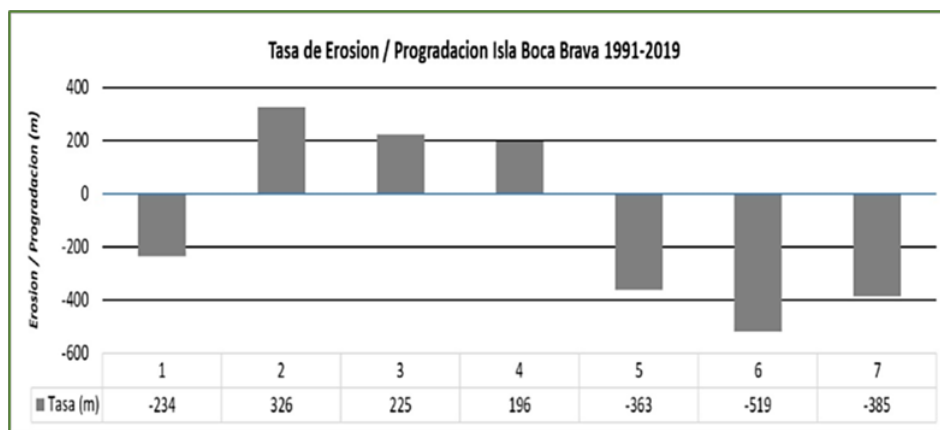
La Figura 6.14 a continuación, muestra la ubicación de las Zonas y Tasas de erosión/ progradación en el Tramo 3 de para el periodo 1991 – 2019.

Figura 6.14. Zonas y tasas de erosión / progradación – Tramo 3



En la Gráfica 6.7 se presentan las Tasas de erosión y progradación en la línea de la Costa de Playa de Isla Boca Brava. El Punto 1 corresponde a la Zona A, del Punto 2 al 4 a la Zona B, y del Punto 5 al 7, corresponden a la Zona C.

Gráfica 6.7. Tasa de erosión / progradación Isla Boca Brava (1991 a 2019)



Por otro lado, la dinámica comparativa costera para el mismo periodo 1991 - 2019 se presenta en el siguiente Cuadro 6.27.

Cuadro 6.27. Comparativa de dinámica costera Playa Isla Boca Brava (1991 a 2019)

| COMPARATIVA DE DINAMICA COSTERA PLAYA ISLA BOCA BRAVA 1991 A 2019 | | | |
|---|--------|--------------|---------------------------|
| Zona | Puntos | Tipo | Superficie m ² |
| A | 1 | Erosión | 94.592 |
| B | 2 al 4 | Progradación | 498.383 |
| C | 5 al 7 | Erosión | 553.226 |

A continuación, se describen las tres Zonas identificadas.

– **Zona A**

Es el límite Oeste entre el Grao y la Playa. En este sector de la costa predominan los procesos de erosión, la cual retrocedió 234 m (Punto 1), y perdió un área 94.592 m². Es un punto para destacar por cuanto junto con el balance hidrodinámico de la Zona B del Tramo 2, controla el ancho del Grao. Gráfica 6.7

– **Zona B**

Con dirección Este, la costa tiene un proceso de progradación con un rango entre 196 m en el Punto 4, y 326 m en el Punto 2, con un aumento en la superficie de 498.383 m². Gráfica 6.7

– **Zona C**

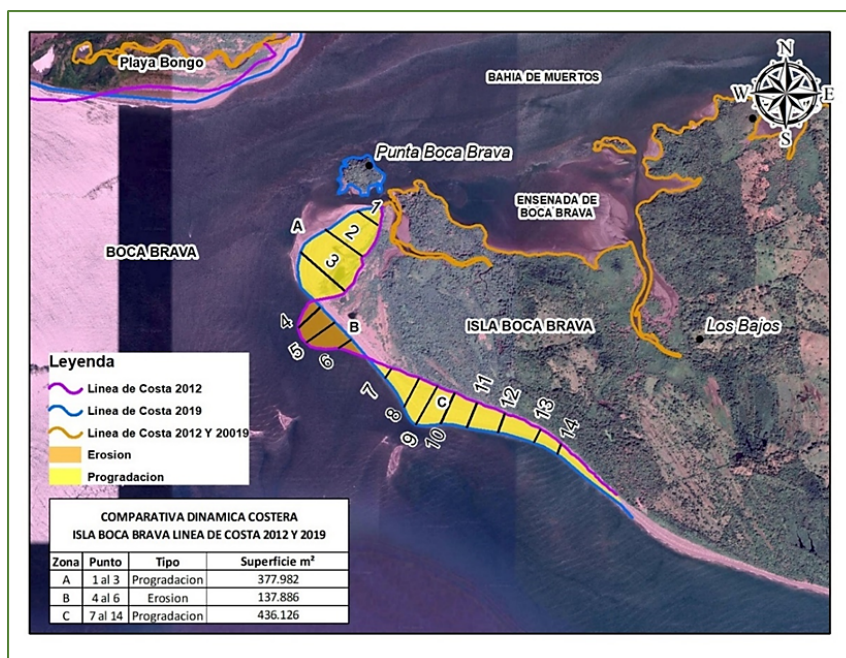
Continuando la dirección Este, hay un área de erosión con un rango entre 363,5 m y 519,6 m, con pérdida de superficie de unos 553.226 m². Gráfica 6.7

Como conclusión para este periodo, se resalta que los procesos de progradación son de unos 498.383 m², mientras que las zonas de erosión sumaron 648.818 m², con pérdida de superficie de 149.435 m². En general este Tramo para el periodo considerado muestra un comportamiento mixto, con áreas de erosión y progradación.

- **Análisis del balance para el periodo 2012 – 2019.**

En este periodo se muestran procesos combinados de erosión/progradación, al igual que el periodo 1991 – 2019 analizado. En la Figura 6.15 siguiente se observa la ubicación de las Zonas y Tasas de erosión/progradación en el Tramo 2 de para el periodo 2012-2019.

Figura 6.15. Zonas y tasas de erosión / progradación – Tramo 2.



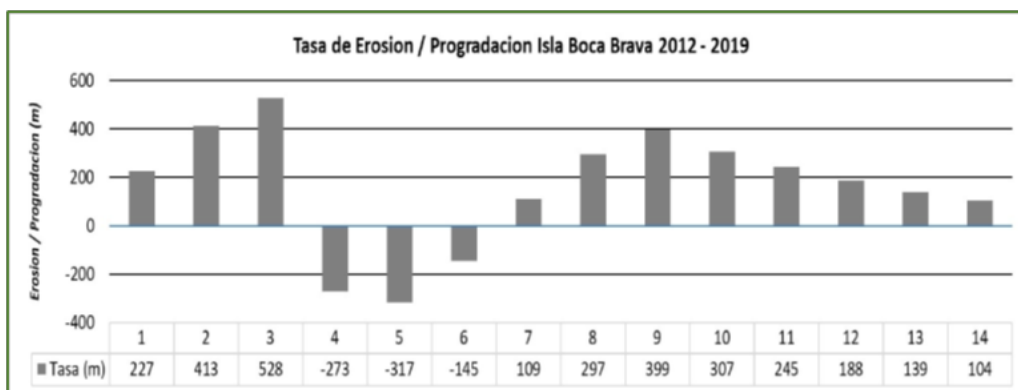
El Cuadro 6.28 muestra a su vez la dinámica comparativa de la costa de la Playa Isla Brava, para el periodo 2012 al 2019.

Cuadro 6.28. Comparativa de dinámica costera Playa Isla Boca Brava (2012 a 2019)

| COMPARATIVA DE DINAMICA COSTERA PLAYA ISLA BOCA BRAVA 1991 A 2019 | | | |
|---|---------|--------------|---------------|
| Zona | Puntos | Tipo | Superficie m² |
| A | 1 al 3 | Progradación | 377.982 |
| B | 4 al 6 | Erosión | 237.886 |
| C | 7 al 14 | Progradación | 436.125 |

En la Gráfica 6.8 se muestran las Tasas de erosión y progradación para la Costa de Playa Isla Boca Brava. Los valores entre los P untos del 1 al 3 corresponden la Zona A, los Puntos 4 al 6 corresponden la Zona B, y del Punto 7 al 14 a la Zona C

Gráfica 6.8. Tasa de erosión / progradación Isla Boca Brava (2012 – 2019)



A continuación, se describen las tres Zonas identificadas.

– **Zona A**

Es el límite Oeste entre el Grao y la Playa. En este sector de la costa predominan los procesos de Progradación con un rango entre 227 m (Punto 1), y 528 (Punto 3), donde hubo una ganancia de unos 377.982m². Gráfica 6.8. Este es un cambio significativo en comparación con el análisis del periodo 1991 al 2019, ya que esta zona aparece como un área de erosión.

– **Zona B**

A continuación, con dirección Este, la costa tiene un proceso de erosión con un rango entre 145 m en el Punto 6, y 317 m en el Punto 5, donde hubo una pérdida de superficie de 237.886 m². Gráfica 6.8

– **Zona C**

Continuando en dirección Este, hay un área de progradación con un rango entre 104 m (Punto 14), y 399 m (Punto 9), con una ganancia en la superficie de 436.125 m². Gráfica 6.8

Como conclusión, para este periodo los procesos de progradación constituyen un área de unos 814.107 m², mientras que las zonas de erosión sumaron 237.886 m², con un balance de ganancia en superficie de 576.221 m².

6.2.3 Morfodinámica del área estuarina de influencia directa.

A continuación se desarrolla la morfodinámica del área estuarina de influencia directa:

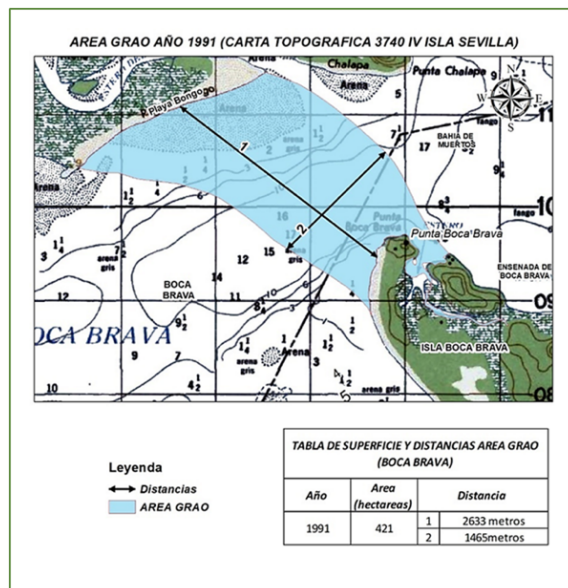
Análisis morfodinámico del Grao.

El Grao es geográficamente el área comprendida entre las Playas Bongo e Isla Boca Brava, razón por la cual es el resultado de la interacción de los procesos de erosión y progradación de las Playas Bongo e Isla Boca Brava; su profundidad es el resultado de los efectos erosivos de las corrientes de marea de entrada y salida, durante la mareas altas y bajas.

El análisis de procesos de erosión y posgraduación en las Playas Bongo e Isla Boca Brava, ya fueron presentados, razón por la cual se analizará el Grao, teniendo como elementos de juicio la comparación entre los años de las Hojas cartográficas 1991 y 2012, y la imagen Google 2019 en cuanto al aspecto cartográfico del ancho entre dos puntos predeterminados, identificables y fijos, para todos y cada uno de los años ya señalados.

En las líneas de costas de las Cartas de 1991, se fijaron dos puntos de referencia, y los mismos fueron utilizados para medir el ancho del Grao en las Cartas del 2012 y 2019. Dichos puntos corresponden a los extremos de mayor ancho del Grao en la Carta de 1991. En la Figura 6.16 siguiente se muestra el ancho y superficie del Grao para el año 1991.

Figura 6.16. Ancho y superficie del Grao (1991)



La Figura 6.17 siguiente muestra a su vez el ancho y superficie del Grao para el año 2012.

Figura 6.17. Ancho y superficie del Grao (2012)



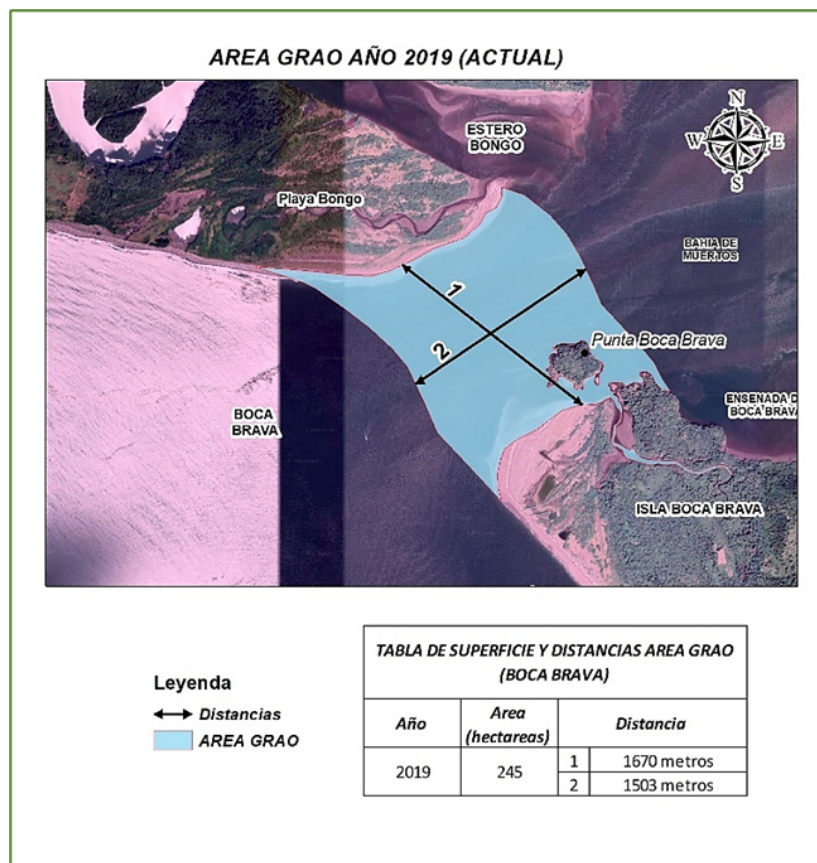
La Figura 6.18, tomada del Google Earth muestra finalmente el ancho y superficie del Grao para el año 2019, los cuales como se puede observar en el Cuadro 6.29 descienden al orden de 1.670 m y 245 ha respectivamente, una pérdida notable.

Cuadro 6.29. Comparación del ancho y superficie del Grao.

| Cartas e imagen (Año) | Ancho (m) | Superficie (ha) |
|-----------------------|-----------|-----------------|
| 1991 | 2.633 | 421 |
| 2012 | 1.873 | 284 |
| 2019 | 1.671 | 245 |

En la Figura 6.18, se muestra el ancho y superficie del Grao para el año 2019, los cuales están en el orden de 1.670 m y 245 ha.

Figura 6.18. Ancho y superficie del Grao (2019)



A partir de el Cuadro 6.29 y de las Figura 6.16, Figura 6.17, Figura 6.18, se observa que el ancho del Grao medido en los puntos de control disminuye, siendo para la Carta de 1991 (Fotos 1954), de 2.633 m y con la imagen Google del 2019 es de 1.671 m. Las superficies presentan la misma tendencia a disminuir, siendo en 1991 de 421 ha y en el 2019 de 245 ha.

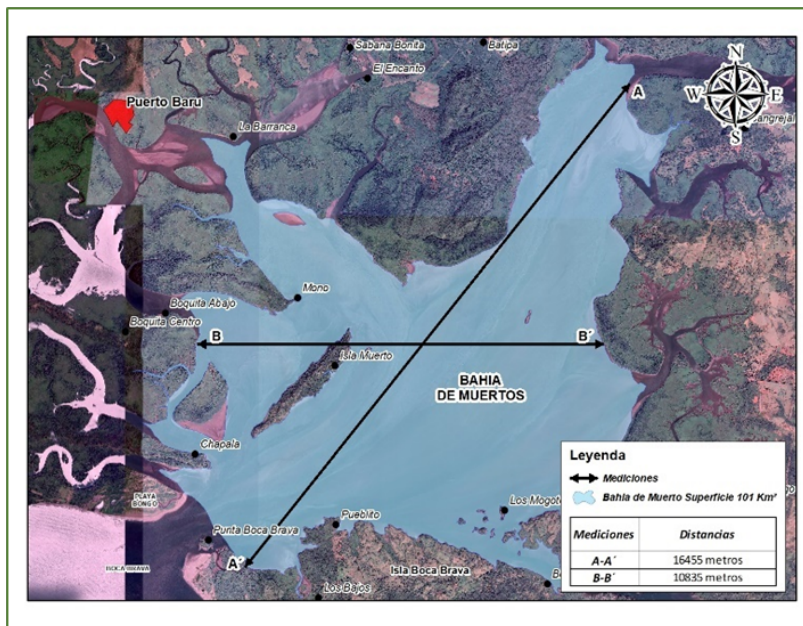
Análisis de la Morfodinámica del Sistema Depositional de Pantano.

La geometría de los Canales de marea y la Laguna Costera están estabilizadas y delimitadas por la vegetación de manglar. La comparación entre los límites de las Cartas topográficas identificadas en la metodología, así como las Imágenes satelitales utilizadas, muestran una casi perfecta coincidencia entre ellas, razón por la cual se concluye que los Canales están en equilibrio con las condiciones Oceanográficas actuales, y con bajo potencial de erosión. Sin embargo, por la dinámica de las mareas se inundan diariamente, y ocurre un equilibrio dinámico entre los procesos de erosión en el área cóncava de los meandros y deposición en el área convexa.

EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

Para el caso de La Laguna Costera (Bahía de Muertos), se analizó su estabilidad trazando sus costas y calculando su área para los años 1.991, 2012, y 2019. No se identificaron variaciones significativas en la geometría de las costas, para los años antes señalados, lo cual muestra su estabilidad. Las dimensiones obtenidas fueron: área de 10,100 ha, largo 16.455 m y ancho 10.835 m. Figura 6.19

Figura 6.19. Dimensiones de la laguna costera.



Análisis morfodinámico, de las áreas relacionadas con los componentes del Proyecto.

La vialidad y las facilidades portuarias se construirán en las Geoformas Glacis conservado, mientras el Canal de Navegación ocupara las geoformas del Canal de marea, Laguna costera y Grao. A continuación, se caracterizarán las áreas donde se ubicarán dichos Componentes del Proyecto.

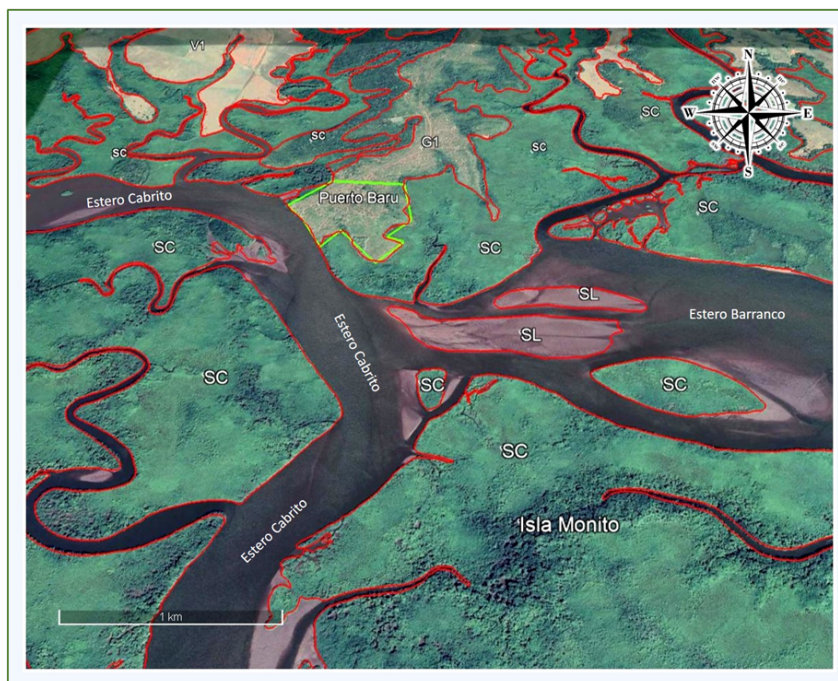
- **Vialidad.**

Esta vialidad ya está delineada por una vía de tierra, y se ubica entre la población de La Barranca y las futuras facilidades del puerto. Está ubicada en el área del Glacis, con relieve de plano a suavemente ondulado, a través de todo su recorrido. El contacto entre el Glacis y el Complejo

sedimentario de pantano con sus Geoformas Schorre, Slikke y Canal de marea es un talud escarpado.

En la Figura 6.20 se observan las geoformas correspondientes a la ubicación de la vialidad y facilidades del futuro puerto en el Glacis conservado (G1), así como las geoformas del Complejo Sedimentario Pantano: Canales de Marea (Estero), Schorre (Sc) y Slikke (SL).

Figura 6.20. Geoformas del Gacis conservado y del Complejo Sedimentario Pantano.



- **Facilidades del puerto.**

Las Facilidades de puerto para almacenaje, embarque y desembarque de productos, entre otros, estarán ubicadas en el área más baja del Glacis, con relieve plano; el contacto con el Canal de marea, como ya se mencionó es un escape.

Durante las mareas se observa una diferencia de nivel entre el tope del Glacis y el espejo de agua del Canal de marea, de 2,0 m a 5,1 m, dependiendo del sitio, con un escape muy fuerte. Cuando se observa el contacto entre el Glacis, donde estará el Puerto, y el Canal de marea se percibe que el tramo superior del escape sobresale, como una repisa con respecto al nivel del agua en el Canal

de marea, lo cual es el resultado de la socavación por procesos erosivos ocasionados por el Canal de marea. Esta margen cóncava es el área donde se ubicará el futuro Puerto, y en ella han ocurrido serios procesos de erosión, como consecuencia de la energía cinética de las mareas, la cual ocurre en las áreas cóncavas de los meandros en los Canales de mareas.

- **Canal de navegación.**

Se ubica en el Paisaje de Estuario, en el Sub-Paisaje Complejo sedimentario de pantano, en las geoformas de Canal de marea y Laguna costera, y en el Sub-Paisaje Complejo sedimentario de Cordón Litoral, en la geoforma Grao; el análisis de este Componente se realizó utilizando la Batimetría del año 2020 (*Anexo 9a y b. Batimetría del Canal de Acceso*). En el recorrido del Canal de navegación, se caracterizan las siguientes geoformas.

- Canal de marea. Para la construcción del Puerto se dragará un Canal de marea, donde las profundidades actuales están en un rango entre -1 m y -9 m, presentándose por lo general, las mayores profundidades, en las adyacencias del lado convexo de los meandros de los Canales de marea, y las menores en las adyacencias del lado cóncavo.
- Laguna costera. En esta geoforma, la batimetría muestra profundidades con un rango entre 30 m en las cercanías del Grao, hasta 1m frente a la Isla de Muerto, la cual esta próxima al Canal de marea a dragar, siendo posible inferir que la disminución de la profundidad sea el efecto del Canal de marea, y de la Isla de Muertos, sobre los procesos de sedimentación.
- Grao. La Batimetría en esta geoforma, muestra profundidades con un rango entre -35 m y -46 m, lo cual es el resultado en particular de los procesos erosivos del flujo y reflujo de las mareas. Desde el punto de vista ecológico estas profundidades garantizan un recambio oportuno de las aguas de la Laguna costera con el Océano Pacífico,

- **Análisis de la evolución de la costa del canal de marea en el cual se ubicará Canal de navegación y el área de Facilidades del Puerto.**

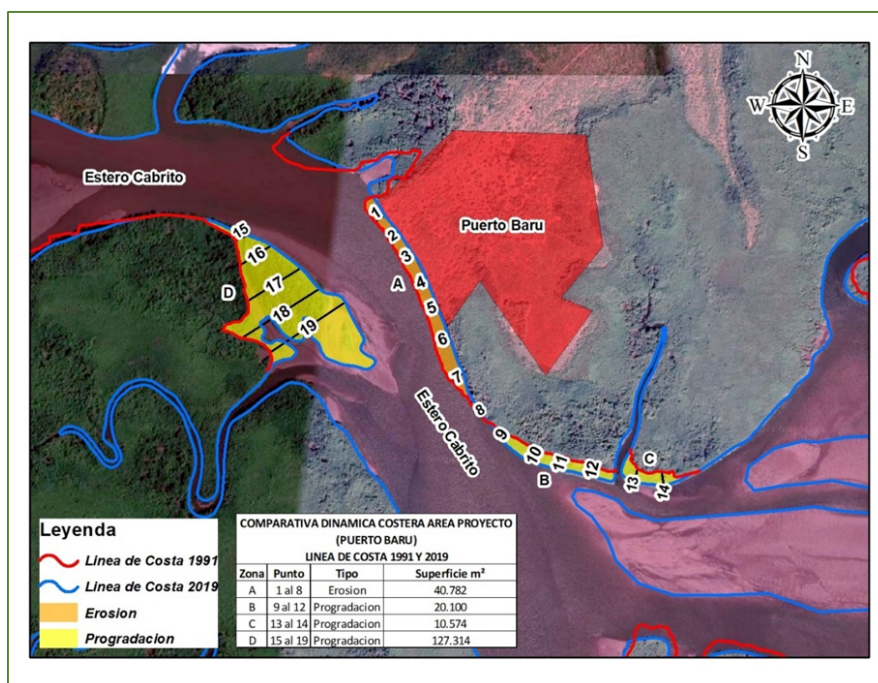
Debido a que se identificaron en las áreas del canal de navegación y en el área de facilidades del puerto procesos de erosión y progradación que pudieran afectar el funcionamiento del futuro puerto, a los fines de tener elementos importantes para el actual estudio, se realizó el análisis de la evolución de las costas durante el periodo 1991 al 2019.

En la Figura 6.21, se muestra entonces la ubicación y las Zonas y Tasas de erosión/progradación de las Costas adyacentes y frente a las Facilidades del Puerto del Estero Cabrito, para el periodo 1991-2019.

El Cuadro 6.30 muestra a su vez la ubicación, zonas y variaciones expresadas en superficies, para ambas costas del sitio del proyecto en los años 1991 – 2019.

La Gráfica 6.9 contiene las Tasas de erosión/progradación para la Costa adyacente en donde estarán ubicadas las Facilidades del Puerto para el mismo periodo. Los valores entre los puntos del 1 al 8 corresponden la Zona A, los puntos 9 y 12 corresponden la Zona B, y del punto 13 al 14 corresponden a la Zona C. De igual manera en la Gráfica 6.10 se muestra el comportamiento de las costas frente al Puerto. Los valores entre los puntos 15 al 19 corresponden a la zona D.

Figura 6.21. Zonas y Tasas de erosión/progradación de las Costas adyacentes y frente a las Facilidades del Puerto del Estero Cabrito, para el periodo 1991-2019



En cuanto a la evolución de las costas adyacentes a las facilidades del puerto, las zonas identificadas son la siguientes:

– **Zona A**

Los Canales de marea están en equilibrio dinámico con las condiciones oceánicas, por los efectos de la energía cinética de las mareas; en las áreas cóncavas de los meandros ocurren procesos de erosión, y en el área convexa procesos de progradación. La Zona A esta ubicada en el área que corresponde al área cóncava del meandro del Canal de marea (Estero Cabrito), razón por la cual ocurren los procesos de erosión. El retiro por los procesos erosivos está en el rango de 13 m en el Punto 8 y 55 m en el Punto 6. La pérdida de área para el periodo considerado del 1991 al 2019, fue de 40.782 m².

– **Zona B**

Está ubicada en el área convexa del meandro, y en la bifurcación del Canal de marea/Estero Cabrito, donde predominan los procesos de progradación, y está delimitada por el extremo del área cóncava del meandro, y la entrada de un pequeño canal de marea sin nombre. El incremento por los procesos de progradación está en el rango de 24 m el Punto 9, y 53 m en el Punto 10. La ganancia de área para el periodo considerado fue de 20.100 m².

– **Zona C**

Está ubicada en el área cóncava del meandro y en la bifurcación del Canal de marea, y después de la entrada del canal de marea (sin nombre), donde predominan los procesos de progradación. Los incrementos por los procesos de progradación fueron de 48 m en el Punto 13, y 49 m en el Punto 14. La ganancia de área para el periodo considerado fue de 10.574 m².

– **Zona D**

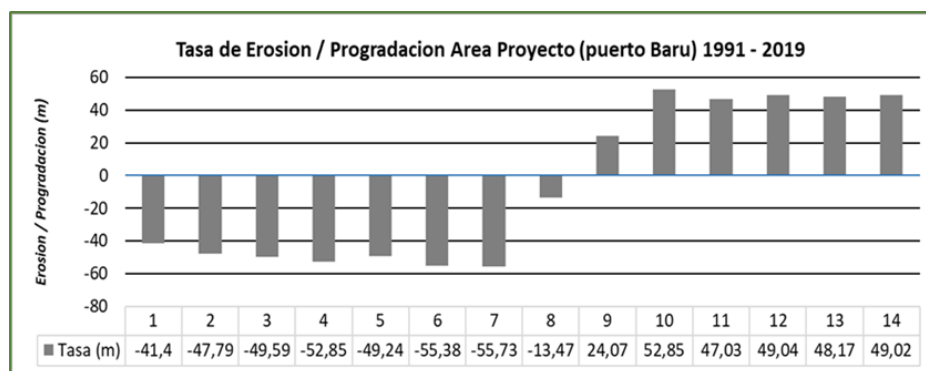
Se identificó una Zona que se describe en la Gráfica 6.10 en área de la costa frente a las facilidades del futuro Puerto. Puntos 3.15 al 3.19 (Periodo 1991- 2019). Esta área está ubicada en la margen convexa del meandro del Canal de marea/Estero Cabrito, razón por la cual ocurren los procesos de progradación. El incremento por los procesos de progradación está en el rango de 47 m el Punto 15 y 335 m en el Punto 18. La ganancia de área para el periodo considerado fue de 40.782 m². como ya se expresa anteriormente, presenta las variaciones en superficie por zona.

Cuadro 6.30. Comparativa de dinámica costera área proyecto (Puerto Barú), línea costera 1991 y 2019

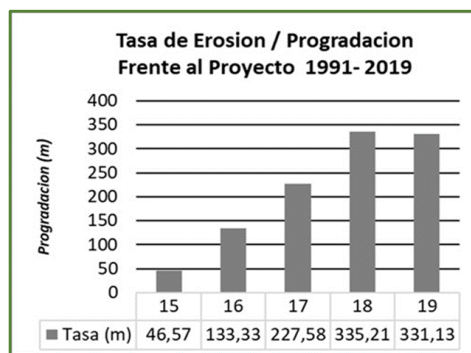
| COMPARATIVA DE DINAMICA COSTERA ÁREA PROYECTO (PUERTO BARÚ) LÍNEA COSTERA 1991 Y 2019 | | | |
|---|----------|--------------|---------------------------|
| Zona | Puntos | Tipo | Superficie m ² |
| A | 1 al 8 | Erosión | 40.782 |
| B | 9 al 12 | Progradación | 20.100 |
| C | 13 al 14 | Progradación | 10.574 |
| D | 15 al 19 | Progradación | 127.314 |

Finalmente, las tasas de erosión/progradación de las costas adyacentes a las facilidades portuarias se resumen en la Gráfica 6.9 y Gráfica 6.10 ya mencionadas, tal como siguen:

Gráfica 6.9. Tasa de erosión / progradación área proyecto (Puerto Barú) 1991 - 2019



Gráfica 6.10. Gráfica de erosión / progradación frente al proyecto (1991-2019)



Del análisis de la evolución se observa, al hacer la comparación de las costas del Canal de navegación, tanto frente como adyacente al Puerto, que para el periodo marcado 2012 al 2019 no hubo diferencias significativas entre el trazado de las líneas costeras para ambas fechas.

6.2.4 Conclusiones.

- **Para los Paisajes de Piedemonte y Valles.**

La superficie y porcentaje de ocurrencias de los paisajes son los siguientes: el Piedemonte 15.758 ha (41,0 %), el Valle 3.023 ha (7.9 %), y el Estuario 19.643 ha (51,1%). En el Cuadro 6.31 se muestra para los paisajes Piedemonte y Valle, por geoforma, los procesos morfodinámicos, así como su Intensidad de potencial de ocurrencia.

Cuadro 6.31. Los paisajes Piedemonte y Valle, por geoforma, los procesos morfodinámicos, así como su Intensidad de potencial de ocurrencia.

| OCURRENCIA DE POTENCIAL DE EROSIÓN E INUNDACIÓN, PARA LAS GEOFORMAS ANALIZADAS EN LOS PAISAJES PIEDEMONTES Y VALLES | | | |
|--|---------------------------|--------------------|------|
| MORFODINÁMICA | SUB-PAISAJE /GEOFORMAS | SUPERFICIE (ha) | % |
| Muy alto potencial de erosión | MV1 | 1.837 | 4,8 |
| Potencial de Erosión Moderado | MV2 | 809 | 2,1 |
| Sin potencial de erosión y sin potencial de inundación | V1 | 3.023 | 7,9 |
| Asociación bajo y moderado potencial de erosión | G1 | 3.993 | 10,5 |
| Asociación moderada y bajo potencial de erosión | G2 | 3.964 | 10,3 |
| Asociación de bajo y moderado potencial de erosión | MVC | 1.007 | 2,7 |
| Asociación de alto y moderado potencial de erosión | L1 | 1.796 | 4,7 |
| Asociación de muy alto, alto y moderado potencial de erosión | L2 | 2.352 | 6,1 |

Del Cuadro 6.31 se puede observar que, en el área de influencia directa del proyecto, en los Paisajes Piedemonte y Valle, todas las geoformas presentan diferentes grados de potencial de erosión con la excepción del Paisaje/Geoforma Valle, esta última área sin potencial de erosión, y sin potencial de inundación. En cuanto a los movimientos en masa, no se observaron evidencias de estos, ni las Imágenes satelitales, ni en los recorridos de campo realizados.

- **Para el Paisaje de Estuario.**

En el Paisaje de Estuario, los dos Sub-Paisajes identificados son el Complejo Depositional de Cordón Litoral y el Complejo Depositional de Pantano, los cuales muestran diferencias en cuanto a la estabilidad de sus geoformas tal como se describe a continuación. Cuadro 6.32

Cuadro 6.32. Potencial de erosión y progradación de la línea costera del sistema deposicional del complejo cordón litoral

| POTENCIAL DE EROSIÓN Y PROGRADACION DE LA LINEAS COSTERA DEL SISTEMA DEPOSICIONAL DEL COMPLEJO CORDON LITORAL | | | |
|--|-----------------------------------|---------------------|----------------|
| TRAMOS EVALUADOS | PROCESO PREDOMINANTE | | |
| | FECHAS | PROGRADACION | EROSION |
| Tramo 1. Costas de la Playa entre Punta Las Pavas y Estero Guerrero. | Balance para el Periodo 1991-2019 | -- | X |
| | Balance para el Periodo 2012-2019 | -- | X |
| Tramo 2. Costas de la Playa Bongo | Balance para el Periodo 1991-2019 | X | -- |
| | Balance para el Periodo 2012-2019 | X | -- |
| Tramo 3. Costa de Playa de Isla Boca Brava | Balance para el Periodo 1991-2019 | -- | X |
| | Balance para el Periodo 2012-2019 | X | -- |

- **Para el Complejo Depositional de Cordón Litoral.**

El Cuadro 6.32 muestra la erosión y progradación de la línea costera del Sistema deposicional del Complejo cordón litoral.

– **Tramo 1. Costas de la Playa entre Punta Las Pavas y Estero Guerrero**

Predominan los procesos de erosión para los periodos analizados de 1991 (fotos de 1954) a 2019 y 2012 al 2021. De continuar esta tendencia podría tener fuerte impacto sobre el ecosistema de manglar, por cuanto se perdería la protección de esta geoforma al manglar, contra las tormentas y oleajes altos, además cambiaría el balance de aguas dulces y marinas, al permitir que las aguas del mar ingresaran libremente al manglar, con una alteración significativa en el mencionado ecosistema. Cabe tomar en cuenta que, de hecho, hoy ya, por usos agrícolas del suelo se ha eliminado el cordón de manglar que alguna vez existió detrás de la línea de arenas.

– **Tramo 2. Costas de la Playa Bongo**

Predominan los procesos de progradación, para los dos periodos analizados: 1991 a 2019 y 2012 al 2019.

– **Tramo 3. Costa de Playa de Isla Boca Brava**

Para el periodo comprendido entre 1991 a 2019, predominan los procesos de erosión, mientras en el periodo 2012 al 2019, en la evolución actual, predominan los procesos de progradación. La separación entre los Tramos 2 y 3 constituye el Grao, que como ya se señaló es una de las áreas en las cuales se hace el intercambio entre las aguas del Estuario y el Océano Pacífico, intercambio que permite el mantenimiento de los niveles de salinidad en las aguas de estuario, vital para el equilibrio del ecosistema manglar. Las tendencias actuales (Periodo 2010-2019), es a la progradación, lo cual eventualmente podría formar una barra costera que cierre el Grao.

En el análisis de los procesos de erosión y progradación de los diferentes tramos de playa y para los dos periodos analizados, se destaca que las costas de las playas evolucionan cambiando su geometría, y frecuentemente su balance erosión-progradación, aun en periodos cortos, como es el caso del Periodo 2012-2019, lo cual señala claramente la alta intensidad de los procesos morfogenéticos, que ocurren en esta geoforma.

- **Sistema Depositional de Pantano.**

En el Cuadro 6.33 siguiente, se muestra el grado de estabilidad, para las geoformas analizadas en el Sub- Paisaje deposicional del complejo de pantano.

Cuadro 6.33. Grado de estabilidad.

| GRADO DE ESTABILIDAD PARA LAS GEOFORMAS ANALIZADAS EN EL SUB-PAISAJE DEPOSICIONAL DEL COMPLEJO DE PANTANO | | |
|---|--------------------|--|
| GEOFORMAS | ESTABILIDAD ACTUAL | PERIODO DE ESTABILIDAD (AÑOS) |
| Laguna Costera | SI | 1991 (Fotos 1954) A 2019, y 2012 A 2019 |
| Canal de Marea | SI | |
| Schorre | SI | |
| Slikke | SI | |
| Lomas Relictos | SI | |

Del Cuadro 6.33, Grado de Estabilidad, para las geoformas analizadas en el Sub-Paisaje Depositional del Complejo de Pantano, se concluye que las Geoformas Laguna costera, Canal de mareas, Schorre, Slikke y Lomas relictos, todas son estables para los periodos en consideración.

*EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.*

Es de resaltar que, en el caso de los Canales de marea, existen en los meandros procesos de erosión-progradación locales en las márgenes cóncavas y convexas, como parte del equilibrio morfogenético que ocurre en áreas de bajas pendientes.

6.3. Caracterización del suelo

La toma de muestras de suelo aporta información de las características físicas y químicas del suelo bajo estudio. En este caso se determinaron las características físicas y químicas del perfil del suelo a través de muestras y calicatas. Éstas permitieron clasificar taxonómicamente el suelo como un Typic Kandiodults (USDA, 2014), suelo con baja saturación de bases y un horizonte B con una importante acumulación de arcilla, cuya capacidad agrologica es la clase VII, considerados como suelos no arables, con limitaciones muy severas, aptos para bosques, cultivo de pastos o tierras de reservas (Solano, 2019).

El área bajo estudio se caracterizó por presentar, en forma general, de pendientes moderadas, cercanas a las zonas de manglares, a pendientes muy bajas o áreas planas. La vegetación está compuesta principalmente por especies como: *Curatella americana*, *Heliconia sp.*, *Cecropia obtusifolia*, *Cheilocostus speciosus*, *Justicia secunda vahl*. El uso previo del área era la producción de cítricos, y aún se encuentran en la zona una cantidad importante de apiarios en funcionamiento. No se observó en la superficie del suelo evidencia que indique procesos de erosión.

La evaluación visual de las características físicas del suelo dentro de las calicatas realizadas nos permitió determinar que, en forma general, el suelo bajo estudio presenta dos horizontes de diferenciación, con coloraciones que van desde el marrón oscuro, al marrón rojizo oscuro, rojo y rojo amarillento. Estructura granular o en bloques en el primer y segundo horizonte respectivamente y en algunos casos presencia de concreciones de óxidos de hierro o de carbonatos de calcio que indicarían hidromorfismo en la zona.

Cuadro 6.34. Metodología.

| FASE DE PRE-CAMPO | FASE DE CAMPO | FASE DE GABINETE |
|---|--|---|
| Revisión de literatura de área de influencia directa e indirecta del proyecto. | Recorrido en campo y toma de evidencias fotográficas por el área de influencia directa e indirecta del proyecto Puerto Barú. | Análisis de los resultados de las características físicas y químicas de las 26 muestras de suelo de 20 cm. |
| Recopilación de Información Bibliográfica y Cartográfica. Determinación de los puntos de muestreos de 20 cm y calicatas. | Se realizaron 6 calicatas de 100 cm de profundidad y 50 cm de ancho. | Interpretación técnica de los resultados de laboratorio para cada una de las muestras de suelo tomadas en los estratos u horizontes identificados en las 6 calicatas. |

| FASE DE PRE-CAMPO | FASE DE CAMPO | FASE DE GABINETE |
|---|--|---|
| Elaboración de Planilla de Captación de Información en Campo. | <p>Dentro de la calicata se identificó cada horizonte o estrato del suelo, la profundidad de cada uno, características visuales como el color, presencia de concreciones de hierro o carbonatos de calcio, presencia de limitaciones físicas y toma de muestra de cada horizonte.</p> <p>Se realizaron 26 muestras de suelo a una profundidad de 20 cm para analizar las características físicas y químicas (incluyendo hidrocarburo).</p> <p>Se realizó un recorrido para determinar los usos de suelos y actividades que se desarrollan en el área de influencia directa e indirecta del proyecto.</p> | <p>Para la Clasificación Agrológica o Capacidad de Uso de los Suelos se utilizó como marco de referencia, el Estudio de Suelos publicado en el Atlas Ambiental de la República de Panamá del año 2010.</p> <p>Las Unidades de Suelos incluyen las fases de pendientes, erosión y textura; la metodología consistió en la interpretación de los resultados de geomorfología.</p> <p>Para la clasificación de las unidades de suelo bajo estudio primeramente se estableció el orden taxonómico al que pertenece el suelo. Una vez determinado este aspecto se procedió a evaluar el régimen de humedad, régimen térmico, contenido de materia orgánica, presencia de horizontes diagnósticos u otras características propias de la zona de ubicación del proyecto, aspectos observados a campo y aquellos determinados en laboratorio, que nos permitieran determinar el suborden, gran grupo y la familia a la que pertenece dicho suelo.</p> <p>Se utilizó la información de las verificaciones de campo, y sus caracterizaciones respectivas para las evaluaciones del caso, en lo que respecta a la parte edáfica y la capacidad de uso.</p> |

Cuadro 6.35. Para la descripción de las unidades de suelos.

| | |
|---------------------------|--|
| Símbolo | Se utilizó la información de las verificaciones de campo, y sus caracterizaciones respectivas para las evaluaciones del caso, en lo que respecta a la parte edáfica y la capacidad de uso. |
| Paisaje | Se refiere al Paisaje que se hará referencia en la Descripción de cada Unidad cartográfica. |
| Sub-Paisaje | Hace mención al Sub Paisaje en el que se ubica la Unidad cartográfica descrita. |
| Topografía | Se refiere a la condición topográfica que presenta cada Unidad cartográfica. |
| Rango de pendiente | A cada Unidad se le asignó un rango de pendientes, o asociación de ellas. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Caracterización edáfica | A cada unidad cartográfica se le atribuyeron la presencia de procesos erosivos actuales y/o potenciales, en los casos de los relieves accidentados. |
| Clasificación taxonómica | Se identifica y describe la Clasificación taxonómica a nivel taxonómico de Orden. |
| Capacidad agrologica | Esta parte hace referencia a la capacidad de uso o potencialidad del suelo, para usos futuros en particular. |
| Superficie | Se calculó a partir del mapa de suelos, y la superficie que ocupa la unidad cartográfica. |

Caracterización edáfica y taxonómica del suelo.

- **Caracterización física.**

Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos que el ser humano les otorga. Es conocido que la condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004). Dentro de las características físicas se encuentran: la textura, la estructura, la densidad, porosidad, la profundidad, pedregosidad, drenaje, el color entre otras.

El Cuadro 6.36 siguiente presenta los resultados de texturas obtenidos en las 26 muestras de suelo tomadas a los 20 cm de profundidad.

Cuadro 6.36. Características físicas de la textura del suelo.

| Nº | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | COORDENADAS | TEXTURA ARENA-LIMO-ARCILLA % | TEXTURA |
|----|---|--------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1 | Zona de manglar | 353448E 922105N | 45-30-25 | Franca |
| 2 | Muestra en suelo con vegetación de chumical | 353260E 922235N | 13-23-64 | Arcilla |
| 3 | Área de sucesión ecológica | 353202E 921717N | 13-33-64 | Arcilla |
| 4 | Área de chumical | 353110E 921822N | 35-25-40 | Arcilla |
| 5 | Área de sotobosque | 353141E 922564N | 22-18-60 | Arcilla |
| 6 | Área de potrero | 353329E 925838N | 34-26-40 | Arcilla |
| 7 | Muestra en área de manglar | 352759E 922748N | 40-21-30 | Franco Arcilla Arenosa |

| Nº | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | COORDENADAS | TEXTURA ARENA-LIMO-ARCILLA % | TEXTURA |
|----|---|----------------------|------------------------------|------------------------|
| 8 | Muestra en bosque secundario intervenido | 352599E 922198N | 40-26-34 | Franco Arcilla |
| 9 | Muestra en área de manglar | 352816E 920653N | 54-24-22 | Franco Arcilla Arenosa |
| 10 | Muestra en área de chumical (cercano a apiario) | 353348E 923297N | 47-24-29 | Franco Arcilla Arenosa |
| 11 | Área de bosque intervenido | 353259E 923916N | 43-22-35 | Franco Arcilla |
| 12 | Muestra próxima a la cárcel | 353448E 924039N | 21-22-57 | Arcilla |
| 13 | Área de chumical cercano a manglar | 352863 E 920832 N | 34-26-40 | Franco Arcilla |
| 14 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352779 E 921087N | 42-29-29 | Franco Arcilla |
| 15 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352849 E 921143 N | 46-19-35 | Franco Arcilla Arenosa |
| 16 | Huella del proyecto (cercano a manglar) | 352251 E 921299 N | 23-21-56 | Arcilla |
| 17 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352476 E 921447 N | 29-31-40 | Arcilla |
| 18 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352428 E 921192 N | 29-43-28 | Franco Arcilla |
| 19 | Huella del proyecto (bordeando el mar) | 352458 E 920882 N | 43-29-28 | Franco Arcilla |
| 20 | Cercano a la huella del proyecto (área de chumical) | 352881 E 921452 N | 13-26-61 | Arcilla |
| 21 | Área de chumical | 352984 E 921869 N | 25-26-49 | Arcilla |
| 22 | Muestra en bosque secundario en regeneración | 352109 E 921863 N | 26-24-50 | Arcilla |
| 23 | Muestra en área de depósito de sedimentos | 352428E 924010N | 8-24-68 | Arcilla |
| 24 | Muestra en plantación de palmeras | 352073E 926785N | 30-40-40 | Arcilla |
| 25 | Muestra en pasto mejorado. Suelo erosionado | 351950E 922653N | 20-28-52 | Arcilla |
| 26 | Muestra en área de potrero | 351502E 923394N | 13-29-58 | Arcilla |

De los resultados obtenidos del perfil del suelo, se infiere que las muestras presentan un mayor porcentaje de arcillas, lo que las clasifica como suelo de textura arcillosa. Otras muestras presentaron importante contenido de limo seguido de arcillas, lo que clasifica las zonas como

franco arcillosa; sin embargo, se pudo observar en general, que las arcillas presentan siempre el contenido más importante.

Las arcillas tienen una gran relevancia en la fertilidad de los suelos, al intervenir directamente en la Capacidad de Intercambio Catiónico. Al mismo tiempo las arcillas, según su estructura, permiten tener una mayor superficie específica, la que contribuye a la retención de humedad o a evitar el lavado de nutrientes por parte de las aguas que se infiltran en las capas de los suelos.

Es importante mencionar que la arcilla, al ser más fina retendrá mayor cantidad de agua, al hacer más difícil que ésta pueda circular libremente por los espacios intersticiales. Esto en los suelos crea un ambiente anóxico que para las plantas es grave, ya que no permite el intercambio gaseoso y la respiración radicular, provocando la muerte de la planta o facilitando la aparición de enfermedades del tipo fungosas y bacterianas.

La estructura del suelo se caracterizó por ser granular o en bloques en algunos casos, y sus agregados son poco o nada porosos por contener más arcilla que materia orgánica en el proceso de floculación.

Cuadro 6.37. Determinación de características visuales en calicatas

| IDENTIFICACIÓN | UBICACIÓN | HORIZONTE | PROFUNDIDAD (CM) | COLOR | CARACTERÍSTICAS | OBSERVACIONES |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------------|---|--|--|
| Calicata 1 | 17P 0354174 E; 0922086 N | A | 0-17 | 7.5yr 4/4 Marrón oscuro (en seco) 7.5yr ¾ Marrón oscuro (en húmedo) | Estructura granular y bloques de tamaño pequeño. Restos de carbón en este horizonte. | Concreciones de óxidos de Fe (hidromorfismo). |
| Calicata 1 | 17P 0354174 E; 0922086 N | B | 17-100 | 5yr 4/6 Rojo amarillento (en seco) 2.5yr 4/6 Rojo amarillento (húmedo) | Mayor acumulación de arcillas, estructura en bloques grandes. | Concreciones de óxidos de Fe (hidromorfismo). |
| Calicata 2 | 17P 0353174 E; 0921726 N | A | 0-20 | 7.5yr 4/4 Marrón oscuro (en seco) 7.5yr 4/6 Marrón fuerte (en húmedo) | Estructura granular a bloques de tamaño pequeño a medio. | Concreciones de CaCO ₃ y de óxidos de Fe (hidromorfismo) bastante duras que hace parecer a un horizonte de alta pedregosidad. |
| Calicata 2 | 17P 0353174 E; 0921726 N | B | 20-100 | 2.5yr 4/8 Rojo (en seco) 2.5yr 4/8 Rojo (en húmedo) | Mayor acumulación de arcillas, presencia de concreciones, pero en menor grado que en el primer horizonte. Estructura en bloques grandes. | Concreciones óxidos de Fe (hidromorfismo) y CaCO ₃ . |
| Calicata 3 | 17P 0352895 E; 0922741 N | A | 0-17 | 2.5yr ¾ Marrón rojizo oscuro (en seco) 2.5yr 4/6 Rojo (en húmedo) | Estructura granular. | |
| Calicata 3 | 17P 0352895 E; 0922741 N | AB | 17-35 | 2.5yr 4/8 Rojo (en seco) 2.5yr 4/6 Rojo (en húmedo) | Bloques de tamaño medio, que rompen a bloques más pequeños. | Presencia de madrigueras. |

EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

| IDENTIFICACIÓN | UBICACIÓN | HORIZONTE | PROFUNDIDAD (CM) | COLOR | CARACTERÍSTICAS | OBSERVACIONES |
|----------------|--------------------------------|-----------|------------------|--|---|--|
| Calicata 3 | 17P 0352895 E; 0922741 N | B | 35-100 | 2.5yr 4/6 Rojo (en seco) 2.5yr 4/4 Marrón Rojizo (en húmedo) | Bloques de tamaño medio que rompen a bloques más pequeños. | |
| Calicata 4 | 17P 0353030 E; 0921758 N | A | 0-20 | 5yr ³ / ₄ Marrón rojizo oscuro (en seco) 5yr ³ / ₃ Marrón rojizo oscuro (en húmedo) | Estructura en bloques de tamaño medio que rompen a una estructura granular. | |
| Calicata 4 | 17P 0353030 E; 0921758 N | B | 20-100 | 2.5yr 4/6 Rojo (en seco) 2.5yr 4/6 Rojo (en húmedo) | Bloques de tamaño medio. | |
| Calicata 5 | 17P 0352815 E; 0920849 N | A | 0-10 | 2.5yr 4/6 Rojo (en seco) 2.5yr ³ / ₄ Marrón rojizo oscuro (en húmedo) | Estructura en bloques de tamaño pequeño que rompen a una estructura granular. | |
| Calicata 5 | 17P 0352815 E; 0920849 N | B | 10-100 | 2.5yr 4/6 Rojo (en seco) 2.5yr ³ / ₄ Marrón rojizo oscuro (en húmedo) | Bloques de tamaño grande. | |
| Calicata 6 | 17P 0352612 E; 0921353 N | A | 0-18 | 2.5yr ³ / ₄ Marrón rojizo oscuro (en seco) 2.5yr ^{2.5} / ₄ Marrón rojizo oscuro (en húmedo) | Estructura en bloques de tamaño pequeño y estructura granular. | Presencia de concreciones óxidos de Fe |
| Calicata 6 | 17P 0352612 E; 0921353 N | B | 18-100 | 2.5yr 4/8 Rojo (en seco) 2.5yr 4/6 Rojo (en húmedo) | Bloques de tamaño medio a grande. | |

- **Características químicas de los suelos.**

Las propiedades químicas de los suelos están determinadas principalmente por la materia orgánica y las arcillas, por ser éstas las fuentes principales aportadoras de nutrientes.

Los macronutrientes se pueden definir como los elementos necesarios en grandes cantidades para asegurar el crecimiento y la supervivencia de las plantas. Corresponden fundamentalmente a los contenidos de diferentes sustancias importantes como (N, P, Ca, Mg, K, S); los micronutrientes (Fe, Mn, Cu, B, Md, Cl) dotan al suelo de diferentes características (Carbono orgánico, carbono cálcico, Fe en diferentes estados).

Las características químicas nos permiten reconocer ciertas cualidades del suelo cuando se provocan cambios químicos o reacciones que alteran la composición y acción de estos. Las principales son: la materia orgánica, la fertilidad y la acidez–alcalinidad.

El cuadro del **Anexo 10** recoge los resultados de las características químicas obtenidos en las 26 muestras de suelo tomadas a los 20 cm de profundidad.

En los cuadros anteriores los resultados del muestreo de suelo bajo estudio, a 20 cm de profundidad presentan ya una textura arcillosa, con un pH muy ácido (valores entre 4,20 a 6,23). El contenido ahora de macroelementos y microelementos es el siguiente:

- Todas las muestras dieron bajo en el contenido de Fósforo (de 0 a 5 ppm),
- En Calcio, de las 26 muestras 4 resultaron con alto contenido (7,24 a 10,93 ppm); las otras 22 dieron con contenidos bajos en calcio (0,1 a 2,09 ppm). Las concentraciones más bajas aparecen en suelos con capacidades de intercambio catiónico bajas.
- Con respecto al Magnesio, 3 de las 26 muestras registraron un alto contenido (2,73 a 69,15 meq/100g de suelo); las otras se encuentran en un rango de 0,05 – 0,64 meq/100g de suelo. Plaster (2000) indicó que la arcilla retiene el Mg de forma menos resistente que el Ca, por lo que es lixiviado más fácilmente del suelo. A consecuencia de esto, los suelos con bajo contenido en Magnesio son más comunes que los suelos con bajo contenido de calcio.

- En el caso del elemento Potasio, los valores obtenidos presentaron concentraciones medias a altas (de 54 a 2841 ppm); es importante mencionar que los suelos arcillosos se caracterizan por tener mayor contenido de Potasio que los limo arenosos y arenosos.
- El contenido de otros microelementos como el Sodio (de 1 a 32,929 ppm), Hierro registro valores medio altos (de 16 a 808 ppm), Cobre concentraciones medias altas (2 a 15 ppm), Manganeso (1 a 158 ppm) y Zinc (0.26 a 11 ppm), también ha presentado afectaciones en su contenido, debido a los niveles de pH del suelo, los cuales afectan la disponibilidad de estos elementos, como parte importante en el correcto desarrollo fisiológico de las plantas. El contenido de aluminio (de 0 a 1,7 meq/100g de suelo) y la acidez del suelo (de 0,1 a 2,6 meq/100g de suelo) presentan valores medios a bajos en ambos casos.

Estos resultados indican que se trata de un suelo con un bajo nivel de fertilidad, que necesitaría de un manejo adecuado para convertirse en un suelo altamente productivo.

Figura 6.22. Análisis in situ de las calicatas.



La muestra N°1 fue la que registro las concentraciones más altas en el contenido de macroelementos (Calcio 10,93 ppm, Magnesio 69,15 meq/100g de suelo y Potasio 2841 ppm). Igualmente, el sodio presento una concentración de 32,929 ppm. Esto puede darse debido a que fue tomada en el área de manglar con alto contenido de materia orgánica, la cual tarda en

descomponerse porque está en un ambiente anaerobio y se da una liberación lenta y prolongada de nutrientes.

En cuanto a las muestras tomadas de las calicatas, se tomaron en cuenta los estratos existentes (*Anexo 11*). El muestreo interno de los horizontes del suelo y análisis químico demostraron que el suelo presenta una textura arcillosa (Cuadro 6.36), con un pH muy ácido (valores entre 4,20 a 4,86). En el área de la huella se confirmó que se trata de un suelo con un bajo nivel de fertilidad.

El contenido de materia orgánica tiene a su vez niveles de medios a bajos (de 0 a 4,51 % de M.O.). Esta situación sumada a los niveles de pH que maneja el suelo condiciona la presencia de elementos importantes para el crecimiento de las plantas, por lo que los bajos contenidos de macroelementos como el Fósforo (de 0 a 4 ppm), Calcio (0,08 a 0,95 ppm) y Magnesio (0,01 a 1,62 meq/100g de suelo) encontrados, responden a las características químicas del propio suelo. En el caso del elemento Potasio, los valores obtenidos presentaron concentraciones medias a altas (de 56 a 153 ppm). El contenido de otros microelementos como el Sodio (de 2 a 14 ppm), Hierro (de 10 a 111 ppm), Cobre (2 a 5 ppm), Manganeso (1 a 81 ppm) y Zinc (0,26 a 4 ppm), también han presentado afectaciones en su contenido debido a los niveles de pH del suelo, los cuales afectan la disponibilidad de estos elementos, como parte importante en el correcto desarrollo fisiológico de las plantas. Finalmente, el contenido de Aluminio (de 0 a 1,9 meq/100g de suelo) y la acidez del suelo (de 0,1 a 2,5 meq/100g de suelo) presentan valores medios a bajos en ambos casos. De hecho, esto explica la vegetación natural que se observa.

Con cierta particularidad se revisó el resultado de la Materia Orgánica, especialmente para relacionar las dos zonas más claras que se observan de los suelos. La materia orgánica constituyente del suelo tiene su origen en restos vegetales y animales que se depositan y que luego de varios procesos se le incorporan.

En el cuadro del *Anexo 10*, presenta los frutos del muestreo de este parámetro, a 20 cm de profundidad, en donde resultó que el contenido de la materia orgánica del suelo bajo estudio varía entre niveles altos, medios y bajos (de 1,63 a 43,21 % de M.O.). Igual que en casos anteriores, la muestra N°1 resultó con la concentración más alta de materia orgánica (43,21%) debido a que fue tomada en un área de manglar con gran cantidad de restos vegetales en descomposición, lo que

causa el aumento de la materia orgánica y el pH del suelo disminuye. Es pues palpable que los puntos que se ubicaron en las áreas de las instalaciones portuarias, altamente intervenidas, presentaron también los índices más bajos de Materia Orgánica.

Por otro lado, toda vez que el proyecto conlleva manejos de hidrocarburos, la línea base de análisis se amplió a este parámetro en 12 de los puntos de muestreos que, de alguna forma, tendrán relación con sus áreas de circulación. (ver **Anexo 12**)

El análisis realizado registró que el área está dentro de los límites permitidos por el Decreto Ejecutivo 2, del 14 de enero de 2009, por el cual se establece la Norma Ambiental de Calidad de Suelos para diversos usos. Los resultados fueron los siguientes (Cuadro 6.38):

Cuadro 6.38. Hidrocarburos totales del suelo.

| HIDROCARBUROS TOTALES DEL SUELO | | | | |
|---------------------------------|---|----------------------|-----------------|---------------|
| Nº | Identificación de la muestra | Coordenadas | Resultado mg/kg | Límite Máximo |
| 1 | Área de chumical cercano a manglar | 352863 E 920832 N | ≤0.03 | 620.0 mg/kg |
| 2 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352779 E 921087N | 2.02 | |
| 3 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352849 E 921143 N | 1.99 | |
| 4 | Huella del proyecto (cercano a manglar) | 352251 E 921299 N | ≤0.03 | |
| 5 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352476 E 921447 N | 2.06 | |
| 6 | Huella del proyecto (cercano a apiario) | 352428 E 921192 N | 2.28 | |
| 7 | Huella del proyecto (bordeando el mar) | 352458 E 920882 N | ≤0.03 | |
| 8 | Cercano a la huella del proyecto (área de chumical) | 352881 E 921452 N | 1.94 | |
| 9 | Área de chumical | 352984 E 921869 N | ≤0.03 | |
| 10 | Muestra en bosque secundario en regeneración | 352109 E 921863 N | ≤0.03 | |
| 11 | Muestra en área de depósito de sedimentos | 352428E 924010N | ≤0.03 | |
| 12 | Muestra en pasto mejorado. Suelo erosionado | 351950E 922653N | ≤0.03 | |

Así mismo, debido a algunas características asociadas al tipo de suelo surgió la hipótesis de la existencia de Pirita, por lo que se realizó un análisis del contenido de materiales sulfídicos mediante el análisis de pH, en muestras de suelo tomadas en zonas de manglar y en calicatas realizadas en la zona de construcción del proyecto. Se evaluó el nivel de pH de las muestras de suelo una vez extraídas de campo y posteriormente se evaluaron los cambios en el pH de la muestra, posterior al proceso de oxidación ocurrido durante los 8 días posteriores a la extracción de la muestra en campo, en donde se dejó secar las muestras de suelo a temperatura ambiente.

Los resultados obtenidos en las muestras de suelo de las calicatas no mostraron variación en los valores de pH; esto puede indicar que no hay contenido de materiales sulfídicos en el suelo ubicado en estas zonas del paisaje.

En cuanto a las muestras tomadas en las zonas ubicadas dentro del área de manglar, se pudo observar que, una vez transcurrido el periodo de tiempo de secado a temperatura ambiente de la muestra, se produjo un descenso en los valores de pH (principalmente en las muestras #1 y #7) que indicaría que los materiales sulfídicos contenidos en el suelo, como la pirita, han sufrido un proceso de oxidación, lo que vuelve al suelo significativamente más ácido, posiblemente por las condiciones edafoclimáticas encontradas en las zonas de manglar (suelos o sedimentos permanentemente saturados con aguas salobres). Los valores obtenidos fueron los siguientes (Cuadro 6.39):

Cuadro 6.39. Contenido de materiales sulfídicos.

| CONTENIDO DE MATERIALES SULFÍDICOS | | | | |
|------------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|-------------------------|
| Muestra | Coordenadas UTM | Profundidad | pH de las muestras | pH transcurridos 8 días |
| Calicata #1 | 0353417 E | 0 – 17 cm | 4.42 | 4.31 |
| | 0922086 N | | | |
| Calicata #1 | 0353417 E | 17 – 100 cm | 4.75 | 4.72 |
| | 0922086 N | | | |
| Calicata #2 | 0353174 E | 0 – 20 cm | 4.56 | 4.55 |
| | 0921726 N | | | |
| Calicata #2 | 0353174 E | 20 – 100 cm | 4.8 | 4.81 |
| | 0921726 N | | | |
| Calicata #3 | 0352895 E | 0 – 17 cm | 4.49 | 4.47 |
| | 0922741 N | | | |

| CONTENIDO DE MATERIALES SULFÚDICOS | | | | |
|------------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|-------------------------|
| Muestra | Coordenadas UTM | Profundidad | pH de las muestras | pH transcurridos 8 días |
| Calicata #3 | 0352895 E | 17 – 35 cm | 4.43 | 4.43 |
| | 0922741 N | | | |
| Calicata #3 | 0352895 E | 35 – 100 cm | 4.69 | 4.67 |
| | 0922741 N | | | |
| Calicata #4 | 0353030 E | 0 – 20 cm | 4.35 | 4.29 |
| | 0921758 N | | | |
| Calicata #4 | 0353030 E | 20 – 100 cm | 4.39 | 4.41 |
| | 0921758 N | | | |
| Calicata #5 | 0352815 E | 0 – 10 cm | 4.58 | 4.56 |
| | 0920849 N | | | |
| Calicata #5 | 0352815 E | 10 – 100 cm | 4.39 | 4.4 |
| | 0920849 N | | | |
| Calicata #6 | 0352612 E | 0 – 18 cm | 4.59 | 4.61 |
| | 0921353 N | | | |
| Calicata #6 | 0352612 E | 18 – 100 cm | 4.31 | 4.29 |
| | 0921353 N | | | |
| Muestra #1 – Área de manglar | 0353448 E | 0 – 20 cm | 5.6 | 4.82 |
| | 0922105 N | | | |
| Muestra #7 – Área de manglar | 0352759 E | 0 – 20 cm | 6.69 | 3.52 |
| | 0922748 N | | | |
| Muestra #9 – Área de manglar | 0352816 E | 0 – 20 cm | 6.38 | 6.17 |
| | 0920653 N | | | |

Caracterización taxonómica.

Para Reyes (2013), el sistema americano “Soil Taxonomy” fue desarrollado y coordinado internacionalmente en 1951 por el United States Department of Agriculture (USDA) y su subsidiaria National Cooperative Soil Survey (NCSS), como un nuevo sistema de clasificación, usando aproximaciones sucesivas para determinar la capacidad de un suelo para encajar en categorías predeterminadas. Así pues, este proceso interactivo culminó con la elaboración de un Sistema de Clasificación de Suelos, conocido como la séptima aproximación, en función de varios parámetros que se desarrollan en niveles: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia, y Serie.

Retomando los muestreos realizados, en donde se determinaron las características físicas y químicas del perfil del suelo, se puede clasificar taxonómicamente al suelo del terreno de la huella del proyecto como un Typic Kandiudults (USDA, 2014), que se caracteriza por ser un suelo con

baja saturación de bases y un horizonte B con una importante acumulación de arcilla. A continuación, la clasificación de estos suelos.

Cuadro 5.40. Clasificación de los suelos.

| CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA | |
|--------------------------|---|
| Orden | Ultisoles |
| Suborden | Udults |
| Gran Grupo | Kandiudults |
| Subgrupo | Typic Kandiudults |
| Familia | Franco grueso, caolinítico, térmico Typic Kandiudults |

El subgrupo Typic de Kandiudults se fija en suelos de drenaje libre que no tienen un horizonte sombrío y son muy profundos. Tienen una capacidad de intercambio catiónico baja y alto contenido de minerales débilmente cristalinos.

Por otro lado, tomando en cuenta la evaluación en campo y revisando la información relevante se puede concluir que el origen del orden Ultisol en el terreno abordado se formó a partir de materiales parentales del Plioceno y Pleistoceno; en tanto que en el paisaje estuarino se formaron a partir de sedimentos marinos y materiales del cuaternario medio y reciente.

Cabe agregar que, entre las unidades de suelo identificadas en el área de influencia directa está también presente el Alfisol, específicamente en el área de manglar; y si el área de influencia indirecta se caracteriza por destacar principalmente suelos Ultisol, en el área directa predominan los alfisoles.

- **Orden Ultisoles.**

- **Características generales:**

Son suelos que tienen un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenados, de profundos a muy profundos, un relieve de plano a muy escarpado; la fertilidad natural tiene valores de baja a media, con un contenido variable de aluminio. Se han desarrollado de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales.

– **Drenaje:**

En algunas áreas donde el drenaje natural es imperfecto, el nivel freático en épocas lluviosas se mantiene entre los 40–50 cm. de profundidad para bajar a más de un metro de profundidad en épocas seca.

– **Características morfológicas:**

Los Ultisoles presentan las siguientes características: texturas superficiales franco arcilloso y arcilloso, textura del subsuelo de arcilloso a muy arcilloso; colores pálidos en el suelo superficial, pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento claro, en el subsuelo los colores varían de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, en algunos casos los colores en el subsuelo varían producto del Hidromorfismo de gris pardusco claro a gris claro.

– **Característica física química:**

Valores de muy fuertemente ácido a medianamente ácido, el porcentaje de saturación de bases es de muy bajo a medio, la capacidad de intercambio catiónico es de bajo a medio, el porcentaje de aluminio intercambiable es de bajo a muy alto, el porcentaje de hierro libre es de alto a bajo y el porcentaje de fósforo asimilable es de bajo a medio.

– **Uso potencial:**

De acuerdo con sus Características edafoclimáticas, estos suelos, en tierras con pendientes de rangos <15%, son aptos para cultivos anuales como sorgo, maíz, hortalizas, algodón, frijoles, arroz, yuca; para cultivos semi perennes como caña de azúcar, banano, plátano, piña; para cultivos perennes como frutales, cítricos, palma africana, pastos y para bosque con sus respectivas prácticas de conservación y planes de manejo forestal. Los suelos con pendientes de hasta 30% son aptos para manejo silvopastoril, agroforestal y bosque, con sus prácticas y planes de manejo. Los suelos con pendientes de 30–50% son aptos para agroforestería y bosque, con prácticas y planes de manejo. Los suelos con pendientes >50% son aptos para bosques de protección o conservación de la flora y la fauna.

En estudios de pedogénesis, Wilding et al. (1983) señalaron que la mayoría de los Ultisoles se formaron a partir materiales de parentales del Pleistoceno o más antiguas.

Por otra parte, Jaramillo et al. (1991) señalaron que los Ultisoles se encuentran en áreas planas y onduladas, muy estables; desarrollados a partir de material sedimentario del mioceno, bajo régimen climático húmedo, en donde las precipitaciones medias anuales oscilan entre 2515 y 2974 milímetros. Estos suelos presentan un intenso proceso de translocación de las arcillas. Presentan horizontes argílicos muy desarrollados, estructuras en bloques angulares y subangulares, de color rojo amarillento, pardo rojizo o pardo oscuro, medianamente profundos a profundos, con horizontes pobremente marcados, de drenaje pobre, de buena permeabilidad y bajo contenido de materia orgánica, medianamente ácidos a muy ácidos y con contenidos bajos de bases intercambiables y de nutrientes; lo que determina una baja fertilidad natural y pobre productividad agrícola

- **Orden Alfisoles.**

- **Características generales:**

Suelos minerales maduros, bien desarrollados, con un horizonte superficial de color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (horizonte argílico), de muy profundos a pocos profundos (60 a > 120 cm.). Tienen un relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; y están desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas.

- **Drenaje:**

El drenaje interno en estos suelos varía de pobre y moderado a bien drenados, con profundidades que varían de muy profundo a poco profundo, encontrándose el nivel freático fluctuante a una profundidad de 20 cm en algunas áreas, durante épocas lluviosas.

- **Características morfológicas:**

Las Características de estos suelos son: texturas de arcillosos a franco arcillosos y franco arenosos, con colores que varían de pardo grisáceo muy oscuro a pardo rojizo y pardo amarillento, volviéndose a más claro.

– **Características químicas:**

Las Características de estos suelos son: el contenido de materia orgánica varía de alto a muy bajo, el pH es de muy fuertemente ácido a neutro, con un porcentaje de saturación de bases que oscila de alto a bajo y presentan una capacidad de intercambio catiónico de alto a muy bajo.

– **Uso potencial:**

Estos suelos están aptos para cultivos como maíz, sorgo, ajonjolí, caña de azúcar, yuca, arroz, plátano, piña, etc., en pendientes con rangos de 0–15% y tomando en cuenta las debidas medidas de conservación y manejo; algunas áreas con problemas de drenaje interno del suelo (imperfecto y pobre) son aptos para pastos. Los suelos con rangos de pendientes de 15–30% son apropiados para cultivos como pastos, piña, algunos frutales, silvopasturas, agroforestería, con prácticas de conservación de bosques de producción, protección y conservación, con sus debidos planes de manejo. Los suelos con rangos de pendientes de 30–50% son aptos para agroforestería, con sus prácticas de conservación: bosque de explotación, bosque de protección y bosque de conservación; y los suelos con pendientes >50% son aptos únicamente para bosques de protección y conservación, en todos los casos con sus respectivos planes de manejo forestal.

6.3.1. La descripción del uso de suelo

El mapa de usos de suelo corresponde a la huella del proyecto y al área de influencia directa e indirecta. Contiene cinco categorías de usos, verificadas en los mapas de usos de suelo del año 2012 realizado por las instituciones que estudian el tema y los análisis realizados por el equipo de trabajo sobre fotos satelitales y aéreas, así como los resultados de los trabajos de campo y necesidades surgidas del estudio.

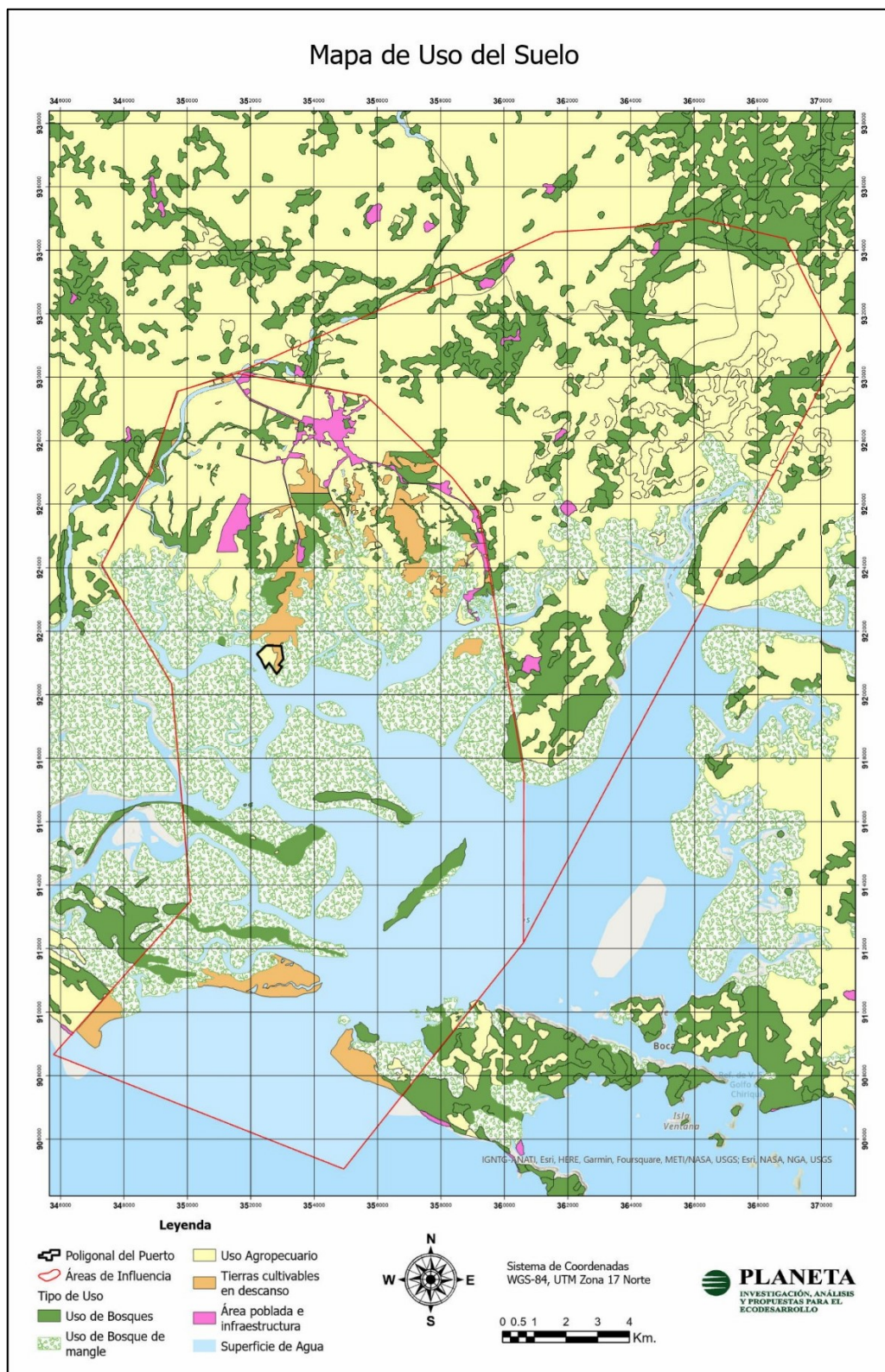
Las categorías acordadas para el mapa son las siguientes (Mapa 6.4): Gramínea arbustiva, Bosque de manglar, Bosque secundario, Agropecuaria, Área poblada e infraestructura.

- Gramínea arbustiva: el mayor porcentaje de uso de suelo presentado en la huella del proyecto corresponde a las gramíneas, las mismas han sido una medida para la protección del suelo previniendo la erosión.
- Bosque de manglar: se presentan las colindancias Noroeste y Sureste del área del proyecto, los suelos tienen poco valor agrícola ya que presentan alto contenido de salinidad y mal drenaje. En los análisis de suelos realizados, se pudo determinar el alto contenido de macronutrientes en los manglares ubicados al noroeste del proyecto, ya que la materia orgánica tarda en descomponerse porque está en un ambiente anaerobio y se da una liberación lenta y prolongada de nutrientes.
- Bosque secundario: bosque secundario es bastante joven, propio de sitios dedicados a actividades agropecuarias. Se encuentra ubicado en el área noroeste de la huella del proyecto.
- Agropecuaria: Actualmente, dentro de la huella del proyecto se realizan actividades producción apícola. Igualmente, en el área de influencia directa existen actividades agrícolas como: producción bovina, pecuaria, cría de ovejas, producción de arroz, plantación de palma aceitera, entre otras.
- Área poblada e infraestructura: Corresponde a las instalaciones del Centro Penitenciario de David, la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá y una hectárea que cuenta con paneles solares.

Cuadro 6.41. Características de fincas representativas del uso de suelo.

| Nº | NOMBRE DE LA FINCA Y UBICACIÓN | CUENCA | EXTENSIÓN PERIMETRAL | TOPOGRAFÍA | TIPOS DE SUELO | ACTIVIDAD DE USO | PRODUCTOS | TECNOLOGÍA |
|---|--|--------------|--|------------|----------------|--|--|---|
| 1 | IKAKO (351502 E, 923394 N) | Río Chiriquí | 980 ha | Plana | Arcilloso | Pecuaria | Ganado de ceba | Finca parcelada, con pasto mejorado, no estabulada |
| 2 | IKAKO (351058 E, 925011 N) | Río Chiriquí | 100 ha | Plana | Arcilloso | Eléctrica | Paneles solares | Contenedores de 1000 kW de potencia cada uno, compuesto por dos inversores de 500kW en su interior. |
| 3 | 352073 E, 926785 N | Río Chiriquí | 260 ha aprox. | Ondulada | Arcilloso | Agrícola | Palma aceitera | Herramientas manuales y mecanizadas |
| 4 | Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá (353553 E, 928197 N) | Río Chiriquí | Más de 850 ha | Plana | Arcilloso | Agrícola y pecuaria | Cerdos, pollos, huevos, ovejas Pelibuey cruzadas con Katahdin y Dorper, cabras Toggenburg y Manchego, semillas de arroz, pacas de heno | Herramientas manuales y mecanizadas |
|  <p>Generador Ikako</p> | | |  <p>Ganadería Ikako</p> | | |  <p>Palma aceitera</p> | | |

Mapa 6.4. Uso de Suelo actualizado del área de influencia directa del proyecto



Fuente: Equipo Consultor, 2022.

6.3.2 Deslinde de la propiedad

El proyecto se desarrollará dentro de seis fincas con una superficie total de 124 ha + 6,054.38 m², ubicadas en Corregimiento de Chiriquí, Distrito de David y Provincia de Chiriquí. A continuación, se presenta el detalle de las fincas.

Figura 6.23. Límites del Polígono del Proyecto, con Topografía



Cuadro 5.42. Coordenadas UTM WGS84 del polígono del proyecto.

| PUNTO | ESTE | NORTE | PUNTO | ESTE | NORTE | PUNTO | ESTE | NORTE |
|-------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 353188.72 | 922530.48 | 73 | 352365.60 | 921388.48 | 145 | 352987.09 | 921192.34 |
| 2 | 352784.56 | 922358.07 | 74 | 352269.07 | 921306.66 | 146 | 352979.73 | 921204.58 |
| 3 | 352402.77 | 922179.36 | 75 | 352205.73 | 921281.52 | 147 | 352977.38 | 921210.87 |
| 4 | 352377.89 | 922140.79 | 76 | 352216.74 | 921263.47 | 148 | 352976.27 | 921216.22 |
| 5 | 352334.87 | 922147.38 | 77 | 352228.93 | 921251.21 | 149 | 352975.55 | 921232.94 |
| 6 | 352291.60 | 922180.89 | 78 | 352255.63 | 921209.20 | 150 | 352974.91 | 921246.91 |
| 7 | 352281.70 | 922144.34 | 79 | 352282.34 | 921167.19 | 151 | 352973.89 | 921253.20 |

EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

| | | | | | | | | |
|----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|
| 8 | 352167.49 | 922137.99 | 80 | 352313.70 | 921138.96 | 152 | 352970.33 | 921266.09 |
| 9 | 352137.67 | 922099.92 | 81 | 352346.30 | 921074.13 | 153 | 352968.66 | 921274.11 |
| 10 | 352107.84 | 922061.85 | 82 | 352411.27 | 920927.76 | 154 | 352969.23 | 921280.96 |
| 11 | 352060.07 | 921971.00 | 83 | 352456.56 | 920811.38 | 155 | 352972.69 | 921285.50 |
| 12 | 352016.42 | 921903.47 | 84 | 352460.46 | 920822.13 | 156 | 352982.13 | 921290.86 |
| 13 | 352006.61 | 921888.31 | 85 | 352489.56 | 920851.89 | 157 | 352986.99 | 921293.36 |
| 14 | 351950.48 | 921824.03 | 86 | 352482.56 | 920884.91 | 158 | 352991.31 | 921298.75 |
| 15 | 351958.10 | 921757.54 | 87 | 352482.67 | 920899.85 | 159 | 352994.04 | 921307.03 |
| 16 | 352010.38 | 921731.14 | 88 | 352469.58 | 920924.96 | 160 | 352994.72 | 921316.33 |
| 17 | 352031.45 | 921728.86 | 89 | 352488.35 | 920937.67 | 161 | 352995.55 | 921349.93 |
| 18 | 352055.71 | 921722.79 | 90 | 352505.58 | 920921.98 | 162 | 352995.03 | 921354.66 |
| 19 | 352062.92 | 921720.99 | 91 | 352528.22 | 920944.89 | 163 | 352993.72 | 921359.78 |
| 20 | 352104.85 | 921722.50 | 92 | 352550.86 | 920967.79 | 164 | 352990.19 | 921365.44 |
| 21 | 352150.62 | 921723.36 | 93 | 352552.64 | 920968.36 | 165 | 352984.54 | 921369.81 |
| 22 | 352177.39 | 921741.29 | 94 | 352571.08 | 920995.79 | 166 | 352973.77 | 921375.09 |
| 23 | 352202.51 | 921748.65 | 95 | 352561.71 | 921026.20 | 167 | 352966.29 | 921378.60 |
| 24 | 352239.57 | 921765.66 | 96 | 352580.68 | 921041.20 | 168 | 352961.19 | 921381.67 |
| 25 | 352309.87 | 921807.54 | 97 | 352591.90 | 921044.11 | 169 | 352953.90 | 921389.04 |
| 26 | 352333.73 | 921826.32 | 98 | 352603.53 | 921030.44 | 170 | 352950.23 | 921398.74 |
| 27 | 352369.67 | 921876.68 | 99 | 352616.14 | 921004.52 | 171 | 352948.51 | 921410.75 |
| 28 | 352406.58 | 921902.21 | 100 | 352628.74 | 920978.60 | 172 | 352947.68 | 921422.61 |
| 29 | 352469.35 | 921930.04 | 101 | 352634.23 | 920970.22 | 173 | 352947.39 | 921434.07 |
| 30 | 352478.15 | 921946.62 | 102 | 352640.97 | 920954.87 | 174 | 352947.87 | 921441.65 |
| 31 | 352499.97 | 921931.52 | 103 | 352643.01 | 920868.33 | 175 | 352950.57 | 921460.72 |
| 32 | 352523.72 | 921946.30 | 104 | 352649.48 | 920847.96 | 176 | 352951.69 | 921468.39 |
| 33 | 352551.75 | 921936.34 | 105 | 352663.32 | 920821.70 | 177 | 352952.87 | 921479.96 |
| 34 | 352562.92 | 921950.94 | 106 | 352671.65 | 920811.20 | 178 | 352952.78 | 921490.61 |
| 35 | 352583.87 | 921962.80 | 107 | 352680.29 | 920799.34 | 179 | 352952.20 | 921503.16 |
| 36 | 352609.24 | 921959.57 | 108 | 352683.36 | 920794.17 | 180 | 352953.23 | 921512.58 |
| 37 | 352620.91 | 921989.01 | 109 | 352688.34 | 920782.67 | 181 | 352955.24 | 921520.13 |
| 38 | 352689.82 | 922009.82 | 110 | 352691.12 | 920772.78 | 182 | 352960.52 | 921533.57 |
| 39 | 352709.11 | 922036.98 | 111 | 352696.10 | 920744.22 | 183 | 352975.39 | 921526.59 |
| 40 | 352766.22 | 922028.60 | 112 | 352731.01 | 920700.06 | 184 | 352983.60 | 921544.09 |
| 41 | 352799.21 | 922048.40 | 113 | 352761.49 | 920676.04 | 185 | 352985.51 | 921561.60 |
| 42 | 352798.45 | 922092.05 | 114 | 352777.70 | 920672.21 | 186 | 352988.04 | 921571.50 |
| 43 | 352828.95 | 922086.25 | 115 | 352800.64 | 920678.68 | 187 | 353005.05 | 921588.25 |
| 44 | 352836.35 | 922100.40 | 116 | 352840.28 | 920660.96 | 188 | 353021.04 | 921591.04 |
| 45 | 352834.75 | 922130.13 | 117 | 352909.53 | 920711.34 | 189 | 353045.15 | 921600.18 |
| 46 | 352866.66 | 922172.76 | 118 | 352945.31 | 920772.98 | 190 | 353098.96 | 921635.71 |
| 47 | 352876.12 | 922102.97 | 119 | 352950.08 | 920781.18 | 191 | 353104.62 | 921643.88 |
| 48 | 352848.97 | 922076.83 | 120 | 352955.34 | 920797.13 | 192 | 353110.47 | 921646.28 |
| 49 | 352835.51 | 922057.28 | 121 | 352972.12 | 920817.92 | 193 | 353122.05 | 921646.88 |
| 50 | 352857.02 | 922038.80 | 122 | 352993.32 | 920849.16 | 194 | 353125.60 | 921653.74 |
| 51 | 352858.10 | 922024.03 | 123 | 352978.79 | 920872.83 | 195 | 353137.79 | 921654.75 |
| 52 | 352821.29 | 921910.84 | 124 | 352968.75 | 920884.90 | 196 | 353149.97 | 921659.82 |
| 53 | 352773.32 | 921916.42 | 125 | 352937.69 | 920893.99 | 197 | 353162.66 | 921661.34 |
| 54 | 352756.59 | 921888.23 | 126 | 352903.26 | 920904.46 | 198 | 353179.54 | 921667.06 |
| 55 | 352707.11 | 921940.44 | 127 | 352872.95 | 920913.82 | 199 | 353189.57 | 921677.08 |
| 56 | 352589.19 | 921885.84 | 128 | 352857.83 | 920922.45 | 200 | 353202.26 | 921703.73 |
| 57 | 352593.80 | 921881.83 | 129 | 352852.09 | 920939.65 | 201 | 353232.46 | 921753.22 |
| 58 | 352537.85 | 921862.40 | 130 | 352856.96 | 920965.66 | 202 | 353232.97 | 921770.74 |
| 59 | 352517.83 | 921822.89 | 131 | 352890.26 | 921009.19 | 203 | 353226.12 | 921798.65 |
| 60 | 352492.81 | 921824.37 | 132 | 352915.27 | 921047.13 | 204 | 353226.88 | 921811.09 |
| 61 | 352476.82 | 921807.93 | 133 | 352919.87 | 921053.33 | 205 | 353217.74 | 921847.38 |
| 62 | 352474.88 | 921780.17 | 134 | 352927.93 | 921062.37 | 206 | 353260.63 | 921882.92 |

EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

| | | | | | | | | |
|----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|
| 63 | 352449.20 | 921781.97 | 135 | 352941.11 | 921073.93 | 207 | 353337.28 | 921763.88 |
| 64 | 352458.85 | 921749.93 | 136 | 352982.56 | 921103.90 | 208 | 353366.72 | 921676.83 |
| 65 | 352472.92 | 921730.14 | 137 | 352997.73 | 921115.83 | 209 | 353396.93 | 921700.68 |
| 66 | 352486.99 | 921710.35 | 138 | 353007.25 | 921125.18 | 210 | 353402.94 | 921808.25 |
| 67 | 352490.41 | 921678.91 | 139 | 353016.02 | 921140.19 | 211 | 353413.58 | 921998.49 |
| 68 | 352493.83 | 921647.47 | 140 | 353016.91 | 921147.23 | 212 | 353417.23 | 922063.88 |
| 69 | 352502.26 | 921613.37 | 141 | 353015.89 | 921152.99 | 213 | 353416.47 | 922106.01 |
| 70 | 352515.40 | 921560.22 | 142 | 353011.56 | 921161.87 | 214 | 353377.89 | 922152.21 |
| 71 | 352491.87 | 921522.80 | 143 | 353004.82 | 921171.05 | 215 | 353359.62 | 922203.22 |
| 72 | 352482.95 | 921543.74 | 144 | 352996.84 | 921180.55 | 216 | 353363.43 | 922212.61 |

Cuadro 6.43. Fincas que integran el polígono del proyecto.

| FINCAS QUE INTEGRAN EL TERRENO DE PROYECTO | | | |
|--|---------------------|---------------------------------|--|
| FINCA | CÓDIGO DE UBICACIÓN | SUPERFICIE | PROPIETARIO |
| 392875 | 4504 | 25 ha + 6,109.12 m ² | BARU MARINA GROUP, S de RL |
| 37862 | 4501 | 24 ha + 4,702.44 m ² | BARU INDUSTRIAL PARK, S.A. |
| 37999 | 4501 | 22 ha + 3,160.98 m ² | BARU INDUSTRIAL PARK, S.A |
| 35923 | 4501 | 17 ha + 9,679.25 m ² | GUILLERMO CARDENAS |
| 65569 | 4501 | 19 ha + 6,792.79 m ² | INVERSORES DE PROPIEDAD INDUSTRIAL, S de RL. |
| 9025 | 4501 | 14 ha + 5,609.80 m ² | CITRICOS, S.A. |

Los linderos, según consta en el plano de lotificación del proyecto son los siguientes:

Norte: Finca 22274 propiedad del Instituto de Recursos Naturales Renovable (INRENARE)

Este: zona de manglar

Oeste: Propiedad Idania Castillo Aguilar

Sur: Estuario del Río Chiriquí

Entre las actividades principales que se realizan en las fincas colindantes se destacan la producción apícola, plantación de palma aceitera, producción agrícola, producción energética mediante paneles solares. Además, a unos metros del proyecto se encuentra el Centro Penitenciario de Chiriquí y los terrenos propiedad de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.

Igualmente, al Noroeste y Sureste que colindan con el área del proyecto se pudo observar que existen quebradas cortas que desembocan al Río Chiriquí Nuevo, transportando nutrientes hacia los manglares.

6.3.3. Capacidad de uso y aptitud

Para la determinación del Uso Potencial de la Tierra y en particular la identificación de las diferentes categorías agrológicas presentes en el área, se utilizaron: la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, el Mapa del Dr. Reinmar Tejeira, el mapa de CATAPAN (con una cobertura del 45% del área), el mapa de Zonas de Vida y el ATLAS de Panamá. También se realizaron inspecciones visuales del suelo para poder establecer algunas características de estos y se realizó un muestreo en el área de estudio para conocer las características físicas y químicas del suelo.

Como es conocido, el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos cataloga las tierras en ocho (8) clases y le asigna números romanos a cada una de estas clases (de I a VIII); entre más aumenta el número así aumenta las limitaciones del suelo.

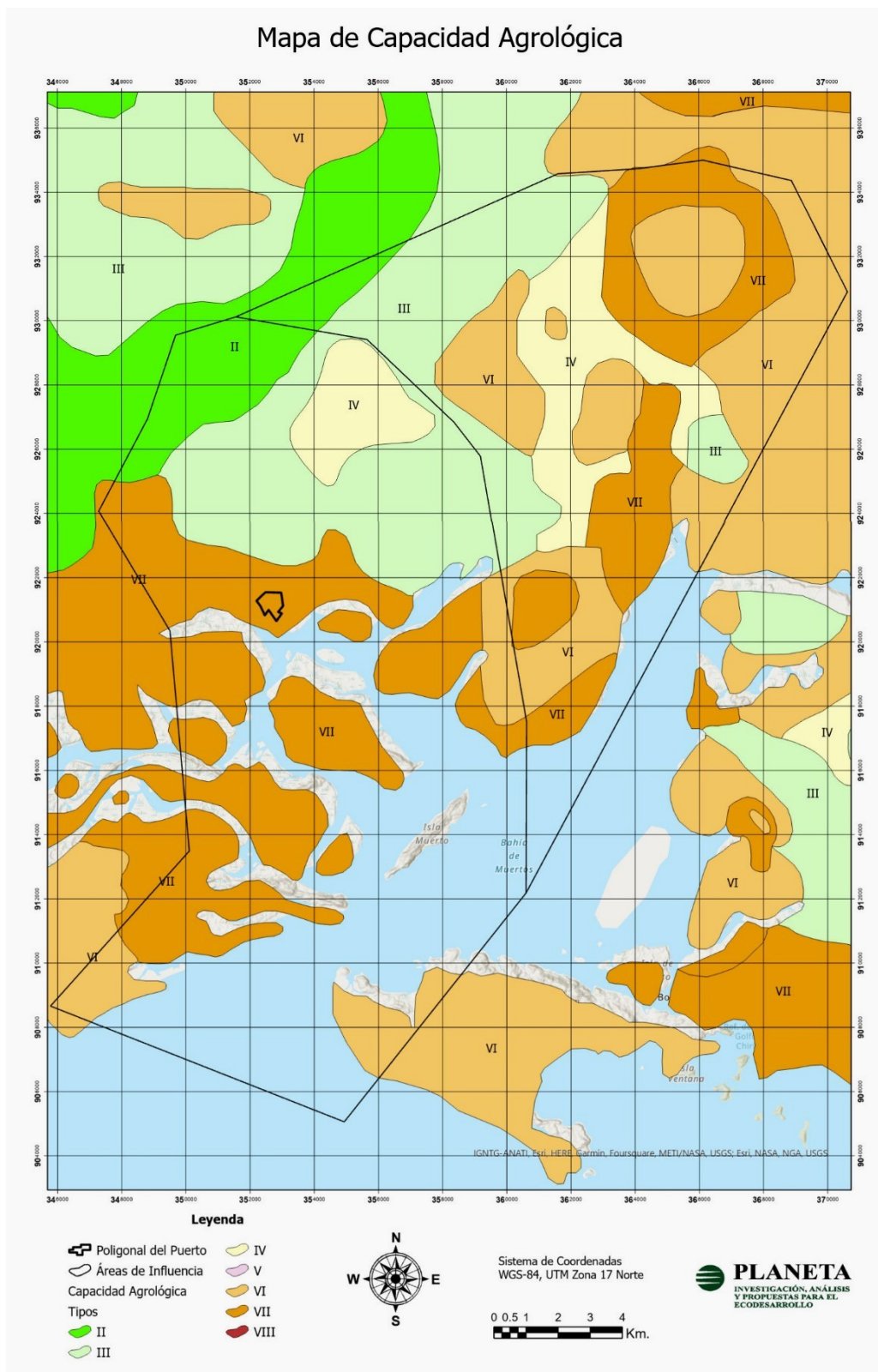
La determinación entre una clase y otra se hace en base a la utilización de parámetros básicos para realizar la clasificación como: profundidad de suelo, textura/estructura, permeabilidad, pedregosidad, pendiente del terreno, grado de erosión, temperatura y pluviosidad. Posteriormente y con los años se han tomado en cuenta otros parámetros como la materia orgánica, pH, grado de saturación, capacidad de intercambio catiónico y aniones solubles.

En el área de influencia directa se pueden distinguir cinco capacidades agrológicas, la II, III, IV, VI y VII, está última siendo la de mayor porcentaje de presencia. Justamente las mayores extensiones agrícolas y pecuarias se han instalado en áreas de Clase II, III y IV, mientras que la mayoría del terreno del proyecto se encuentra en el área de Clase VII; sólo una pequeña extensión, al Noreste, puede ubicarse en Clase III. Sus características pueden resumirse así:

- Clase III Arable: Las tierras de esta clase son aptas para la producción de cultivos anuales. Pueden utilizarse además para la producción de cultivos permanentes, ganadería, actividades forestales y protección. Los terrenos de esta clase presentan limitaciones severas que, restringen la selección de cultivos o incrementan sustancialmente los costos de producción. Requiere conservación especial.

- Clase VII No Arable: Esta clase es apta para el manejo del bosque natural, además de protección. Las limitaciones son tan severas que los hacen inadecuados para cultivos y restringen su uso a pradera, forestación y refugio de vida silvestre; ni siquiera las plantaciones forestales son recomendables en los terrenos de esta clase. Cuando existe bosque en estos terrenos se deben proteger para provocar el reingreso de la cobertura forestal mediante la regeneración natural. En algunos casos y no como regla general es posible establecer plantaciones forestales con relativo éxito y también pastos.

Mapa 6.5. Capacidad agrológica de suelos del área de influencia directa.



Fuente: Equipo Consultor, 2022.

Unidades de suelos.

Las Unidades de Suelos están caracterizadas/descritas (Cuadro 6.35), mediante verificación en campo; la caracterización edáfica tiene como fuente secundaria información del IDIAP, así como la taxonomía. Además, se describió a cada unidad la superficie y porcentaje dentro del área de influencia. Los paisajes identificados corresponden al área de influencia indirecta biogeofísica, y se tomó como base las unidades de la geomorfología, siguiendo particularmente la clasificación de geoformas de Piedemonte, de Valles y de Estuario.

Suelos de paisaje piedemonte.

- **Mesa volcánica (MV).**

Esta unidad se ubica en la Gran Galena de Chorchá (como ya lo expresa la caracterización de geoformas), y ocupa una superficie de 3,653 ha, representando el 8,8% del área de influencia directa del proyecto. La Galena de Chorchá se caracteriza por contar con una zona elevada de terreno, con una cima y una asociación de relieves de suavemente ondulado y ondulado; las laderas tienen pendientes que gradan, presentándose en el área próxima a la cima, una asociación de pendientes muy escarpada y escarpada. El resto de la unidad presenta una pendiente predominante ondulada. El Cuadro 6.44 pone de relieve sus características.

Cuadro 6.44. Unidades de suelo de piedemonte – Mesa volcánica.

| UNIDADES DE SUELOS DE PIEDEMONTES | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------|-----|
| Símbolo | Sub-paisaje | Topografía | Rangos de pendiente (%) | Caracterización edáfica | Capacidad agrológica | Clasificación taxonómica | Área (ha) | % |
| MVC | Mesa volcánica cima | Suavemente ondulada a ondulada | 3-8 8-20 | Bajo y moderado potencial de erosión | VIITE | Ultisol | 1.008 | 2,4 |
| MVE1 | Mesa volcánica escarpe | Escarpada a muy escarpada | 45-60 60-100 | Muy alto potencial de erosión | VIITE | Ultisol | 1.837 | 4,4 |
| MVE2 | Mesa volcánica escarpe | Ondulada | 8-20 | Moderado potencial de erosión | VIITE | Ultisol | 809 | 1,9 |

– **Cima de la mesa volcánica (MVC)**

Está caracterizada por tener una asociación de relieves suavemente ondulados a ondulados, y tiene una asociación moderado potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos, que corresponde a las pendientes onduladas. Ocupan una superficie de 1008 ha, lo que representa el 2,4 % del área de influencia del proyecto.

– **Escarpes con asociación de relieve escarpado y muy escarpado (MVE1)**

Están ubicadas en la parte alta de la Mesa a continuación de la Cima. Tiene un potencial morfodinámico muy alto por activación de procesos erosivos, que corresponde a los relieves escarpados y muy escarpados. Ocupan una superficie de 1.837 ha, lo que representa el 4,4 % del área de influencia del proyecto.

– **Escarpes con relieves ondulados (MVE2).**

Tiene un potencial morfodinámico moderado por activación de procesos erosivos. Ocupan una superficie de 809 ha, lo que representa el 1,9 % del área de influencia del proyecto. Se ubican en las áreas bajas de la Mesa.

• **Glacis (G).**

Las unidades de glacis ocupan una superficie de 7.956 ha, lo que representa el 19,2 % del área de influencia del proyecto y se caracteriza por presentar pendientes muy variables. El plano inclinado del glacis es entallado por los procesos de erosión, produciendo diferentes grados de disección, que da origen dos geoformas, con diferentes pendientes y potenciales morfodinámicos por activación de procesos erosivos.

Cuadro 6.45.Unidades de suelo de piedemonte – Glacis (G).

| UNIDADES DE SUELOS DE PIEDEMONTE | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------|------|
| Símbolo | Sub-paisaje | Topografía | Rangos de pendiente (%) | Caracterización edáfica | Capacidad agrológica | Clasificación taxonómica | Área (ha) | % |
| G | Glacis conservado y disectado | Suavemente ondulado a ondulado y viceversa | 3-8 8-20 | Bajo y moderado potencial de erosión | IVTE | Ultisol | 7.956 | 19,2 |

- **Lomas.**

Son relieves accidentados, caracterizados por presentar su base con dirección predominante y configuración alargada. En el Cuadro 6.45 se presenta su descripción. Esta unidad (Lomas) ocupa una superficie de 4.148 ha, lo que representa el 10 % del área de influencia del proyecto.

Cuadro 6.46. Unidades de suelo de piedemonte – Lomas.

| UNIDADES DE SUELOS DE PIEDEMONTE | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------|--|----------------------|--------------------------|-----------|-----|
| Símbolo | Sub-paisaje | Topografía | Rangos de pendiente (%) | Caracterización edáfica | Capacidad agrológica | Clasificación taxonómica | Área (ha) | % |
| L.1 | Lomas con asociación de relieves ligeramente escarpados y ondulados | Ligeramente escarpada y ondulada | 20-45 8-20 | alto y moderado potencial de erosión | VITE | Ultisol | 1.796 | 4,7 |
| L.2 | Lomas con asociación de relieve escarpados muy escarpados y ondulados | Muy escarpada, escarpada y ondulada | 60-100 45-60 8-20 | Asociación de muy alto a alto y moderado bajo potencial de erosión | VITE | Ultisol | 2.352 | 6,1 |

– **Lomas con relieves ligeramente escarpados y ondulados (L.1)**

Está caracterizada por tener una asociación de relieves de ligeramente escarpado y ondulado, y una asociación de alto y moderado potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos. Ocupan una superficie de 1.796 ha, lo que representa el 4,3 % del área de influencia del proyecto

– **Lomas con relieve muy escarpado, escarpado y ondulados (L.2)**

Se caracteriza por tener una asociación relieves de escarpados a ligeramente escarpados y ondulados, y de igual manera una asociación de muy alto, a alto y moderado potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos. Ocupan una superficie de 2.352 ha, lo que representa el 5,7 % del área de influencia del proyecto.

Unidades de valle.

Los valles, es conocido, son depresiones alargadas por las cuales se escurren o se han escurrido un curso de agua natural. Ocupan en el área de influencia una superficie de 3.023 ha, lo que representa el 7,2 % del área de influencia del Proyecto.

Cuadro 6.47. Unidades de suelos de valles.

| UNIDADES DE SUELOS DE VALLE | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------|-------------------------|--|----------------------|--------------------------|-----------|-----------|
| Símbolo | Sub-paisaje | Topografía | Rangos de pendiente (%) | Caracterización edáfica | Capacidad agrológica | Clasificación taxonómica | Área (ha) | % |
| V.1 | Valle del río Chiriquí | Plana | 0-3 | Sin potencial de erosión y sin potencial de inundación | IIP | Ultisol | 3.023 | 7,9 |
| V.2 | Valle de los ríos Chorcha y Corrales | Ondulada | 8-20 | Sin potencial de erosión y sin potencial de inundación | III | Ultisol | No aplica | No aplica |
| V.3 | Valles de glacis | Ondulada | 8-20 | Alto potencial de inundación, con moderados potencial de erosión | III | Ultisol | No aplica | No aplica |

– Valle del río Chiriquí (V.1)

Corresponde al valle determinado por el río Chiriquí que se mantiene dentro del área de influencia del proyecto, siendo predominantemente en área de Glacis, pero condicionado por la dinámica fluvial, hasta llegar al complejo pantanoso del estuario. Ocupa una superficie de 3.023 ha, lo que representa el 7,2 % del área de influencia del Proyecto.

– Valles de los ríos Chorcha y Corrales (V.2)

Estos valles predominando en el Paisaje de Glacis, son estrechos con régimen de escurrimiento permanente de los ríos. Su fondo es inundable de acuerdo con lo plasmado en el capítulo de la geomorfología. No se observan Movimientos de Masa; no son mapeables.

– **Valles de Glacis (V.3)**

Son valles de disección del glacis; son estrechos y numerosos, ocupan las áreas correspondientes a las pendientes onduladas de la geoforma, y tienen fondo estrecho y sometido a inundaciones frecuentes en el fondo. No se observan Movimientos de Masa; no son mapeables.

Unidades del estuario.

Estas unidades de suelo ocupan una superficie de 19.642 ha, lo que representa el 47,4 % del área de influencia del Proyecto. La geomorfología identifica dos Sub-Paisajes o Sistemas que se mantienen en la definición de suelos por sus condiciones: el Complejo de sedimentario de cordón litoral y el Complejo de sedimentario de pantano, en el cual, es obvio que no ocurren movimientos de masa por ser un medio deposicional. A continuación, la caracterización por unidad.

- **Unidad del Complejo Sedimentario Cordón Litoral.**

Está ubicado hacia la entrada al estuario por el Golfo de Chiriquí, en Boca Brava, donde se encuentran dos Geoformas relacionadas con la dinámica litoral: Playas y Grao. Los aportes de sedimentos en este Complejo están dominados por el oleaje, corrientes, y mareas. Los sedimentos tienden a ser más gruesos que el limo, debido a que es un sistema de alta energía, producto del sistema de transporte, corrientes litorales, y las olas. Ocupan una superficie de 675 ha, lo que representa el 1,2% del área de influencia del proyecto (Cuadro 6.48).

Cuadro 6.48. Unidades de suelos de estuario.

| UNIDADES DE SUELOS DE ESTUARIO | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------|------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------|-----|
| Símbolo | Sub-paisaje | Topografía | Rangos de pendiente (%) | Caracterización edáfica | Capacidad agrológica | Clasificación taxonómica | Área (ha) | % |
| P | Playas | Plana | 0-3 | Alto potencial morfodinámico | VIE | Alfisol | 429 | 1,1 |
| Gr | Grao | No aplica | No aplica | Muy alto potencial de erosión | No aplica | No aplica | 246 | 0,1 |

– **Playas (P)**

Presentan un balance morfodinámico alto por las variaciones que ocurren en el balance de erosión y progradación o acumulación. Ocupan una superficie de 429 ha, lo que representa el 1,1 % del área de influencia del proyecto.

– **Grao (Gr)**

Como ha sido ya explicado anteriormente, es la zona donde se interrumpe la continuidad del cordón litoral, a través de la cual penetra la marea a la Laguna, en el sitio denominado localmente Boca Brava; su ancho es de 1.671 m y su profundidad es de -47 m. Este componente del sistema es importante por cuanto, a través de él y la entrada de Boca Chica, se realiza al intercambio de agua entre el Estuario y el Océano Pacífico. Ocupan una superficie de 245 ha, lo que representa el 0,1% del área de influencia del proyecto. Vale recordar que hay un intenso proceso de progradación en el área de costa de la boca.

• **Unidad del Complejo Sedimentario de Pantano.**

Ocupa una superficie de 19.634 ha, lo que representa el 49,4 % del área de influencia del proyecto. Está constituido por terrenos bajos, asociados a la planicie costera y bajo la influencia de las mareas. El complejo esta colonizado casi en su totalidad por vegetación de manglares, y es atravesado por otros ambientes deposicionales como el rio Chiriquí, el cual ya se ha dicho posee una desembocadura por la playa desde del grao del estuario, mediante un difluente del mismo rio.

Finalmente se resalta que, en esta unidad de Complejo Sedimentario de Pantano, la granulometría es de limos y arcillas, y los procesos de deposición son de baja energía y poca circulación. En el Cuadro 6.49 se presenta la caracterización y su descripción.

Cuadro 6.49. Unidades de suelos de estuario.

| UNIDADES DE SUELOS DE ESTUARIO | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|--|--------------------------|--|----------------------|--------------------------|-----------|------|
| Símbolo | Sub-paisaje | Topografía | Rangos de pendiente (%) | Caracterización edáfica | Capacidad agrológica | Clasificación taxonómica | Área (ha) | % |
| Sc | Schorre | Plana ondulada | 0-3 3-8 | Permanentemente inundada y sin potencial de erosión, con bajo potencial morfodinámico | VIID | Alfisol | 10.114 | 24,4 |
| Si | Slikke | Plana | No aplica | Inundadas por las mareas diarias, son depósitos de limo en canales de marea, sin potencial de erosión (Bajo potencial morfodinámico) | No aplica | No aplica | 163 | 0,4 |
| Lr | Lomas relictos | Asociación de relieves escarpados a muy escarpados | No mapeable en la escala | Asociación de alto potencial a muy alto potencial morfogenético por procesos erosivo | VIITE | Ultisol | 609 | 1,5 |

– **Schorre (Sc)**

Corresponde a Limos depositados por las mareas, colonizados por la vegetación y solo recubiertos por breves intervalos; en el área de estudio la vegetación es de Manglar. Cubren junto con la Laguna la mayor parte del área de estudio en el estuario; están ubicados en las islas formadas por Canales de marea, teniendo incorporadas frecuentemente lomas relictas. Están permanentemente inundados y sin potencial de erosión, por estar estabilizados por la vegetación de Manglares. Ocupan un área de 10.114 ha y el 24,4 % del área de proyecto.

– **Slikke (Si)**

Se caracterizan por estar constituidas por Limos depositados por las mareas, poco o no colonizados por la vegetación, y recubiertas con aguas salobres varias horas durante cada marea. Ocupan un área de 163 ha y el 0,4 % del área de proyecto.

– **Lomas relictas (Lr)**

Está registrado que son restos testigos de relieves que aparecen de manera discontinua en el Complejo Sedimentario de Pantano, por lo general en forma de Lomas. Se infiere que estos relictos permitieron depósitos de Limos en el área aledaña a ellos. Por lo general no son mapeables a la

escala del estudio. Están caracterizados por tener una asociación de relieve muy escarpado y escarpado; su potencial morfodinámico por activación de procesos erosivos es una asociación de muy alto y alto. El relicto más relevante es la Isla de Muerto ubicada en la Laguna costera. Ocupan una superficie de 609 ha, lo que representa un 1,5 % del área de influencia del proyecto.

Vale subrayar, resumiendo, que los suelos del Proyecto Barú, ubicados en la Unidad de Glacis ((G) se caracterizan por presentar baja saturación de bases y un horizonte B con una importante acumulación de arcilla, cuya capacidad agrologica es la clase VII, considerados como suelos no arables, con limitaciones muy severas, aptos para bosques, cultivo de pastos o tierras de reservas. En el área de influencia directa del proyecto se registraron, no obstante, otras capacidades agrologicas siendo la más favorable la Clase II registrada en el paisaje de Valles, y la más limitante la VIITE que representa el mayor porcentaje.

Conclusiones.

- Los suelos con una baja capacidad de intercambio de bases (CIC) son bajos en nutrientes y por lo tanto, de baja fertilidad.
- Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se puede mencionar que la productividad está severamente limitada por acidez muy alta combinado con un estatus bajo de nutrientes (Fósforo, Calcio y Potasio). Además, en algunos ultisoles, las altas concentraciones de aluminio o manganeso inhiben el desarrollo de raíces, aumentando la vulnerabilidad de las plantas a sequías, y reduce su capacidad de absorber nutrientes.
- El 19,2% del área influencia directa del proyecto tiene relieve suavemente ondulado a ondulado, con un potencial bajo y moderado de erosión, y se clasifican en capacidad de uso como cuatro, por topografía y erosión (IVTE); aptas para sistemas agrosilvo pastoriles. Son tierras cultivables con severas limitaciones permanentes, aptas para pastos y cultivos permanentes, con control de la erosión hídrica en base a surcos en contorno, cultivos en franjas, cultivos de cobertura, y rotación de cultivos.
- El 10,8% del área de influencia tiene relieve ligeramente escarpado, ondulado y a muy escarpados, y se clasifican en Capacidad de uso como seis, por topografía y erosión (VITE), y tienen un alto potencial morfodinámico, por tener un potencial de activación de procesos erosivos de moderado a alto. Son tierras no cultivables, con factores limitantes muy severos, aptos para cultivos permanentes, pastos y fines forestales.

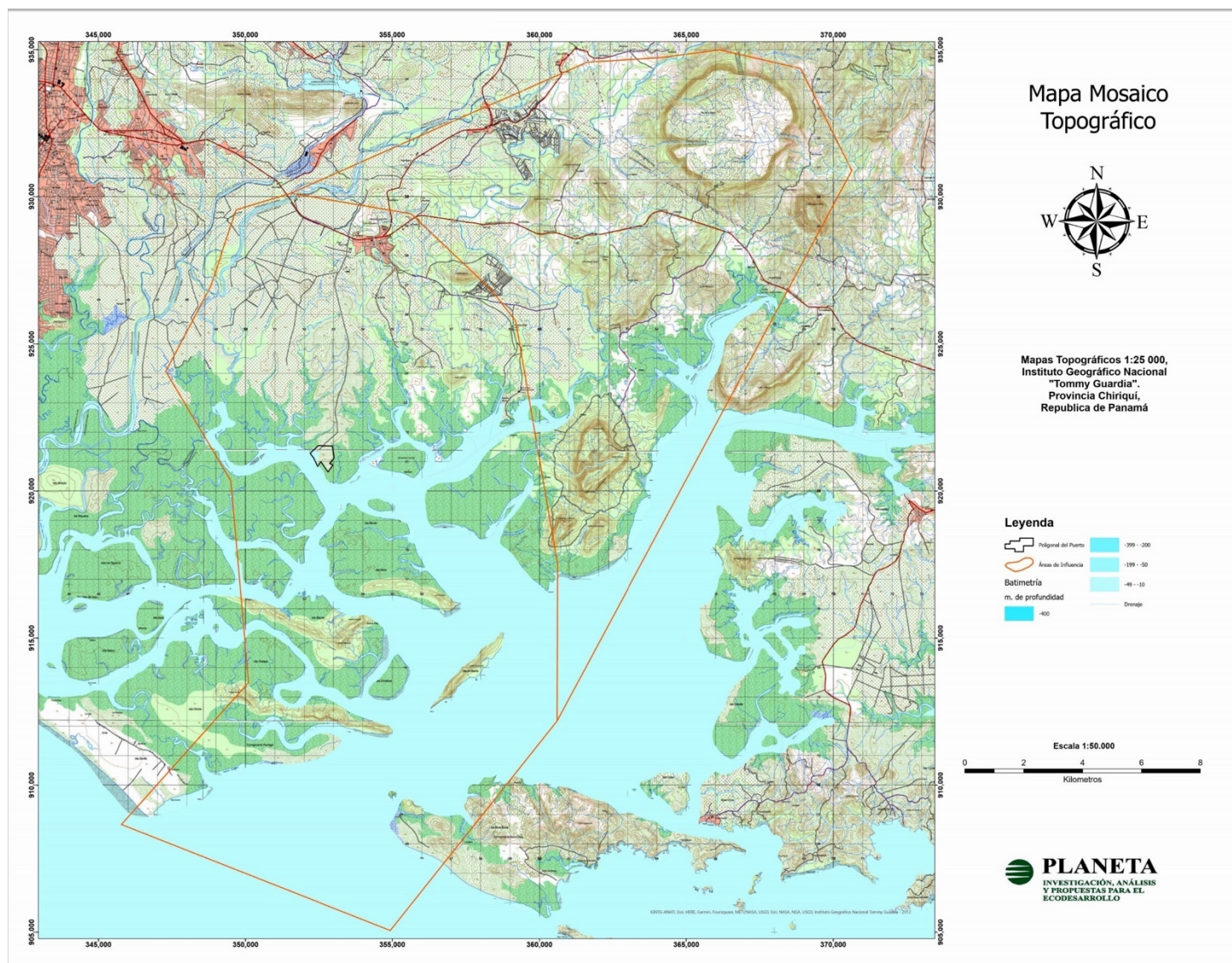
- Las limitaciones por topografía y el potencial de erosión son los factores más importantes presentes y son los que generan las mayores superficies de riesgos de activación de procesos erosivos y de sedimentos, tanto para el proyecto de construcción como en el área de influencia directa.
- El área es mayoritariamente baja en cuanto fertilidad de suelos bastante ácidos que en forma general no presenta erosión a simple vista. Salvo en algunas áreas donde la pendiente fue un poco más baja se pudo observar erosión en forma de cárcavas superficiales (muestra 26). En cuanto a las zonas que bordean la costa donde el mar entra y golpea contra el suelo expuesto si se está dando un problema de erosión bastante grande, debido a que el mar está lavando el suelo, por lo cual se recomienda que se deben implementar medidas de contención y protección del suelo para evitar que se siga lavando y deteriorando el suelo.
- La presencia del bosque secundario en el Noroeste de la huella del proyecto, al igual que su fauna, abren la posibilidad que se pueda crear un corredor biológico para que exista una conectividad entre el bosque secundario y los manglares.

6.4 Topografía

La topografía y el relieve tienden a determinar la profundidad de los suelos, con tendencia a ser delgados en pendientes y profundos en planicies, salvo cuando intervienen otros factores como la erosión por ríos o lluvias. El relieve controla el nivel freático (nivel de agua) y así influye en el drenaje de los suelos. El relieve también afecta la concentración de elementos en el suelo. La abundancia de lluvia puede eliminar muchos nutrientes (calcio, magnesio, potasio, etc.) que son importantes en el crecimiento de los cultivos y árboles.

El área de la huella del proyecto cuenta una topografía plana a suavemente ondulada con pendientes superficiales que oscilan de 0% a 8%. Sin embargo, en el área de influencia restante se presentaron relieves ondulados, ligeramente escarpados a escarpados con pendientes superficiales que van de 8 a 60 %; se caracterizan por ser suelos con un potencial de erosión de bajo a moderado y en el sub-paisaje de lomas, con un potencial de erosión alto.

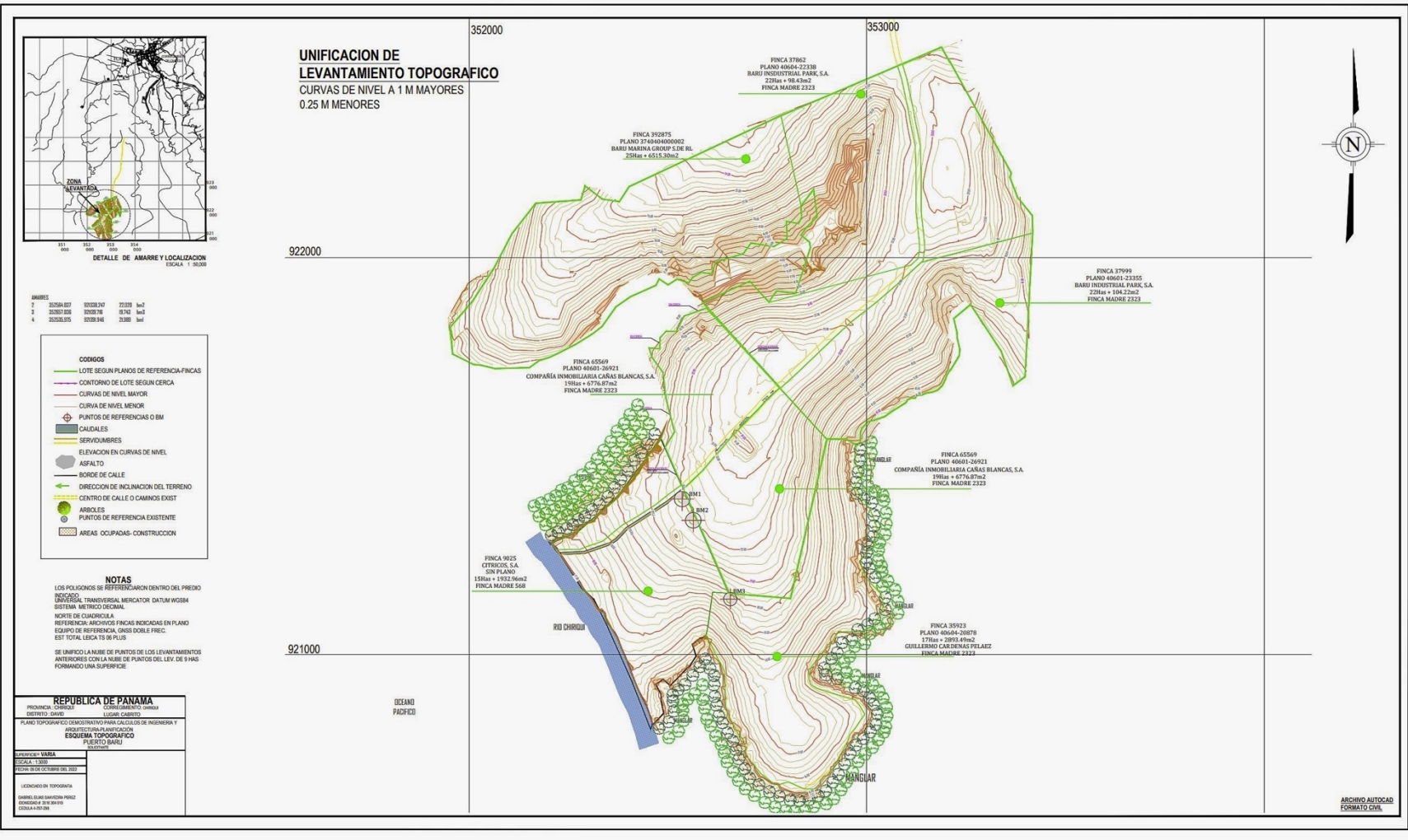
Mapa 6.6. Mosaico topográfico.



EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

Fuente: Equipo Consultor, 2022.

Mapa 6.7. Topografía del terreno del proyecto.



Fuente: Equipo Consultor, 2022.

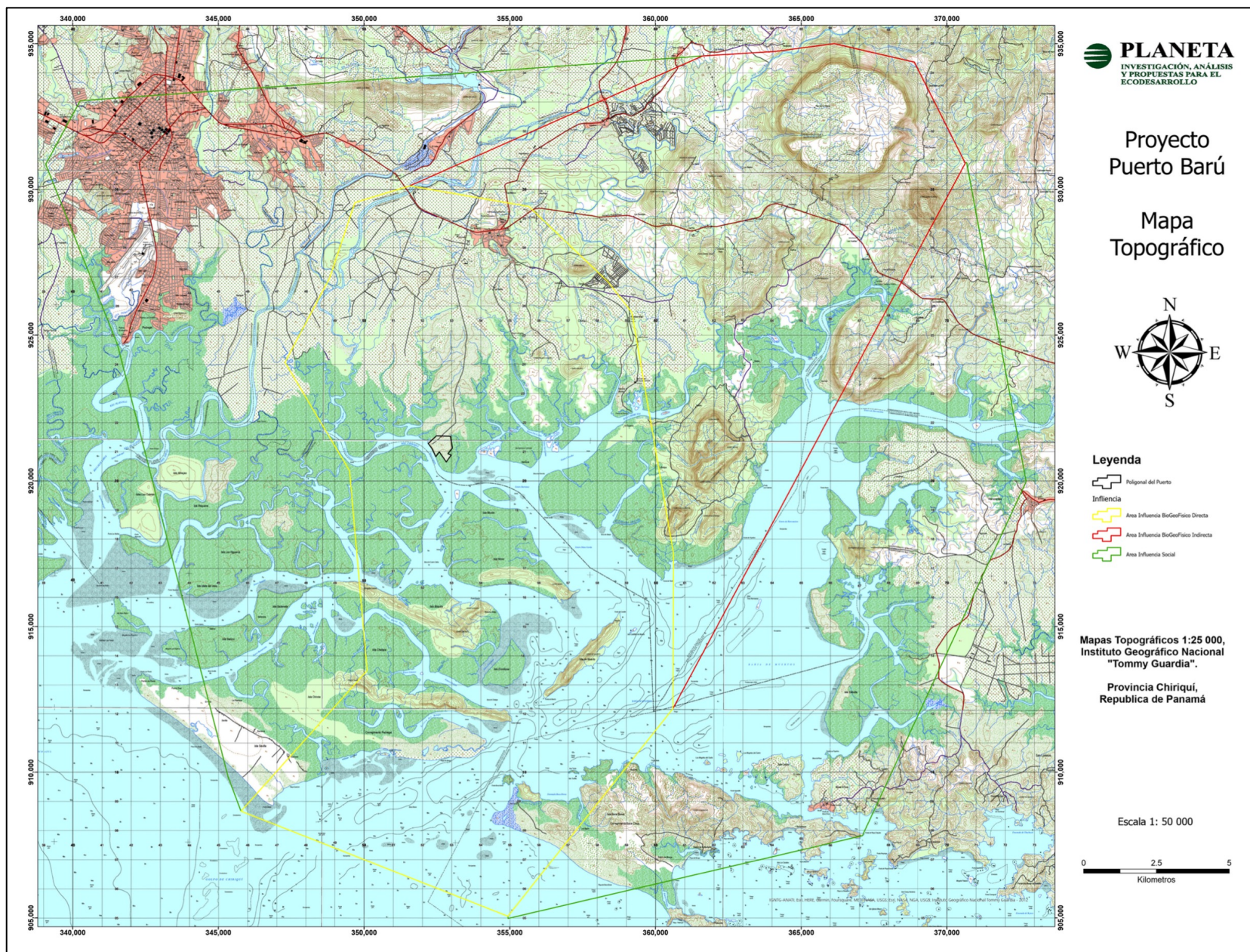
Con los criterios generados en la visita de campo y la revisión de la bibliografía, a cada rango de pendiente usado para generar el modelo de terreno se le asignó un potencial de erosión (Cuadro 6.50).

Cuadro 6.50. Potencial de erosión.

| RANGOS DE PENDIENTES, DENOMINACIÓN DEL RELIEVE, Y POTENCIAL DE EROSIÓN | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| PENDIENTE (%) | DENOMINACIÓN DEL RELIEVE | POTENCIAL DE EROSIÓN |
| 0-3 | Plano | Sin potencial de erosión |
| 3-8 | Suavemente ondulado | Bajo |
| 8-20 | Ondulado | Medio |
| 20-45 | Ligeramente escarpado | Alto |
| 45-60 | Escarpado | Muy alto |
| 60-100 | Muy escarpada | Muy alto |

EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

6.4.1 Mapa topográfico o plano, según área a desarrollar a escala 1:50,000



6.5. Clima.

A continuación se desarrolla el acápite **6.5 Clima**:

6.5.1 Clasificación climática de la región.

En el sistema de clasificación climática de W. Koppen, basado en datos de temperaturas medias mensuales, temperatura media anual, precipitaciones medias mensuales y precipitación media anual, la región provincial del proyecto está clasificada en la Zona A, una de las dos únicas zonas climáticas que cubren el istmo, comprendiendo climas tropicales lluviosos en donde la temperatura media anual de todos los meses del año es mayor a los 18 °C. En esta zona se desarrollan especies de flora tropical cuyos requerimientos son de mucho calor y humedad, o sea zonas propias de la vegetación megaterma.

En atención a los grupos climáticos, el área biogeofísica de influencia indirecta presenta dos tipos de clima en los que, sin dudas, tienen el mayor peso los factores de precipitación. Son estos el Ami (hacia el Norte y Oriente del área), con régimen de precipitación monzónica, cálida todo el año y con una estación seca corta seguida de una húmeda de fuertes lluvias; y luego, al Sur y Occidente el Awi, con régimen de sabana, cálido todo el año y una estación seca que sigue el patrón temporal largo del invierno hemisférico.

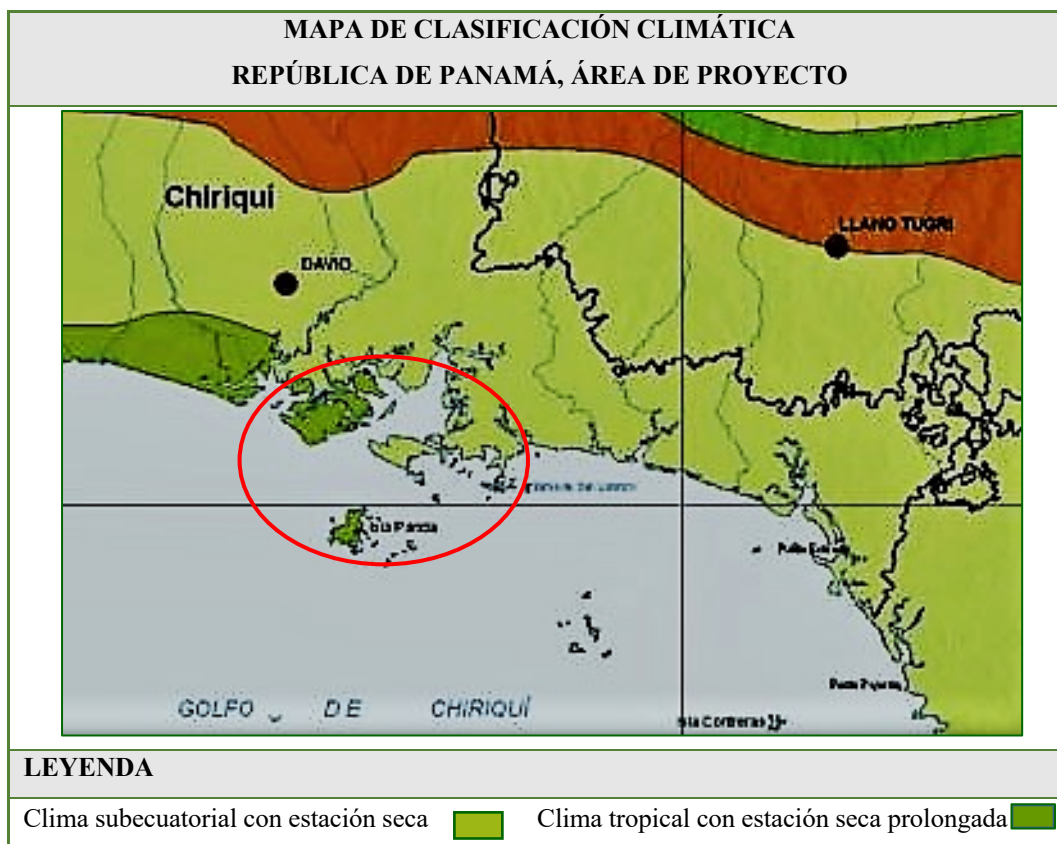
Utilizando las referencias tipológicas de Emmanuel de Martonne, que reconoce en la clasificación climática la incidencia de las masas oceánicas, así como la diversidad del ambiente atmosférico de nuestras montañas tropicales, el Dr. Alberto McKay estableció una zonificación que ubica el proyecto bajo dos categorías diferentes también, aunque con mayor precisión en sus fronteras: el “Clima subecuatorial con estación seca” y el “Clima tropical con estación seca prolongada”.

El primero está igualmente ubicado hacia la parte oriental del área de influencia; es el clima de mayor extensión en el país, con promedios anuales de temperaturas que oscilan de 26,5 °C a 27,5 °C en las tierras bajas, niveles de precipitación elevados, superiores a los 2.500 mm al año y una estación seca acentuada y corta anual. Las máximas precipitaciones están asociadas generalmente a sistemas atmosféricos bien organizados, como las ondas y ciclones tropicales (depresiones, tormentas tropicales y huracanes), y a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

El segundo, que recorre la parte suroccidental del área, desde Isla Mono, pasando por Isla Sevilla y llegando hasta Punta Burica, se presenta cálido con temperaturas similares a la anterior que van de 27 °C a 28 °C. Pero los totales pluviométricos anuales están por debajo de los 2.500 mm, siendo las más bajas de todo el país, con niveles hasta de 1.112 mm en provincias del conocido “Arco Seco”. La estación seca presenta fuertes vientos, con predominio de nubes medias y altas, muy baja humedad relativa y fuerte evaporación.

Esta confrontación de zonas tipológicas distintas responde muy seguramente, por un lado, a la vecindad marítima y sus masas de humedad oceánicas que entran por lo general desde el Suroeste, por la parte media y alta atmosférica, pero del otro, a la confluencia de los vientos de alta montaña y marinos en los piedemontes y sus efectos hacia el bajo litoral, pues todo indica que, por tales motivos las masas de vapor condensan poco más al Noreste del litoral costero estuarino.

Figura 6.24. Mapa de clasificación climática – Área del Proyecto.



Fuente: Atlas Ambiental de Panamá, 2010.

6.5.2 Características climáticas del área de influencia.

Para lograr los indicadores de las características climáticas, considerando las zonas descritas se escogieron tres estaciones de medidas continuas, la de David (108-023), en el sitio del aeropuerto Enrique Malek y la de San Lorenzo (110-001), al Sur de Punta Tierra en la desembocadura del río Chorcha, a unos 8 km del terreno del puerto, y la de Alanje 2 (106-002).

Cuadro 6.51. Estaciones meteorológicas de ETESA.

| ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE ETESA | | | | | |
|---------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| PROVINCIA DE CHIRIQUÍ | | | | | |
| Alanje | | David | | San Lorenzo | |
| Estación | 106-002 | Estación | 108-023 | Estación | 110-001 |
| Elevación | 32 msnm | Elevación | 27 msnm | Elevación | 30 msnm |
| Latitud | 8° 20' 37'' | Latitud | 8° 23' 48'' | Latitud | 8° 19' 00'' |
| Longitud | - 82° 33' 35' | Longitud | - 82° 25' 42'' | Longitud | - 82° 16' 00'' |
| Años registro | 41 | Años registro | 54 | Años registro | 31 |
| Año inicio | 1959 | Año inicio | 1967 | Año inicio | 1998 |

Fuente: ETESA.

- **Temperatura.**

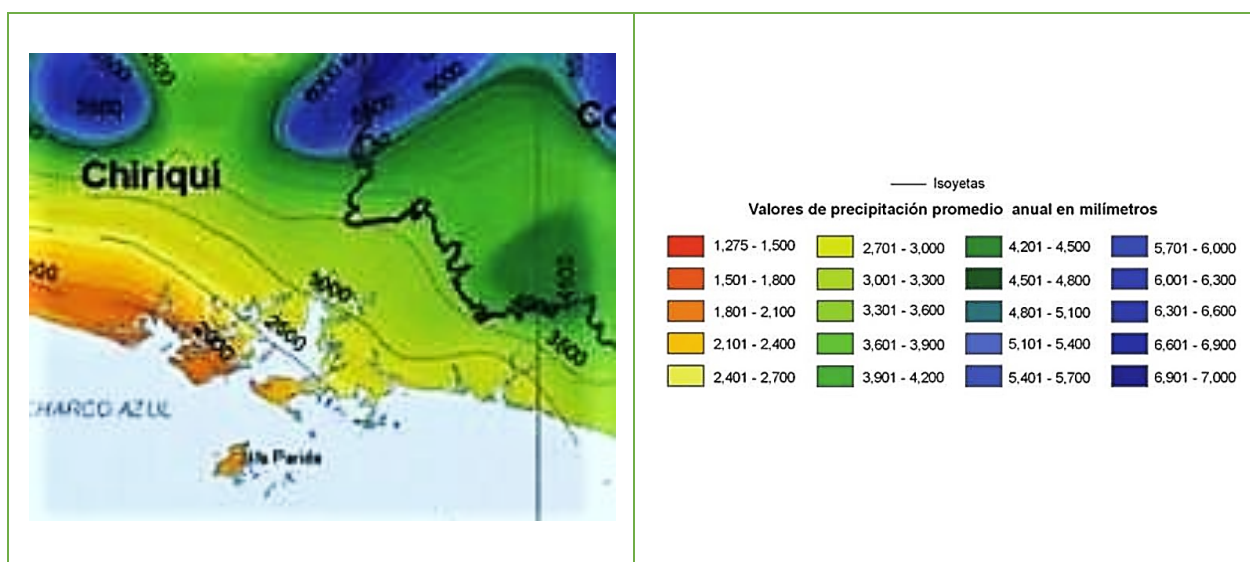
En este renglón cabe utilizar la Estación David como representante del clima dominante del sitio del proyecto, el subecuatorial con estación seca. La temperatura promedio anual marcada, de 27,2 °C está claramente dentro del rango definido para la zona en las líneas anteriores. Su promedio anual mínimo se sitúa en 18,5 °C, con el más bajo promedio mensual de 16,5 °C en el mes de enero y finalmente, un promedio anual máximo de 36,1 °C.

El área de estudio en general es en todo caso bastante homogénea en cuanto a temperaturas, a pesar de las dos zonas presentes. Y esto lo confirma la Estación de Alanje 2 (106-002) ubicada en la zona tropical con estación seca prolongada, que marca un promedio anual de 27 °C. Se diferencia de la otra más bien en las fluctuaciones de las mínimas mensuales, aunque muy poco al consignar hasta 14,4 °C en el mes de julio, siendo no obstante el promedio anual mínimo de 17,8 °C, cifra que no difiere mucho de la otra zona. El promedio anual máximo es de 36.1 °C.

- **Precipitación.**

Es en este campo donde se percibe más la diferencia entre las variables climáticas de las dos zonas. Para la ocasión se toman las estaciones de Alanje 2 y de San Lorenzo como las más representativas del fenómeno en estudio.

Figura 6.25. Isoyetas del área del proyecto.

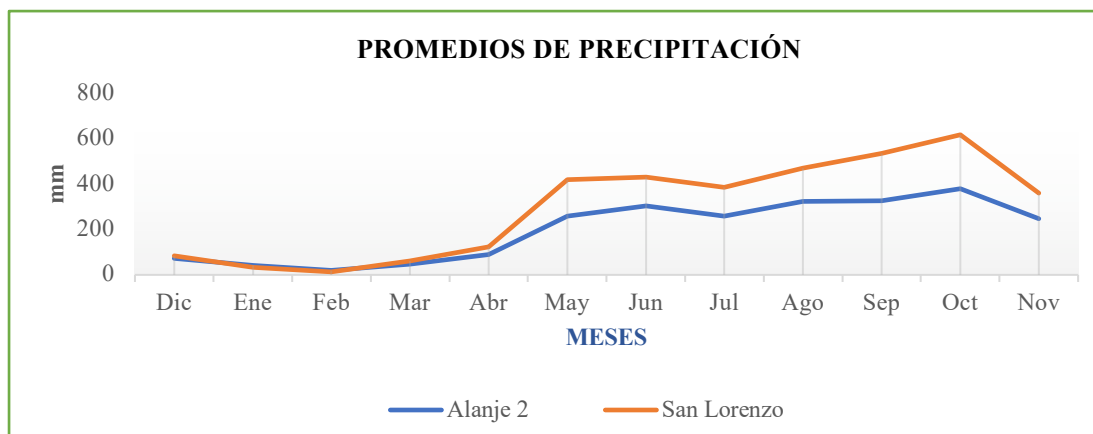


Fuente: Atlas Ambiental de Panamá, 2010.

Del acuerdo de isoyetas puede observarse de inmediato que Alanje está en el rango de los 2.000 mm a 2.500 mm, mientras que San Lorenzo se sitúa bastante arriba de los de 2.500 mm; y los promedios ponen en claro la diferencia entre una y otra zona: Alanje 2 marca un promedio anual, mes por mes de 198 mm, con un promedio interanual de 2.376 mm, mientras que San Lorenzo registra el promedio anual, mes por mes de 296 mm, para un promedio interanual de 3.552 mm.

Sin embargo, vale analizar la variación de los promedios mensuales interanuales de cada una de las dos estaciones, para precisar algunos fenómenos distintivos de las zonas mencionadas.

Gráfica 6.11. Variación de los promedios mensuales (Estaciones de Alanje 2 y San Lorenzo)



La Gráfica 6.11 tiene la virtud de establecer sin equívoco las diferencias climáticas descritas, no solamente por los volúmenes de precipitación durante el año, sino por la variabilidad mensual de una y otra zona. Si observamos de diciembre a mayo, la zona de San Lorenzo tiene durante dos meses (enero y febrero) valores por debajo de los de Alanje 2, mostrando un verano más seco, pero al mismo tiempo más corto (desde mitad de diciembre hasta principios de abril), toda vez que Alanje se va prácticamente desde inicios de diciembre hasta mitad de abril.

Por otro lado, Alanje marca la máxima de precipitación durante un día del mes de junio (739 mm), con otro repunte en octubre, pero más bajo (666 mm), siendo no obstante este mes el que presenta el mayor promedio mensual de precipitación (380,9 mm) y manteniendo la mayoría de los índices de junio-octubre por encima de los 300 mm mensuales, todo lo cual expresa cierta distribución anual equilibrada de las lluvias. San Lorenzo en cambio, tiene la máxima de precipitación en el mes de septiembre, con 1.526,5 mm, coincidiendo con el mes de mayor precipitación promedio (619,5 mm). Esto junto al alto índice registrado pone sobre la mesa el nivel de lluvias torrenciales que se descarga sobre la zona a diferencia de la de Alanje, una particularidad que se extiende posiblemente hasta las elevadas cuencas del río Chiriquí y Chorcha, alimentando con grandes escorrentías y sedimentos la red fluvial del estuario y muy seguramente, los acuíferos de reservas de las planicies litorales.

- **Humedad relativa.**

Las estaciones de David y Alanje 2 son representativas legítimas de esta variable. La ubicación del Aeropuerto E. Malek, dentro de los límites del estuario y rodeado de manglares, así como su elevación dan características similares a las del sitio del proyecto; en tanto que Alanje mantiene las condiciones del litoral costero que se extiende hacia el Occidente Sur del territorio.

Con relación al área del Aeropuerto, el promedio anual de la humedad relativa está en 75,2%, mientras que la de Alanje marca un valor superior, tasado en 83,4%. De hecho, pues, aparece la zona de “clima tropical con estación seca prolongada” más húmeda que la zona “subecuatorial con estación seca”, lo cual podría interpretarse como contradictorio respecto a las características climáticas generales correspondientes. No obstante, esto tiene que analizarse a la luz de que, la zona representada por Alanje está más expuesta a las masas húmedas oceánicas, sobre todo con los vientos del Suroeste, que la de David, a la vez que mantiene ligeras temperaturas más frescas.

Por otro lado, Alanje reconoce su máxima en el mes de septiembre con 91,3% y la mínima en marzo con 69,4%, mientras que David tiene la máxima en noviembre, con 89,5% y la mínima en marzo con 32,4%, una cifra bastante baja que responde sin duda a los dos meses del año (febrero y marzo) con menos precipitación que en Alanje, bajo la influencia de los Alisios secos del Norte.

Cabe destacar, por último, la conducta específica de la humedad en el periodo de lluvias, en la que Alanje, teniendo menor precipitación que David y su zona climática, tiene al mismo tiempo mayor humedad. En efecto, de mayo a noviembre la humedad de David ronda valores que giran alrededor del 82%, mientras que en Alanje esta cifra es del 86%. Es posible que en este periodo el choque de los vientos continentales y oceánicos jueguen un apreciable papel. Ya se ha sostenido que Alanje está mucho más expuesto a la influencia de las masas de vapor oceánicas costeras, con los vientos del Suroeste, lo cual, unido a las temperaturas más frescas que en David conservan mayor humedad.

- **Brillo solar.**

Esta variable es importante, no solamente por la radiación portadora de la energía fotovoltaica, que sostiene por cierto una gran planta de generación eléctrica solar en los alrededores del proyecto,

sino porque tiene una incidencia directa en la evaporación de las aguas superficiales y por lo mismo, en el balance hídrico.

En este campo se ha recurrido a la estación de David-Aeropuerto para la zona climática correspondiente al Proyecto y a la Estación El Jazmín (100-135), en Alanje, para la zona de clima tropical con periodo seco prolongado.

La heliofanía efectiva vale recordar es el período de tiempo durante el cual un lugar ha recibido radiación solar directa, sin ser bloqueada por factores atmosféricos u otros obstáculos de manera continua o no. Con esta definición de por medio, David tiene un promedio anual de 187,6 horas al mes, representando un 52,1% del universo de insolación mensual (360 horas); en tanto que El Jazmín arroja un promedio de 191,2 horas, representado el 53.1% de este total. No hay pues grandes diferencias, aunque Alanje muestre mayor insolación que David. Cabe agregar que, en los lapsos de brillo diarios se producen, sobre todo entre las 11:00 h y 13:00 h del día, picos energéticos de 1.100 W/m² a 1.300 W/m².

Tanto en David como en Alanje, el mayor brillo mensual de los promedios interanuales se da en los meses que corren de diciembre a marzo, y los menores en junio (el más bajo) y luego en septiembre y octubre. Alanje tiene en junio 145,3 horas al mes en el promedio y en septiembre 148,1 horas, con la mínima en la serie de registros, de 79,5 horas en el mes de junio, o sea el 22,1% del universo de insolación mensual, así como la máxima de 234,5 horas (65,1%) en el mes de enero. David, por su parte, alcanza en el mes de junio 128,3 horas al mes en el promedio interanual y en septiembre 135,4 horas, con la mínima de la serie de 17,7 horas (4,9%) en el mes de mayo. La máxima se produce en el mes de enero con un total de 209,7 horas al mes.

- **Vientos.**

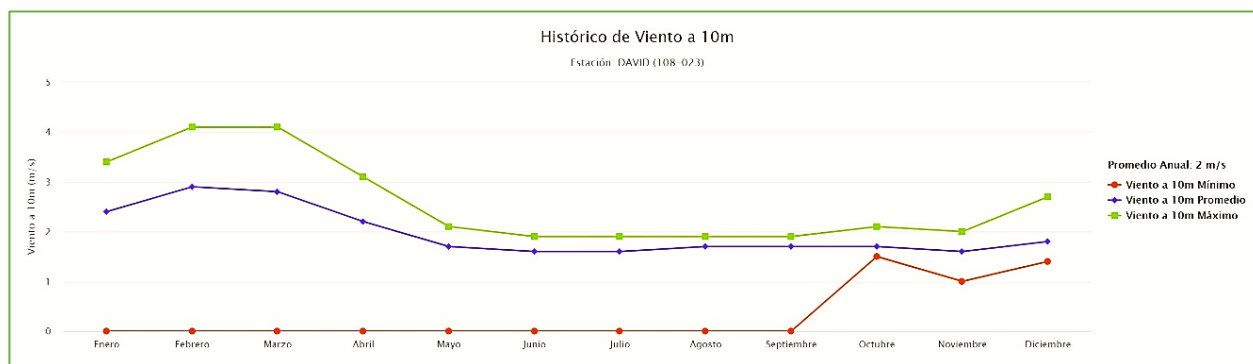
Los vientos se consideran en dos niveles: uno hasta la altura humana, o sea 2 m sobre el suelo y el otro a 10 m, que es la altura regular para los datos meteorológicos. Desde esta perspectiva, para la zona representada por la Estación David las dos alturas son importantes, tratándose de un proyecto portuario con un largo canal fluvial de acceso. La zona de Alanje entre tanto, considera los indicadores como una referencia solamente, con sus valores a los 2 m de altura.

Recurriendo a toda la serie interanual, David anota a los 2 m de altura una velocidad de 1,1 m/s de promedio al año, mientras que la estación de El Jazmín, de Alanje alcanza 0,6 m/s, es decir que la zona del proyecto luce con velocidades mayores. En este mismo nivel, el área en cuestión presenta las mayores velocidades en enero, febrero y marzo con promedios de 1,4 m/s, 1,8 m/s y 1,7 m/s respectivamente, y las menores de junio a noviembre con variaciones entre 0,8 m/s y 0,9 m/s. Sin embargo, la máxima mensual interanual de la serie se ubica en febrero, o sea con los Alisios del Norte, con un promedio de 3,3 m/s, en tanto que las mínimas cubren mayo y junio (0,6 m/s y 0,5 m/s respectivamente), y de agosto hasta noviembre con el rango de 0,4 m/s a 0,6 m/s, coincidiendo justamente con los meses de mayor humedad por los golpes del Sur y Suroeste.

Alanje sigue el mismo patrón de la rosa direccional expuesta, pero presenta la mayor velocidad en febrero, marzo y abril, con una constante de 0,7 m/s, y la menor velocidad en junio y de octubre a diciembre con 0,5 m/s.

Ahora bien; a 10 m de altura, la estación David da un promedio anual de 2 m/s. Pero la máxima interanual de la serie marca 4,1 m/s en febrero y marzo, en tanto que las mínimas se caen al suelo recorriendo valores nulos en la serie, desde enero hasta septiembre cuando se elevan al rango de 1,4 m/s a 1,5 m/s en los meses de octubre a diciembre.

Gráfica 6.12. Viento a 10 m sobre el suelo en la Estación David.



Fuente: ETESA.

Para cerrar es justo reconocer que, al fin y al cabo, estos valores son solo promedios de largas series. No obstante, al acercar la vista a la realidad diaria, se observa que durante un mes como el

de junio del año en curso (2021) se produjeron, por ejemplo, vientos máximos con dominancia del Sur, Suroeste y Sureste con promedio de 8,7 m/s. Un día como el 30 de junio las velocidades alcanzaron hasta 25 m/s, que son ya vientos de tormentas.

- **Evapotranspiración.**

Este parámetro tan necesario para estimar las pérdidas del agua expuesta en la superficie está relacionado con la radiación solar, las temperaturas, el viento y vegetación. Lo que se desea conocer es el volumen total de agua que se pierde a la atmósfera por los fenómenos de evaporación y transpiración vegetal, expresado en mm por unidad de tiempo, todo lo cual permite dimensionar el recurso hídrico con los que cuenta una zona. En Panamá las regiones de mayor evapotranspiración se ubican en las áreas costeras.

Sobre esta variable ETESA establece un promedio anual de la serie de registro, de 148,6 mm para David y 100 mm para El Jazmín por mes. Al relacionar estas cantidades con los índices promedios de precipitación, se tiene un balance anual positivo del recurso de 68,5% para la zona de David y de 55,2% para la zona de Alanje, o sea un buen rango de acumulación sin hacer las cuentas de la cantidad filtrante.

En la zona del proyecto, que es la que más interesa, la mayor evapotranspiración se produce, por supuesto, de enero a abril, con pérdidas, por ejemplo, en marzo, de 236,0 mm; o sea que con una precipitación de 36,2 mm hay una pérdida o out-put de 5,5 veces el in-put. Pero si esto se compara con las grandes lluvias de mayo a julio y de septiembre a noviembre, con máximas de 366,3 mm de precipitación y de 116,8 mm de evapotranspiración sin dudas que el balance está ampliamente superado.

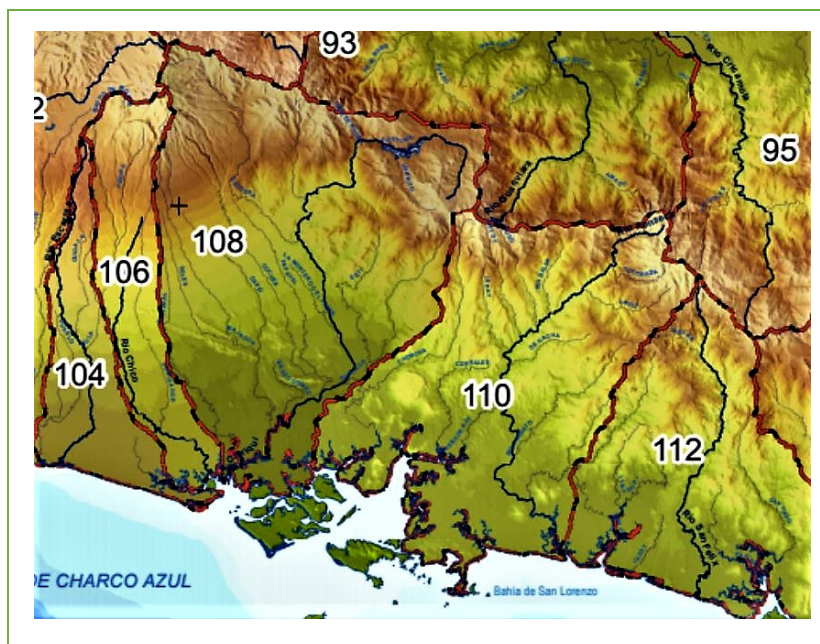
Lo importante es que este déficit en el balance no afecta en nada la masa del agua fluvial o los niveles de profundidad del río utilizado por los barcos, puesto que el medio está condicionado más por las mareas que por las escorrentías de aguas dulces.

6.6. Hidrología

Desde el punto de vista hidrográfico el proyecto pertenece a la Región Hídrica del Pacífico Occidental, de acuerdo con el agrupamiento de cuencas establecido por el Plan Nacional de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la ANAM (hoy Mi Ambiente). Esta comprende la provincia de Chiriquí, el Sur de la Comarca Ngäbe-Buglé y la parte Oeste Sur de la provincia de Veraguas. Es una región cuya precipitación logra superar, entre las oscilaciones interanuales, los 3.000 mm al año en varias áreas, llegando hasta los 6.000 mm en las zonas elevadas de la Cordillera Central.

La ubicación territorial del proyecto, al igual que sus áreas de influencia comparten dentro de la región hídrica dos cuencas: la Cuenca N°108 del río Chiriquí y la Cuenca N°110 del río Fonseca y el entre ríos Chiriquí y San Juan. La primera, de gran importancia por su impacto en la economía del país, dado el uso agrícola y energético de sus aguas posee una extensión de 1.925 km² y 130 km de largo, tiene origen en la cara Oeste del Cerro Chorchá, Distrito de Besiko, a una altura aproximada de 2.125 msnm y comparte el valle de escurrimiento con las laderas orientales del Volcán Barú (3.474 msnm). La segunda (cuenca N°110), con una extensión de 1.661 km² y una longitud de 90 km, arranca asimismo en el Cerro Chorchá, en su cara Sur, a una altura aproximada de 2.130 msnm, incorporando en su recorrido descendiente a la conocida Meseta del Chorchá a la altura del bajo piedemonte (410 – 480 msnm), la cual es bordeada por el río Chorchá con sus cargas hídricas, en camino hacia el estuario de estudio. Una particularidad de la frontera entre las dos es que, justamente, su parteaguas común en el bajo litoral del estuario pasa por el centro del terreno del proyecto.

Figura 6.26. Cuencas N°108 y N°110.



Fuente: Instituto Nacional Geográfico Tommy Guardia.

De estas cuencas, dos son los ríos que tienen incidencia sobre la actividad del proyecto y sus instalaciones. Uno es el propio río Chiriquí, que en el marco estuarino presenta dos desembocaduras: una por el lado de la comunidad de Pedregal, Distrito de David, con influencia indirecta sobre el proyecto, cuya descarga al mar se produce por la Boca de San Pedro y Punta Las Pavas (Desembocadura I); la otra por el Este, mediante el difluente Chiriquí Nuevo, de influencia directa en la obra, que fluye por Boca Brava y Punta Chalapa hacia el mar (Desembocadura II). El otro río es el Chorrcha en la cuenca N°110, que alimenta de sedimentos los manglares y las aguas estuarinas del entorno Sureste del complejo y descarga su masa hídrica por el Estero Mata Gorda hacia Bahía de Los Muertos y de ahí finalmente al mar por Boca Brava.

Figura 6.27. Ríos de incidencia directa sobre el proyecto portuario.



Fuente: Google Earth.

Integrado por 14 subcuencas, el río Chiriquí forma parte de un conjunto de ríos con un patrón de drenaje radial en su zona vertiente, entre los cuales destellan el Chorrcha y el Gualaca hacia el Pacífico, y el Guariviara hacia el Caribe bocatoreño. Pasa luego a trenzado en los niveles del piedemonte y la cuenca media aluvial, asume un patrón meándrico en la parte baja y termina en la zona de sedimentación y litoral costero con un esquema anastomosado, determinando uno de los estuarios manglaríticos más importantes del Pacífico panameño. En el recorrido recibe el tributo de afluentes destacados como son el Caldera, Los Valles, Estí y Gualaca, además de los que nacen en el Volcán Barú: Cochea, David, Majagua, Soles y Platanal, gran parte dando lugar a varias generadoras para el consumo energético nacional (Cuadro 6.52). Al respecto cabe señalar que, la serie de hidroeléctricas, instaladas con una secuencia de cascada, crea de hecho condiciones favorables a los proyectos productivos de la planicie estuarina, al convertir el caudal del río principal en uno de los flujos hídricos de gran regulación proceso que recae mayormente en el

*EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.*

embalse de Fortuna, con un sistema de estaciones hidrológicas y meteorológicas de mucha precisión y eficiencia.

Cuadro 6.52. Lista de Centrales Hidroeléctricas dentro de la Cuenca del río Chiriquí

| NOMBRE DEL PROYECTO | PROPIETARIO | AÑO DE INICIO DE CONSTRUCCIÓN | AÑO DE INICIO DE OPERACIÓN | CAPACIDAD INSTALADA | ÁREA | CAUDAL (m ³ /s) | SITIO | TIPO DE GENERADOR |
|--|---|-------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|--|---|
| Central Hidroeléctrica Fortuna | AES Panamá/Enel Green Power Panama | 1972 | 1984 | 300 MW | 166 km ² | 26 | Río Chiriquí | 3 unidades de generación tipo Pelton (de impulso) |
| Central Hidroeléctrica Cochea | Generadora Alto Valle (Panama Power group) | 2011-2012 | - | 15.50 MW | 103.3 km ² | 14 | Río Cochea | 2 turbinas Francis |
| Central Hidroeléctrica Dolega | Naturgy S.A. | - | 2001 | 3.12 MW | 121 km ² | - | Río Cochea (Dolega) | - |
| Central Hidroeléctrica Los Planetas I | sdf Energy Group (Saltos del Francolí S.A.) | 2007 | 2011 | 4.95 MW | 61.20 km ² | 13.5 | Río David | - |
| Central Hidroeléctrica Los Planetas II | Fuerza Eléctrica del Istmo S.A. (FEISA) | 2012 | Finales 2014 | 8.87 MW | 68.78 km ² | 13.5 | Río David | 2 turbinas Francis de eje horizontal |
| Central Hidroeléctrica Los Algarrobos | ESEPSA (Unión Fenosa) | - | 2009 | 9.86 MW | 17.26 km ² | 2.3 | Quebrada Algarrobos y Río Casita de Piedra | 2 turbinas Pelton |
| Central Hidroeléctrica Mendre I | Caldera Energy Corp. | - | - | 19.75 MW | 180.8 km ² | 40 | Río Chiriquí | 2 turbinas Kaplan |
| Central Hidroeléctrica Mendre II | Electro Generadora del Istmo, S.A. | - | - | 8.2 MW | 180.8 km ² | 40 - 43.5 | Río Chiriquí | 2 turbinas Kaplan |
| Central Hidroeléctrica Gualaca | GDF Suez Energía Centro américa | - | Finales 2010 | 25.34 MW | 62 km ² | 125 | Río Estí | - |
| Central Hidroeléctrica Estí | AES Panamá | 1999 | - | 120 MW | 703 km ² | - | Presa Barrigón | - |

EsIA, Cat. III, denominado “*Proyecto Puerto Barú*”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

| NOMBRE DEL PROYECTO | PROPIETARIO | AÑO DE INICIO DE CONSTRUCCIÓN | AÑO DE INICIO DE OPERACIÓN | CAPACIDAD INSTALADA | ÁREA | CAUDAL (m ³ /s) | SITIO | TIPO DE GENERADOR |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------|--------------------|
| Central Hidroeléctrica Prudencia | GDF Suez Energía Centro américa | - | Finales 2011 | 58.66 MW | 113 km ² | 155 | Río Chiriquí | - |
| Central Hidroeléctrica Lorena | GDF Suez Energía Centroamérica | - | 23 de febrero de 2011 | 33.8 MW | 113 km ² | 125 | Río Chiriquí | - |
| Central Hidroeléctrica La Estrella | AES Panamá | - | 1979 | 47.20 MW | 137 km ² | - | Río Caldera | - |
| Central Hidroeléctrica Los Valles | AES Panamá | - | 1979 | 54.76 MW | 58.2 km ² | - | Río Los Valles | 2 turbinas Francis |

El terreno, entonces, se encuentra bajo la influencia directa de la subcuenca llamada “Desembocadura II”, del ramal fluvial del río Chiriquí Nuevo (integrado en la parte estuarina por un Canal de marea), el cual se desprende del río Chiriquí por un codo de su cauce en el segmento de la llanura aluvial, al parecer por factores naturales de la hidrodinámica del río y alguno otro de tipo geológico. Esto viene indicando, por supuesto, que los torrentes hídricos del Chiriquí están divididos en su llegada al estuario; una parte, recogiendo sobre todo los caudales ambientales de las represas, junto a tributarios como el Gualaca y cuyo fluido corre por el río Chiriquí Nuevo hacia la salida de Boca Brava, y la otra, alimentada por las aguas turbinadas de las generadoras, las cuales terminan en la Boca de San Pedro. Esto es importante anotarlo, porque significa que las masas hídricas de las crecidas son dispersadas antes de desembocar en el estuario, donde de por sí, disipan su energía; y esto favorece sin dudas el control de las avenidas y la estabilidad de corrientes del canal de navegación y acceso de las embarcaciones.

En relación con el río Chorchá, efectivamente como ha sido descrito ya, nace con un patrón radial de drenaje en la zona alta de producción, con rastros claros de una fuerte erosión de arenas y cantos de carácter volcánico, hasta entrar en la etapa moderada, de los 800 msnm hacia abajo, segmento en el cual comienza a perfilar un patrón trezado con importantes depósitos de arenas y grandes piedras (batolitos). En la zona se logran observar pequeños conos de deyección al pasar el curso de aguas de una pendiente fuerte a una suave, esto como consecuencia de la reducción en la fuerza de arrastre. Mas abajo de este tramo aluvial, comienzan a formarse las curvas o meandros con la corriente unicanal y varias otras configuraciones, dependiendo especialmente de las pendientes que tome el cauce. Se destaca en este último segmento el cambio de color en el sedimento, los cuales pasan de blancos (arena volcánica) a rojizos, indiscutiblemente por los ingresos de la erosión de suelos intervenidos, con limos y arcillas, aunque la predominancia continúa siendo las arenas.

Llegada a la zona terminal, ya en la planicie litoral el patrón meándrico se acentúa con los tres grados de libertad de la corriente, entrando el río en una situación de régimen. Pero es preciso señalar que, su desembocadura sobre el Estero Mata Gorda sigue siendo unicanal, sin aparecer formaciones deltaicas. Vale agregar que, tanto para el Chiriquí Nuevo como para el Chorchá, la corriente dominante de la zona en todo momento es la que generan las mareas del medio marino

del Golfo, cuyos impulsos penetran varios kilómetros aguas adentro de los cauces, salinizando el fluido dulce.

6.6.1. Calidad de aguas superficiales

Se establecieron 13 Estaciones, de las cuales 11 fueron para la calidad de aguas y 13 para sedimentos obtenidas mediante perforación del fondo, separando muestras del perfil vertical en los estratos suficientemente diferenciados en la composición de la textura (Cuadro 6.53, Figura 6.28, Figura 6.29).

Cuadro 6.53. Coordenadas de los puntos de muestreo

| Estaciones de Muestreo | | | |
|------------------------|----------|------------------------|--------|
| Zona | Punto | Coordenadas UTM WGS-84 | |
| | | Este | Norte |
| Norte | E-S1 / B | 352200 | 920950 |
| | E-S2 / A | 352000 | 921290 |
| | E-A0 | 351590 | 921490 |
| | E-S10 | 351573 | 921882 |
| | E-S11 | 351706 | 922228 |
| Media | E-A1 / C | 352680 | 919800 |
| | E-S3 | 354199 | 920605 |
| | E-S8 | 353921 | 920059 |
| | E-S9 | 355421 | 919629 |
| Sur | E-S4A | 352765 | 916655 |
| | E-S4B | 353550 | 916160 |
| | E-S5 / G | 355160 | 916150 |
| | E-S6 / I | 357200 | 915220 |
| | E-S7 | 355377 | 911760 |

Figura 6.28. Puntos de muestreo, área Norte



Figura 6.29. Puntos de muestreos, área Sur



- **Análisis de aguas superficiales.**

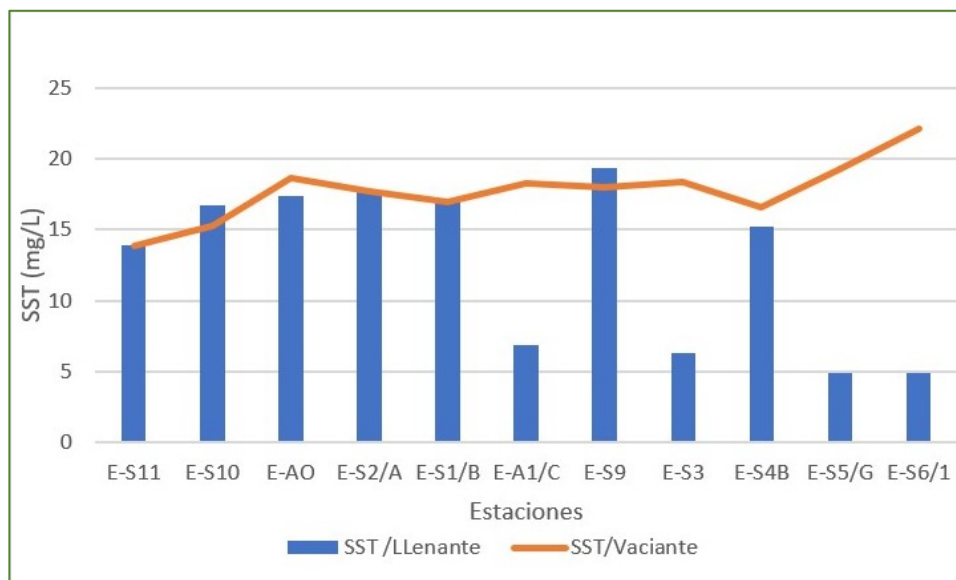
En calidad de agua se colectaron muestras en las Estaciones: E-S10, E-S11, E-A0, E-S1, E-S3, E-S9, E-A1, E-S4/A, E-S5, E-S6, E-S7 con la marea llenante y la vaciante. La colecta se hizo a nivel de superficie (-0,30 m) y en profundidades inferiores a los -5,0 m se colectó otra muestra a 0,5 m sobre la cota batimétrica del fondo. Los parámetros de análisis fueron: T°, pH, CE, OD, Turbiedad, Salinidad, SST, ST, DBO₅, DQO, CT, NO₃, NO₂, SO₄, Ortofosfatos, AyG, CaCO₃ (Dureza), NH₄, Cr⁶⁺, Cd, Cu, Fe. En la evaluación de los resultados se aplicó el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}). Se presenta entonces, un análisis de manera longitudinal, a lo largo del curso fluvial, con el fin de identificar el efecto de los flujos marinos en la concentración. Los informes originales de los laboratorios se adjuntan en los Anexos 13 y 14 los laboratorios de aguas.

- **Parámetros de campo y análisis físico.**

Los parámetros medidos en campo reportan valores de pH en el rango de 7,11 – 7,96 unidades de pH en la marea llenante y de 7,24 – 8,29 en la marea vaciante, siendo estos valores normales en aguas estuarinas; el oxígeno disuelto en la marea llenante oscila entre 4,34 mg/L a 5,85 mg/L, y en la vaciante de 4,39 mg/L a 6,77 mg/L, valores que son adecuados para el desarrollo de la vida acuática. Las salinidades a -0,3 m en la marea llenante son menores en la zona Norte, encontrándose el menor valor en la Estación ES-11 (14,95 UPS) por la influencia del agua dulce. En marea vaciante los mayores valores de salinidad están en la Estación E-S6 (33,77 UPS), ubicada en la zona Sur. Los valores de salinidad realizadas en profundidades menores a -4 m en marea llenante son mayores que las superficiales, oscilando entre 32,19 UPS en la zona Sur y 24,72 UPS en la zona Norte; esto puede estar influenciado por precipitaciones ocurridas en el día de las mediciones, pero también por la cuña salina entrante del fondo. Los valores de salinidad a lo largo del canal nos dejan de manifiesto que es un cuerpo de agua donde en el momento de las mediciones predominaba la influencia de la marea.

Se observa un mayor transporte de sólidos suspendidos totales en marea vaciante hacia la zona Sur, aumentando las concentraciones desde (4,9 a 22) mg/L; en la Estación E-S9 se ve la influencia del arrastre de arenas del Chorcha, teniendo está concentraciones de (19,4 y 18) mg/L en marea llenante y vaciante respectivamente, (Gráfica 6.13).

Gráfica 6.13. Sólidos suspendidos totales



- **Contaminantes inorgánicos.**

Cabe destacar que las concentraciones Cd, Cr⁶⁺ tanto en marea vaciante como llenante se encuentran por debajo de los valores establecidos en la Norma Peruana: Estándares de calidad ambiental para aguas "protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios" (2017). El Cu presenta concentraciones superiores al valor guía de la Norma Peruana; sin embargo, son propias del tipo de suelo del área que son suelos ácidos con altos contenidos de hierro lo que permite que el cobre se asocie a los óxidos de hierro. Las concentraciones de estos metales son muy similares a lo largo del eje longitudinal del área de estudio y en la vertical cuando se colectaron muestras a dos profundidades (Estaciones ES-5/G, ES-4B, EA-1/C y ES-10).

Las concentraciones de Sulfato, por otro lado, se presentan superiores del valor presentado en la Norma mexicana (<400 mg/L), probablemente debido a los suelos degradados de las planicies costeras y el uso ganadero de la cuenca, donde se utiliza yeso en algunas zonas para controlar suelos ácidos; y las altas concentraciones de la Dureza total (CaCO₃) en todas las zonas, sin duda debido al influjo hídrico marino costero.

Cuadro 6.54. Metales en marea llenante

| Estación | Profundidad (m) | Metales en Marea Llenante | | | |
|--|-----------------|---------------------------|----------------|-------------------------|-----------|
| | | Cu (mg/L) | Fe (mg/L) | Cr ⁶⁺ (mg/L) | Cd (mg/L) |
| E-S6/I | -0.3 | 0.113 | <0.03 | 0.04 | 0.001 |
| E-S5/G | -0.3 | 0.013 | <0.03 | 0.02 | <0.001 |
| E-S5/G | 4.5 | 0.112 | 0.03 | 0.05 | 0.002 |
| E-S4B | -0.3 | 0.114 | <0.03 | 0.02 | 0.001 |
| E-S4B | 7 | 0.114 | 0.06 | 0.04 | <0.001 |
| E-A1/C | -0.3 | 0.112 | 0.04 | 0.02 | 0.001 |
| E-A1/C | 4 | 0.113 | 0.04 | 0.04 | 0.001 |
| E-S9 | -0.3 | 0.113 | 0.03 | 0.02 | 0.001 |
| E-S3 | -0.3 | 0.114 | <0.02 | 0.018 | 0.001 |
| E-S1/B | -0.3 | 0.114 | 0.04 | 0.03 | 0.001 |
| E-S2/A | -0.3 | 0.113 | 0.05 | 0.037 | 0.002 |
| E-A0 | -0.3 | 0.112 | 0.04 | 0.026 | 0.002 |
| E-S10 | -0.3 | 0.113 | 0.04 | 0.057 | 0.002 |
| E-S10 | -8 | 0.112 | 0.05 | 0.052 | 0.003 |
| E-S11 | -0.3 | 0.113 | 0.07 | 0.023 | 0.001 |
| Estándares de calidad ambiental para aguas "protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios". Norma Peruana, 2017. | | 0.05 | No establecido | 0.05 | 0.0088 |

Cuadro 6.55. Metales en marea vaciante

| Estación | Profundidad (m) | Metales marea vaciante | | | |
|--|-----------------|------------------------|----------------|-------------------------|-----------|
| | | Cu (mg/L) | Fe (mg/L) | Cr ⁶⁺ (mg/L) | Cd (mg/L) |
| E-S11 | -0.3 | 0.119 | 0.11 | 0.045 | 0.003 |
| E-S10 | -0.3 | 0.117 | 0.07 | 0.048 | 0.002 |
| E-S10 | 8 | 0.118 | 0.006 | 0.03 | <0.001 |
| E-A0 | -0.3 | 0.116 | 0.05 | 0.028 | 0.002 |
| E-S2/A | -0.3 | 0.117 | 0.03 | 0.047 | 0.003 |
| E-S1/B | -0.3 | 0.117 | 0.07 | 0.029 | 0.003 |
| E-A1/C | -0.3 | 0.115 | 0.07 | 0.027 | <0.001 |
| E-S9 | -0.3 | 0.116 | 0.04 | 0.027 | 0.001 |
| E-S3 | -0.3 | 0.116 | 0.09 | 0.041 | 0.001 |
| E-S4B | -0.3 | 0.115 | <0.03 | 0.043 | 0.003 |
| E-S5/G | -0.3 | <0.011 | 0.04 | 0.028 | 0.001 |
| E-S6/I | -0.3 | 0.115 | 0.03 | 0.021 | 0.001 |
| Estándares de calidad ambiental para aguas "protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios". Norma Peruana, 2017. | | 0.05 | Sin establecer | 0.05 | 0.0088 |

- **Contaminantes orgánicos.**

Las concentraciones de DBO₅ reportadas no superan los 4 mg/L en ninguna estación, el 81,48% tiene una concentración de 2 mg/L; siendo el valor guía recomendado por la Norma peruana de 15 mg/L; y los valores se mantienen en ambas mareas y longitudinalmente a lo largo del curso fluvial. Las concentraciones de DQO promedio en marea llenante de las áreas de estudio se encuentran en un rango de (299,5 a 437,6) mg/L, aumentando longitudinalmente de la zona Norte a la Sur. Para la marea vaciante el promedio de las concentraciones oscilo entre (289-552) mg/L, siendo la zona norte la que presentó menor concentración promedio y las zonas media y sur las de mayores concentraciones.

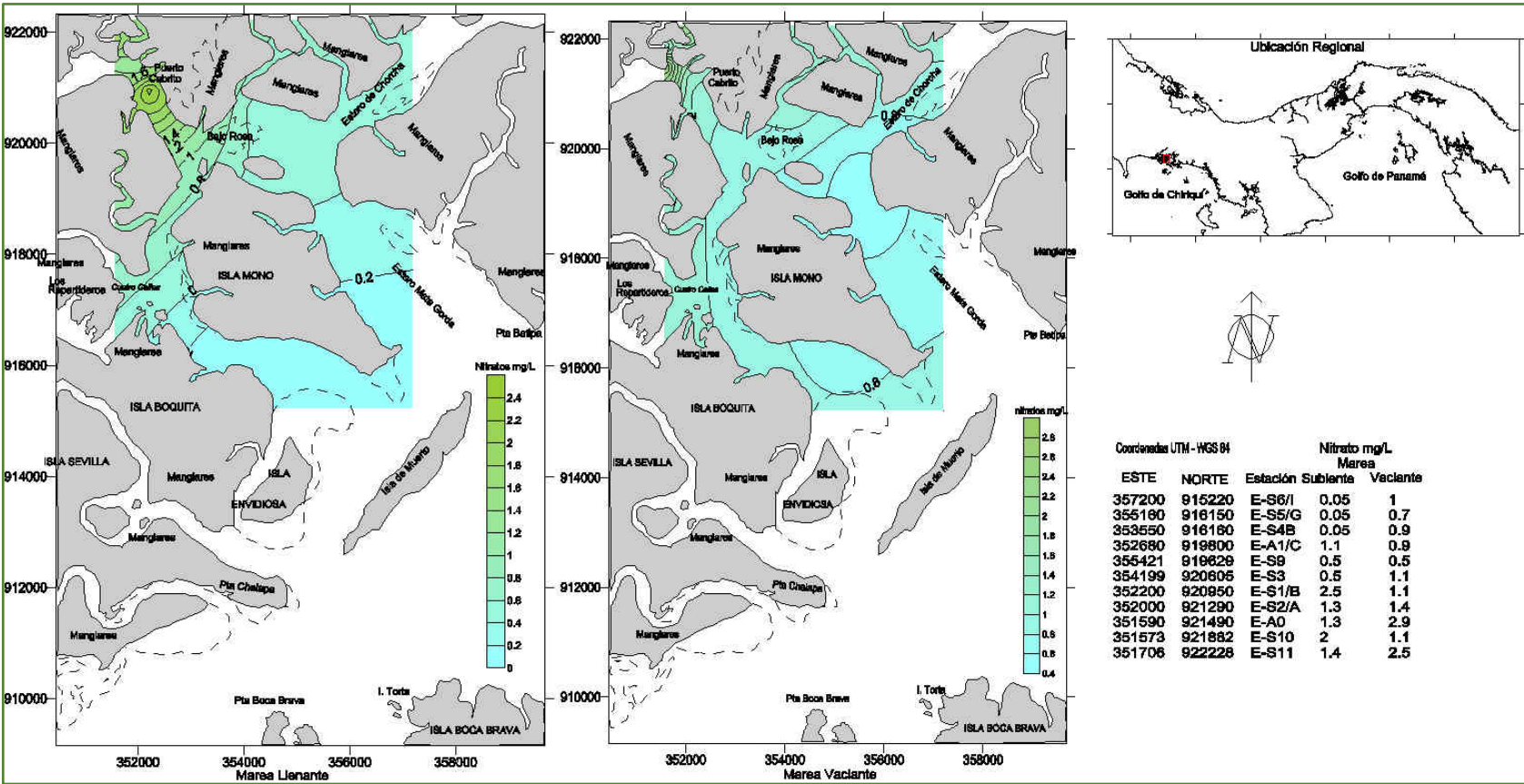
La relación DBO/DQO para la marea llenante nos da un valor de 0,04 y en la marea vaciante de 0,019 lo que nos indica que las concentraciones de DQO son por la presencia de materiales inorgánicos oxidables en el área (probablemente por las actividades agrícolas pecuarias).

Las concentraciones de Fósforo están por debajo del límite de cuantificación del equipo (0,05 mg/L) tanto en marea llenante como vaciante; solo le estación ES-10 en la muestra colectada a -8 m en marea subiente reportó una concentración de 0,06 mg/L, valor que se encuentra por debajo del valor guía recomendado por la Norma peruana (0,124 mg/L).

El Nitrógeno amoniacal en ambas mareas en todas las estaciones fue menor que el límite de cuantificación del equipo (0,4 mg/L); las mayores concentraciones de Nitratos se encuentran en la zona Norte y Media en marea llenante, estando la mayor concentración en la Estación ES-1/B (2,5 mg/L); en marea vaciante se mantiene el mismo perfil; sin embargo, se nota un aumento por mayor dispersión de las concentraciones de Nitratos hacia la zona Sur, relacionada al transporte de los sólidos suspendidos totales (Figura 6.30). Esto nos está señalando la intensidad de actividades en materia del uso de suelos, especialmente en la de los agroquímicos, toda vez que se incrementa la concentración al aproximarnos al área productiva, sobre todo con suelos de baja fertilidad. En relación con el Fósforo, se da el caso también que, justamente hacia el área de la estación ES-10, que expresa la situación de áreas colindantes de producción extensiva agrícola y pecuaria, también sube su concentración, aunque en ninguno de los casos se sobrepasan los niveles máximos recomendados.

Las concentraciones de AyG estuvieron por debajo del límite de cuantificación del equipo, y solo la Estación EA-1 reportó una concentración 7 mg/L. la concentración de HC totales en la estación E-S6 fue de 6,8 mg/L y en resto de las estaciones no fueron cuantificadas ya que se encontraban por debajo del límite de cuantificación del equipo. Ambas concentraciones superan el valor guía recomendado por la norma peruana que son 5 mg/L y 0,5 mg/L respectivamente. Esto puede estar relacionado al tráfico de lanchas en el área por actividades de pesca artesanal y turismo, y las corrientes toda vez que se ubican en encrucijadas de canales mareales (son puntos importantes que monitorear durante la operación portuaria).

Figura 6.30. Distribución espacial de Nitratos en la zona de estudio.



- **Contaminantes biológicos.**

Los resultados de los análisis microbiológicos denotan concentraciones de Coliformes totales para la zona Norte en el rango de (13–540) NMP/100ml en marea llenante y de (1,8 a 920) NMP/100ml en marea vaciante, estando la mayor concentración en la Estación ES-11 para ambas mareas. La zona media reporta concentraciones en el rango de (7,8 a 130) NMP/100ml y de (2,0 a 7,8) NMP/100ml en marea llenante y baja respectivamente, y la zona Sur presenta rangos de (2–22) NMP/100ml en marea llenante y (1,8 a 46) NMP/100ml en marea vaciante. Las mayores concentraciones de Coliformes totales se dan en la zona Norte en la Estación E-S11 y ES-10 en ambas mareas, las cuales están influenciadas por las descargas de agua dulce del entorno productivo. Es importante destacar que ninguno de los valores reportados sobrepasa el valor de la Norma peruana (1000 NMP/100 ml).

- **Indicador de calidad de agua marina (ICAM_{PFF}).**

Este indicador resume la información de siete variables (OD, pH, SST, Nitrato, Ortofosfatos, DBO₅ y CT) integradas en una ecuación de promedio geométrico ponderada, a una escala adimensional con valores entre 0 y 100, que indican el estado de calidad del agua en función de valores de referencia o límites permisibles (Cuadro 6.56).

Cuadro 6.56. Categorías y valores de la calidad del agua marina y estuarina

| Escala de calidad | Categorías | Descripción |
|-------------------|------------|---|
| Óptima | 100-90 | Calidad excelente del agua |
| Adecuada | 90-70 | Agua con buenas condiciones para la vida acuática |
| Aceptable | 70-50 | Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso |
| Inadecuada | 50-25 | Agua que presenta muchas restricciones de uso |
| Pésima | 25-0 | Aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado |

Los resultados de la aplicación del ICAM_{PFF} muestran que en el muestreo realizado en mayo de 2021 durante la marea llenante, el 27,7% de las estaciones ubicadas en la zona Sur tuvieron aguas con calidad adecuada y el 72,2% de aguas con calidad aceptable en la zona Media y Norte, (Cuadro 6.57). En marea vaciante el 90,9% de las estaciones presentaron agua de calidad aceptable y el

9,09% de calidad inaceptable (Estación ES-3), (Cuadro 6.58). Los cambios en los indicadores de calidad del agua en la marea vaciante están relacionados con los procesos de transporte de sedimentos finos, mezcla y dilución por el efecto de la marea (Figura 6.31). Esta gran proporción de estaciones en condiciones aceptables en ambas mareas responden a la ponderación del indicador de la concentración de Nitratos, en especial las estaciones de la zona Norte más influenciadas por la descarga de los ríos. Los indicadores de calidad de agua reflejan la condición normal de un medio estuarino intervenido.

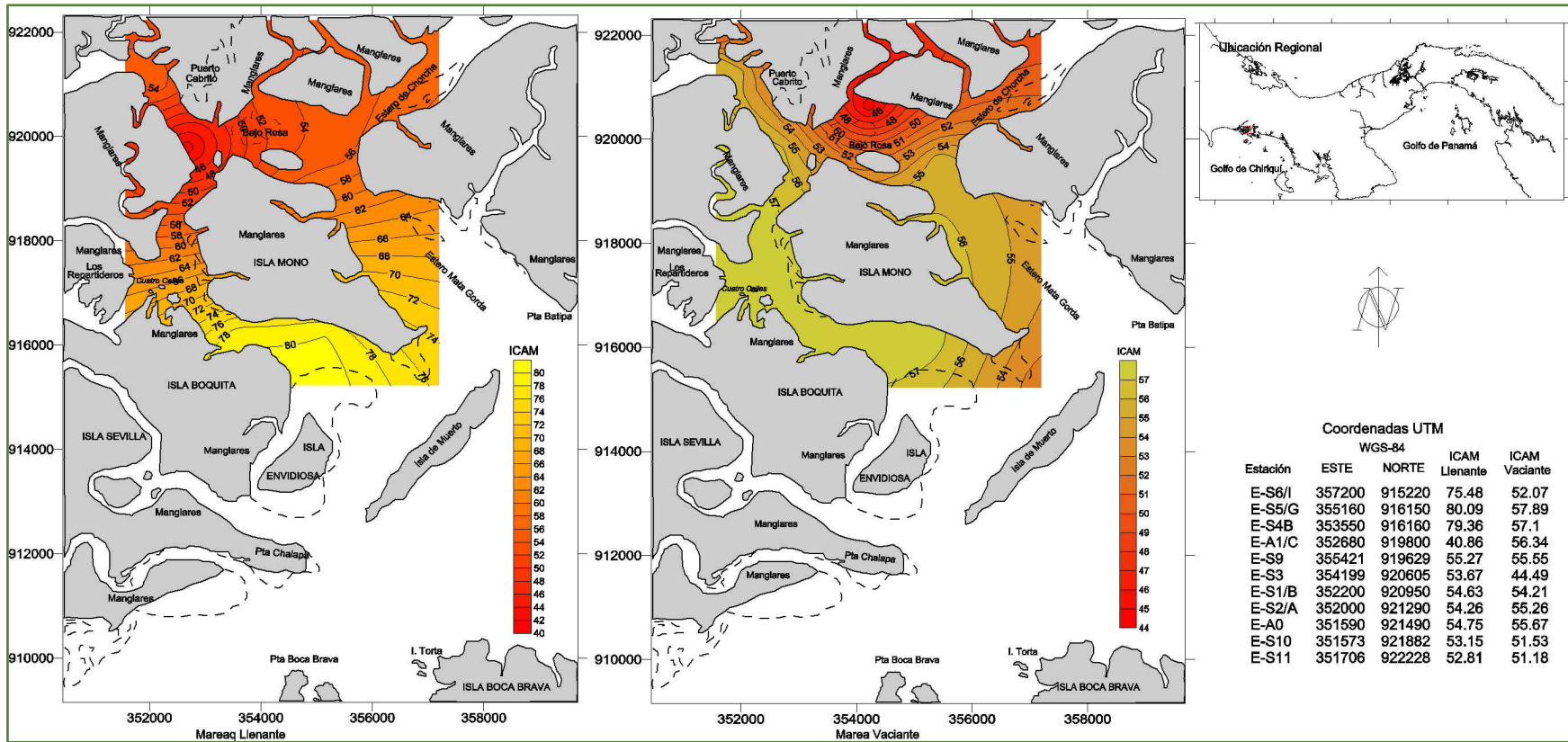
Cuadro 6.57. Indicador de calidad de agua marina (ICAM_{PFF}), marea llenante.

| Estación | Profundidad (m) | Metales en Marea Llenante | | | |
|--|-----------------|---------------------------|----------------|-------------------------|-----------|
| | | Cu (mg/L) | Fe (mg/L) | Cr ⁶⁺ (mg/L) | Cd (mg/L) |
| E-S6/I | -0.3 | 0.113 | <0.03 | 0.04 | 0.001 |
| E-S5/G | -0.3 | 0.013 | <0.03 | 0.02 | <0.001 |
| E-S5/G | 4.5 | 0.112 | 0.03 | 0.05 | 0.002 |
| E-S4B | -0.3 | 0.114 | <0.03 | 0.02 | 0.001 |
| E-S4B | 7 | 0.114 | 0.06 | 0.04 | <0.001 |
| E-A1/C | -0.3 | 0.112 | 0.04 | 0.02 | 0.001 |
| E-A1/C | 4 | 0.113 | 0.04 | 0.04 | 0.001 |
| E-S9 | -0.3 | 0.113 | 0.03 | 0.02 | 0.001 |
| E-S3 | -0.3 | 0.114 | <0.02 | 0.018 | 0.001 |
| E-S1/B | -0.3 | 0.114 | 0.04 | 0.03 | 0.001 |
| E-S2/A | -0.3 | 0.113 | 0.05 | 0.037 | 0.002 |
| E-A0 | -0.3 | 0.112 | 0.04 | 0.026 | 0.002 |
| E-S10 | -0.3 | 0.113 | 0.04 | 0.057 | 0.002 |
| E-S10 | -8 | 0.112 | 0.05 | 0.052 | 0.003 |
| E-S11 | -0.3 | 0.113 | 0.07 | 0.023 | 0.001 |
| Estándares de calidad ambiental para aguas "protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios". Norma Peruana, 2017. | | 0.05 | No establecido | 0.05 | 0.0088 |

Cuadro 6.58. Indicador de calidad de agua marina (ICAM_{PFF}), marea vaciante.

| Estación | Profundidad (m) | Metales marea vaciante | | | |
|--|-----------------|------------------------|----------------|-------------------------|-----------|
| | | Cu (mg/L) | Fe (mg/L) | Cr ⁶⁺ (mg/L) | Cd (mg/L) |
| E-S11 | -0.3 | 0.119 | 0.11 | 0.045 | 0.003 |
| E-S10 | -0.3 | 0.117 | 0.07 | 0.048 | 0.002 |
| E-S10 | 8 | 0.118 | 0.006 | 0.03 | <0.001 |
| E-A0 | -0.3 | 0.116 | 0.05 | 0.028 | 0.002 |
| E-S2/A | -0.3 | 0.117 | 0.03 | 0.047 | 0.003 |
| E-S1/B | -0.3 | 0.117 | 0.07 | 0.029 | 0.003 |
| E-A1/C | -0.3 | 0.115 | 0.07 | 0.027 | <0.001 |
| E-S9 | -0.3 | 0.116 | 0.04 | 0.027 | 0.001 |
| E-S3 | -0.3 | 0.116 | 0.09 | 0.041 | 0.001 |
| E-S4B | -0.3 | 0.115 | <0.03 | 0.043 | 0.003 |
| E-S5/G | -0.3 | <0.011 | 0.04 | 0.028 | 0.001 |
| E-S6/I | -0.3 | 0.115 | 0.03 | 0.021 | 0.001 |
| Estándares de calidad ambiental para aguas "protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios". Norma Peruana, 2017. | | 0.05 | Sin establecer | 0.05 | 0.0088 |

Figura 6.31. Distribución espacial de la calidad de agua según el ICAM_{PFF}, en marea llenante y vaciante.



Fuente: xxxxx

- **Análisis de sedimentos en los cuerpos de aguas superficiales.**

Los sedimentos se colectaron de las perforaciones realizadas del fondo marino, y abarcaron las siguientes estaciones: E-S10, E-S11, E-A0, E-S3, E-S9, E-S1, E-S2, E-S4/B, E-S5, E-S6, E-S4/A, E-S8, E-S7.

Los resultados de los análisis de laboratorio (Cuadro 6.59) se evaluaron de forma individual para cada estación donde los niveles de metales detectados eran superiores al límite de detección del método. Se calculó el Índice de Geoacumulación de Müller (1979), (Ramos *et al*, 1990), (Araúz *et al*, 2013). Este índice se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5B_n} \right)$$

Donde:

C_n = concentración del metal n en el sedimento;

B_n = concentración del valor de fondo geoquímico; 1,5 factor correctivo de efectos litogénicos.

Los valores de fondo o “Background”, necesarios para calcular el índice de Geoacumulación se han tomado de los datos publicados por Turekian & Wedepohl (1961), encontrados en pizarras sedimentarias y estos valores (en mg/kg-1 peso seco) son los siguientes: cadmio (0,22), cromo (90), cobre (45), plomo (20), As (13). La magnitud de la contaminación va de una escala ≤ 0 (no contaminada) a 6 (extremadamente contaminada).

Cuadro 6.59. Concentración de metales pesados (mg/kg)

| Estación | As | Ba | Cd | Cu | Cr | Fe | Ni | Se | Pb | Hg | Zn |
|----------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|------|--------|-------|
| ES-3 | <0.008 | 52.25 | <0.001 | 96.4 | 26.25 | 43135 | <0.005 | <0.02 | 7.25 | <0.007 | 64.05 |
| ES-10 | <0.008 | 54.25 | <0.001 | 98.17 | 28.3 | 43254 | <0.005 | <0.02 | 6.71 | <0.007 | 64.23 |
| ES-4A | <0.008 | 53.25 | <0.001 | 93.45 | 26.32 | 41211 | <0.005 | <0.02 | 6.5 | <0.007 | 64.85 |
| E-S1 | <0.008 | 616.2 | <0.001 | 129.7 | 104.9 | 78270 | <0.005 | <0.02 | 4.22 | <0.007 | 56.28 |
| E-S5 | <0.008 | 53.38 | <0.001 | 97.28 | 26.27 | 42380 | <0.005 | <0.02 | 6.17 | <0.007 | 63.99 |
| E-S6 | 9.05 | 90.74 | <0.001 | 36.15 | 12.35 | 46520 | <0.005 | <0.02 | 1.39 | <0.007 | 142.8 |
| E-S7 | <0.008 | 50.3 | <0.001 | 96.11 | 23.45 | 41243 | <0.005 | <0.02 | 8.33 | <0.007 | 61.2 |
| E-S8 | <0.008 | 52.1 | <0.001 | 96.11 | 22.3 | 41168 | <0.005 | <0.02 | 7 | <0.007 | 61.31 |
| E-A0 | <0.008 | 51.32 | <0.001 | 94.25 | 25.5 | 42734 | <0.005 | <0.02 | 6.7 | <0.007 | 65.42 |
| E-S9 | <0.008 | 53.45 | <0.001 | 97.34 | 27.23 | 43274 | <0.005 | <0.02 | 6.88 | <0.007 | 64.35 |
| ES-11 | <0.008 | 52.69 | <0.001 | 96.12 | 26.75 | 43125 | <0.005 | <0.02 | 7.05 | <0.007 | 63.4 |

Las concentraciones encontradas se compararon con los Valores Guías Canadiense de Calidad de sedimentos marinos (Canadian Environmental Quality Guidelines,CEQG). (Cuadro 6.60).

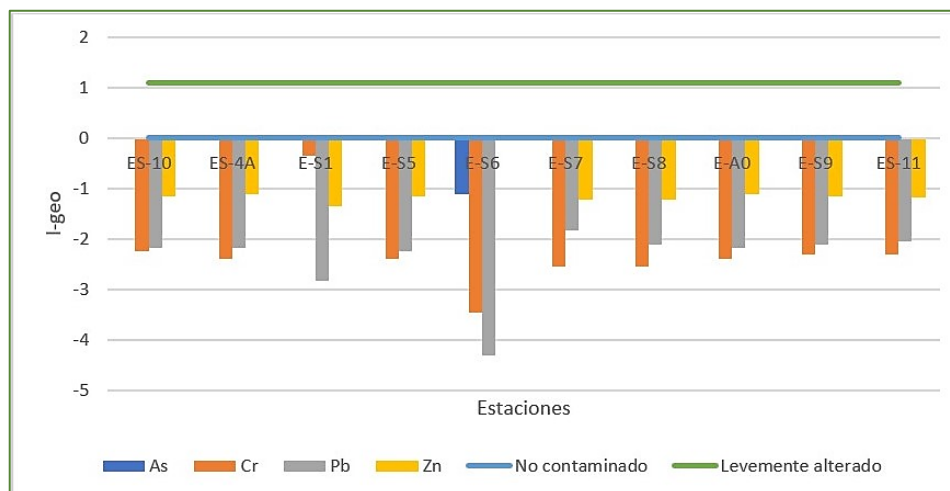
Cuadro 6.60. Valores Guías Canadiense de calidad de sedimentos

| Parámetros Metales | CEQG | |
|-----------------------|------------|------------|
| | TEL (µg/g) | PEL (µg/g) |
| Arsénico | ----- | ----- |
| Cadmio | 0,70 | 4,21 |
| Cobre | 18,7 | 108,30 |
| Cromo | 52,30 | 160,00 |
| Plomo | 30,20 | 112,00 |
| Mercurio | 0,13 | 0,70 |
| Níquel | 15,90 | 42,80 |
| Zinc | 124,00 | 271,00 |

Este estándar determina los valores ISQG (Interim Sediment Quality Guideline), Valor guía interino de la calidad de sedimento: TEL (Threshold Effect Level), concentración por debajo de la cual no se espera efectos biológicos adversos y PEL (Probable Effect Level), Nivel de efecto probable: concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.

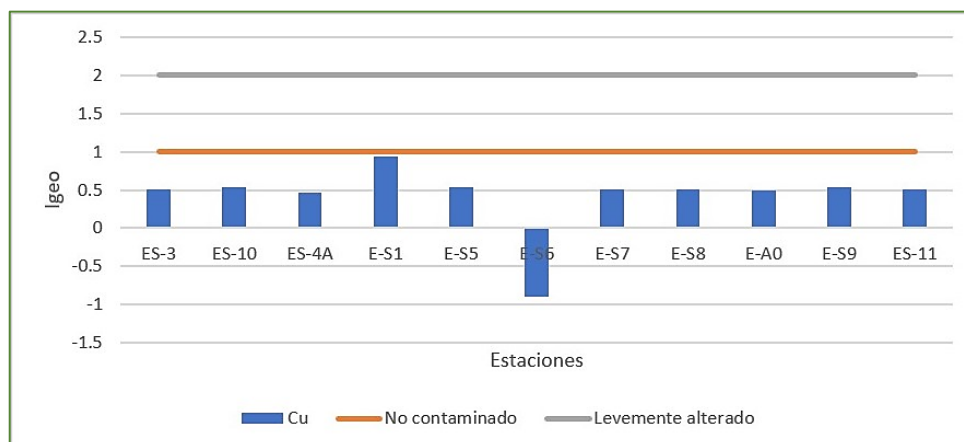
El Índice de Geoacumulación para el As en la estación E-S6 (de mayor concentración), fue negativo (-1,12), mientras que para el Cr, Pb y Zn los índices fueron < 0 en todas las estaciones, lo que indica que los sedimentos no están contaminados por estos metales, (Gráfica 6.14 y Gráfica 6.15).

Gráfica 6.14. Índice de geoacumulación (As, Cr, Pb y Zn).



En la estación E-S6 el Igeo del Cu fue menor de cero (-0,89) y el resto de las estaciones dieron índices entre 0,46 y 0,94, o sea que la estación E-S6 no está alterada por este metal, mientras que en el resto de las estaciones los Igeo están en el intervalo $0,0 < Igeo < 1,0$, lo que ubica a los sedimentos en no contaminados a moderadamente contaminados, (Cuadro 6.26).

Gráfica 6.15. Índice de Geoacumulación Cu

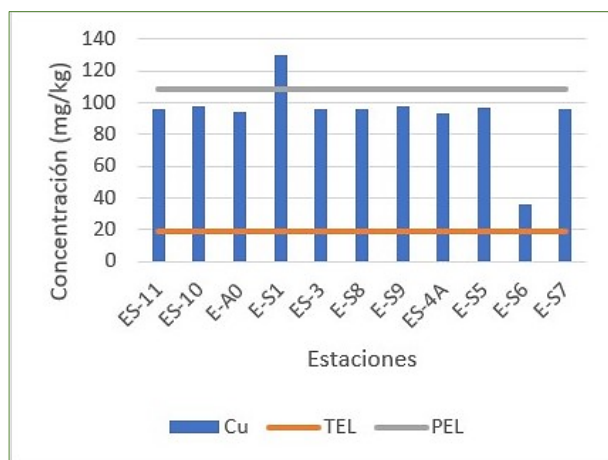


El rango de las concentraciones reportadas para el Cobre va de 36,15 a 129,7 mg/kg, siendo la más alta la del punto ES-1 frente al talud de la terraza del futuro puerto, con el $Igeo = 0,94$, moderadamente contaminado. La estación E-S6 es también la que reporta menor concentración, por debajo del valor del PEL (52,3 mg/kg), sobre la cual se producen efectos biológicos adversos con frecuencia, pero a su vez son mayores al umbral ISQG (TEL), concentración por debajo de la

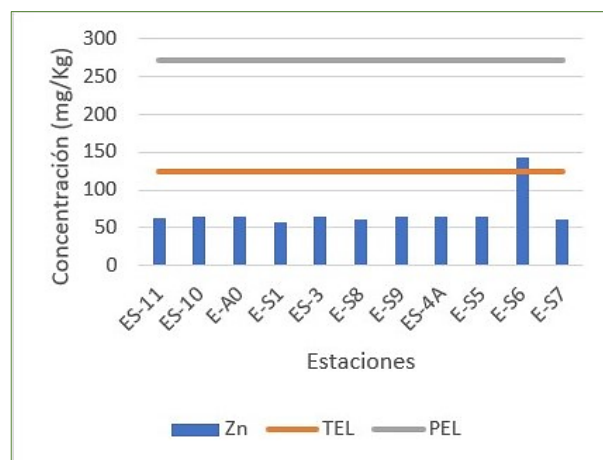
cual no se espera efectos biológicos adversos. El resto de las estaciones superan el valor de 52,3 mg/kg.

Por otro lado, se reportan concentraciones para el Cr inferiores al ISQG (TEL) en 10 de las estaciones y solo la E-S1 lo supera con una concentración de 104,9 mg/kg, aunque no supera el PEL (160 mg/kg). La menor concentración de Pb se registró en la estación E-S6 (1,39 mg/kg), y la estación E-S7 reportó la mayor concentración (8,33 mg/kg); todas las estaciones presentaron concentraciones de Pb por debajo del ISQG (TEL), de 30 mg/kg, y solo la estación E-S6 superó el ISQG (TEL) de 124 mg/kg, pero al igual que el resto, quedó por debajo del PEL (271 mg/kg), (Gráficas 5.27, 5.28, 5.29 y 5.30)

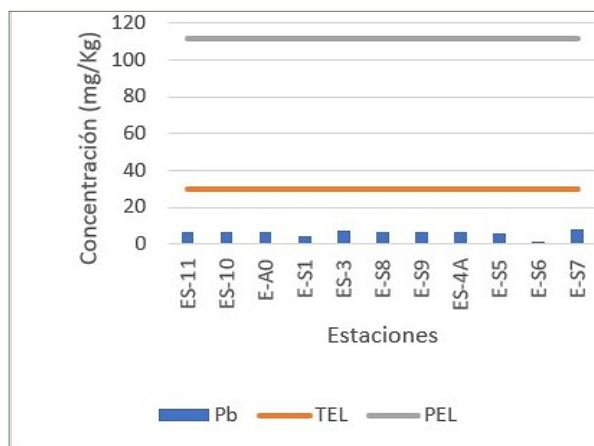
Gráfica 6.16. Concentraciones de Cu
(mg/Kg)



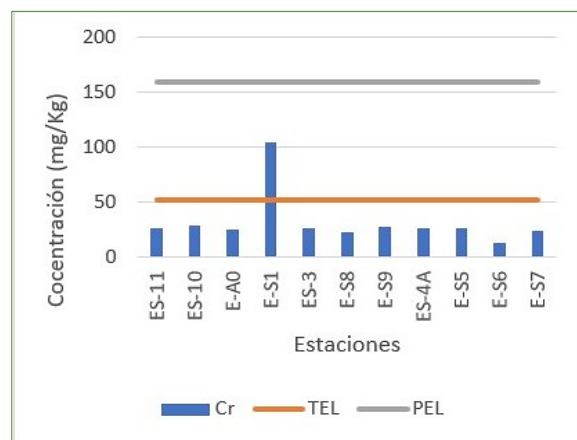
Gráfica 6.18. Concentraciones de Zn
(mg/Kg).



Gráfica 6.17. Concentraciones de Pb
(mg/Kg)



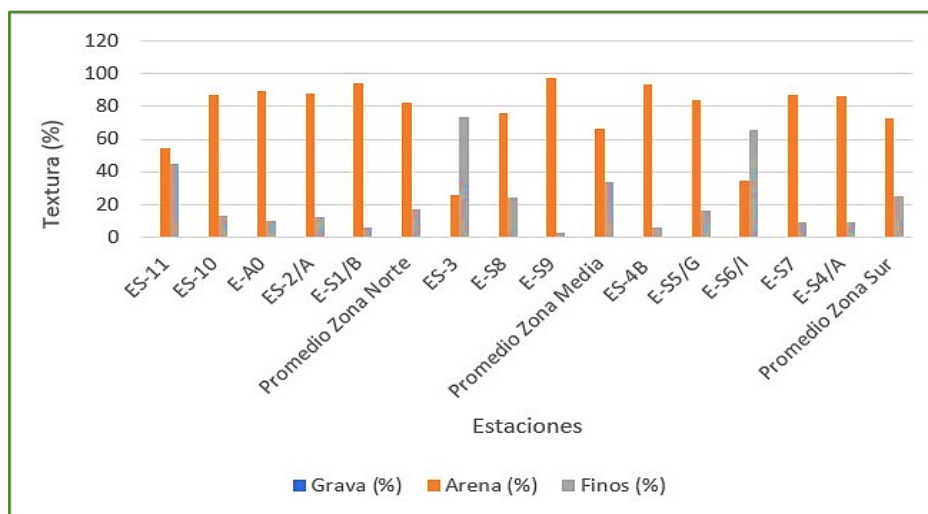
Gráfica 6.19. Concentraciones de Cr
(mg/Kg)



Al evaluar estos resultados podemos indicar una calidad de los sedimentos buena dentro de las normativas; sólo se destaca por rebasar valores guías recomendados (PEL) el Cu en la Estación E-S1; sin embargo, su índice de geoacumulación indica sedimentos no contaminados o levemente alterados. En todo caso vale recordar que el Cobre de la muestra E-S1, cercana al talud del terreno del proyecto, tiene por lo general alta proporción en minerales de cobre.

En cuanto a la textura de los sedimentos (Gráfica 6.20), las arenas son predominantes a lo largo del eje longitudinal del cauce del canal de navegación. En la zona Norte el rango de arenas está entre 54,8% y 94%, siendo la estación E-S1 la de mayor porcentaje de arena. En la zona Media la Estación ES-9 presenta 97% de arena siendo el valor más alto en esta zona y la Estación ES-3 presentó el porcentaje más bajo (26%). La zona Sur presenta en la Estación E-S4B un porcentaje de arena de 93,22% siendo el más alto y de 34,4% en la Estación E-S6.

Gráfica 6.20. Textura de los Sedimentos



Es importante destacar que se mantiene corriente abajo del brazo estuarino del canal de navegación, un mayor porcentaje de arena que de finos; siendo las estaciones E-S11, E-S3 y E-S6 las que presentan los mayores porcentajes de finos, en el orden de 45,2%, 74% y 65,6% respectivamente; los porcentajes de finos en estas estaciones obedecen a la dinámica de transporte (ver la sección de hidrodinámica de este estudio). Esta condición de la textura es consistente con los resultados de metales en el sedimento ya que estos tienen poca afinidad con las arenas.

- **Conclusiones.**

El sistema en general presenta condiciones propias de un estuario en sus valores de Temperatura, pH, Salinidad y Oxígeno disuelto. Los valores de Salinidad presente en las tres zonas nos indica que hay una fuerte influencia de la marea en el área. Los indicadores de calidad del agua nos muestran que son aguas de calidad aceptable en su mayor parte en ambas mareas y adecuadas en la zona Sur, durante la marea llenante; esto es importante porque el sistema mantiene condiciones aptas para el desarrollo de la vida acuática.

Es importante destacar que la calidad de agua aceptable presente en la mayor parte del canal está relacionada a las concentraciones de nitratos y su ponderación en el indicador de calidad de agua. A su vez, los nitratos tienen correlaciones positivas con los sólidos suspendidos totales que entran al sistema por escorrentía y/o erosión de taludes presentes en el área del proyecto, en especial en la zona Norte. Esto implica que los sólidos suspendidos son un factor importante para considerar en los movimientos de tierra, que pueden alterar significativamente la calidad de agua del sistema.

Se evidenció una fuente difusa de contaminación relacionada con aceites y grasas e hidrocarburos en las Estaciones EA-1 y E-S6 respectivamente, se deben establecer medidas de mitigación en futuras actividades que pudieran afectar la calidad de las aguas con relación a estos parámetros.

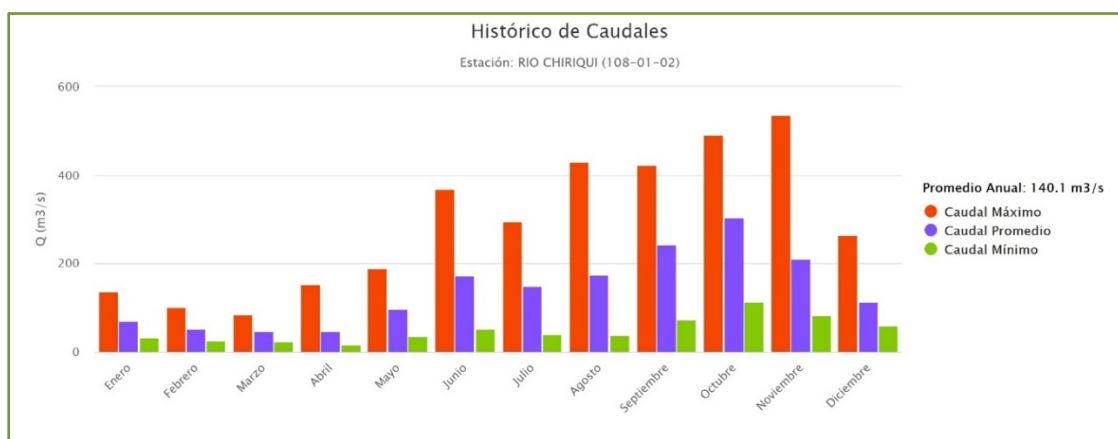
Los sedimentos del fondo de las zonas de estudio no presentan un grado de perturbación antrópica por metales pesados; los valores reportados son propios de los suelos del área y se encuentran clasificados como no contaminados de acuerdo con el Índice de Geoacumulación de Müller (1979) y dentro de los valores recomendados por las normativas internacionales para desarrollo de la vida acuática.

A largo del canal se produce un proceso rápido de depuración del material terrígeno y una fuerte entrada de las aguas costeras que hace sedimentar la arena, pero existe un transporte de finos que se acumulan en algunas zonas del sistema; esto es un factor importante para considerar en las futuras actividades del desarrollo portuario.

6.6.1.a. Caudales (máximo, mínimo y promedio anual)

El caudal promedio anual del río Chiriquí, en la Estación 108-01-02 situada en el puente de la carretera Interamericana, o sea justo antes de entrar a la zona deltaica, es de 140,1 m³/s con base a un registro continuo de 65 años; y alcanza el mayor caudal del año entre los máximos mensuales de la serie, de 537,4 m³/s, en el mes de noviembre, así como el mínimo de 17 m³/s, durante el mes de abril (Gráfica 6.21). Con un área de cuenca de 1.337 km², el caudal máximo por día de la serie se produjo el 2 octubre de 1974, arrojando un volumen de Q_{max}= 3.255 m³/s, mientras que el promedio de los máximos es de 1.939 m³/s.

Gráfica 6.21. Promedio histórico de caudales mensuales en la Estación 108-01-02.



Fuente: ETESA.

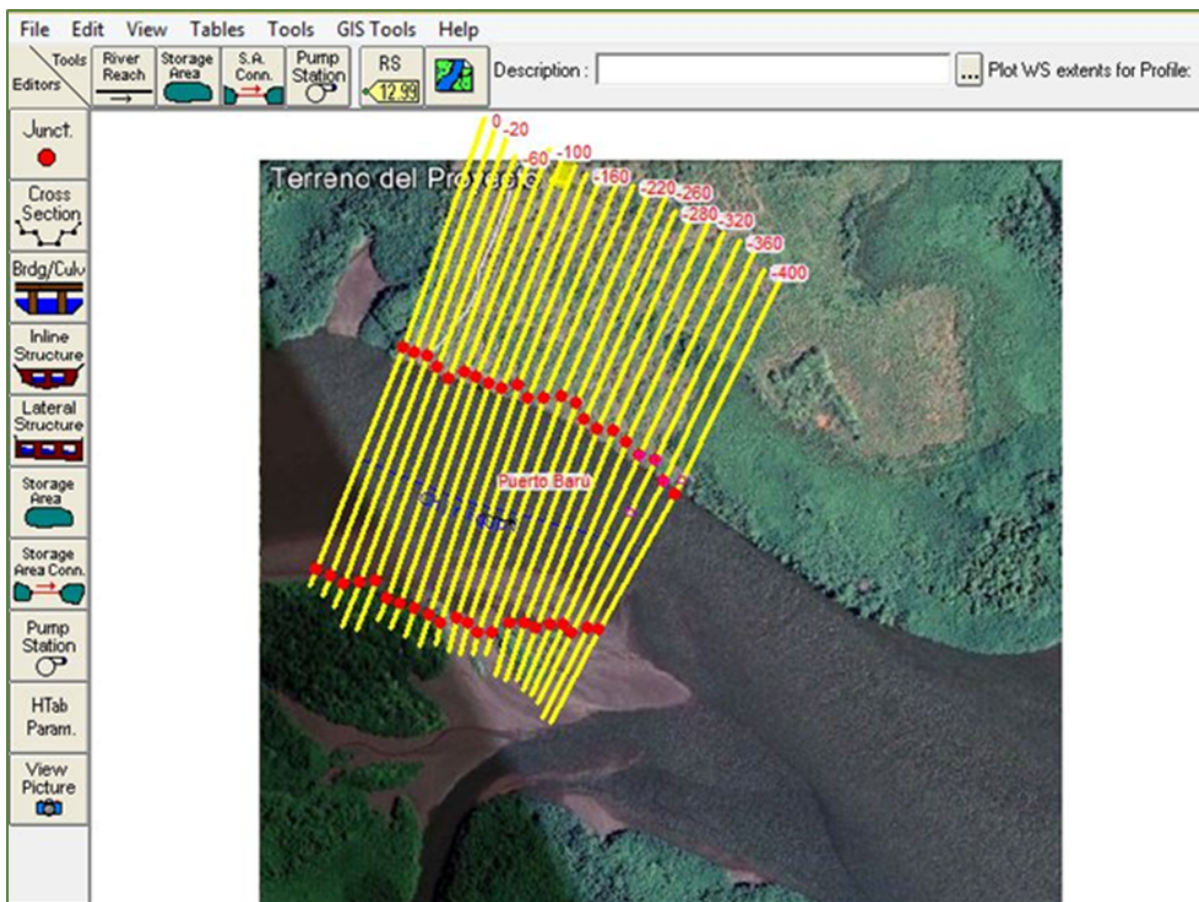
Para estimar los caudales de diseño se utilizó la serie de tiempo de caudales máximos instantáneos registrados a lo largo de 48 años (1955 al 2003), en la estación hidrológica 108-01-02 mencionada. Se descartó el uso de los caudales más allá del 2003 porque se consideró que el desarrollo de los proyectos hidro energéticos, juntamente con sus estructuras como las represas, canales y trasvases entre subcuencas han modificado el proceso de precipitación-escorrentía en la cuenca. Los caudales de diseño sirvieron de base para continuar como se observará más adelante con el análisis hidráulico. (Ver *Anexo 15*)

La distribución de probabilidad para los periodos de retorno de 50 y 100 años, se estimaron en 3.339 m³/s y 3.608 m³/s respectivamente (Cuadro 6.61). Los resultados muestran que para los caudales Q₅₀ y Q₁₀₀ se obtuvieron velocidades máximas en la corriente de 1,64 m/s y 1,78 m/s,

EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

respectivamente, en el sitio donde se propone construir el puerto. Para ambos caudales de diseño, las magnitudes del Número de Froude fueron menores que la unidad en todas las secciones transversales, para indicarnos que el flujo es subcrítico en el tramo de los 419,15 m de análisis. Se registró que las diferencias de altura entre las cotas del terreno y los niveles del agua varían desde 5,72 m (en la sección transversal 0km+000 metros, aguas arriba) a 2,00 m (en la sección transversal 0km+300 metros, aguas abajo). Figura 6.32

Figura 6.32. Transversales del tramo analizado del río Chiriquí Nuevo.



La determinación de los caudales de diseño para los periodos de retorno de 50 y 100 años, en la zona de proyecto se estimaron a través de un análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos de la estación hidrológica de la Interamericana, haciendo uso del modelo EXVAL 90 (Ballesteros et al., 1990). La serie de tiempos de caudales seleccionados fue de 48 años, comprendidos entre 1955 y 2003 (no hubo datos del año 1996). Más allá del 2003, tal como se

afirma anteriormente, se descartó la data toda vez que la información se presentó escasa como resultado de trabajos realizados en la estación. Además, la construcción del canal artificial que drena las aguas turbinadas de las hidroeléctricas Gualaca, Lorena y Prudencia impactaron los caudales picos que se registran en la estación, razón por la cual no se consideró apropiada la incorporación. El siguiente cuadro presenta los caudales para los diversos retornos.

Cuadro 6.61. Máxima extremos / distribución por frecuencia

| MÁXIMOS EXTREMOS / DISTRIBUCIÓN POR FRECUENCIA | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|----------------------|
| Periodo de Retorno | Truncada Normal | 2-Parámetro Log-Normal | 3-Parámetro Log-Normal | Gumbel Tipo I Extrema | Gumbel Tipo I Log-Extrema | Pearson Tipo III | Log-Pearson Tipo III |
| Años | m ³ /s | | | | | | |
| 2,00 | 1832,90 | 1734,02 | 1774,19 | 1736,36 | 1644,28 | 1772,33 | 1745,18 |
| 2,33 | 1943,55 | 1842,92 | 1883,65 | 1849,36 | 1749,80 | 1882,78 | 1854,31 |
| 5,00 | 2356,66 | 2313,47 | 2327,71 | 2340,30 | 2292,74 | 2330,76 | 2317,19 |
| 10,00 | 2634,46 | 2695,73 | 2660,48 | 2740,17 | 2857,24 | 2664,97 | 2683,22 |
| 20,00 | 2867,62 | 3064,90 | 2963,14 | 3123,73 | 3528,91 | 2966,87 | 3028,77 |
| 50,00 | 3135,51 | 3551,86 | 3339,40 | 3620,20 | 4637,97 | 3338,73 | 3473,41 |
| 100,00 | 3318,05 | 3927,32 | 3614,58 | 3992,24 | 5692,04 | 3607,93 | 3808,18 |
| 200,00 | 3488,38 | 4313,38 | 3886,00 | 4362,92 | 6980,45 | 3871,00 | 4145,56 |
| 500,00 | 3699,57 | 4845,09 | 4243,37 | 4851,97 | 9136,83 | 4213,40 | 4599,73 |
| 1000,00 | 3851,21 | 5266,87 | 4515,02 | 5221,58 | 11198,37 | 4470,78 | 4951,88 |
| Valor CHI² | 5.375 | 8.292 | 8.000 | 8.292 | 10.625 | 3.917 | 8.292 |

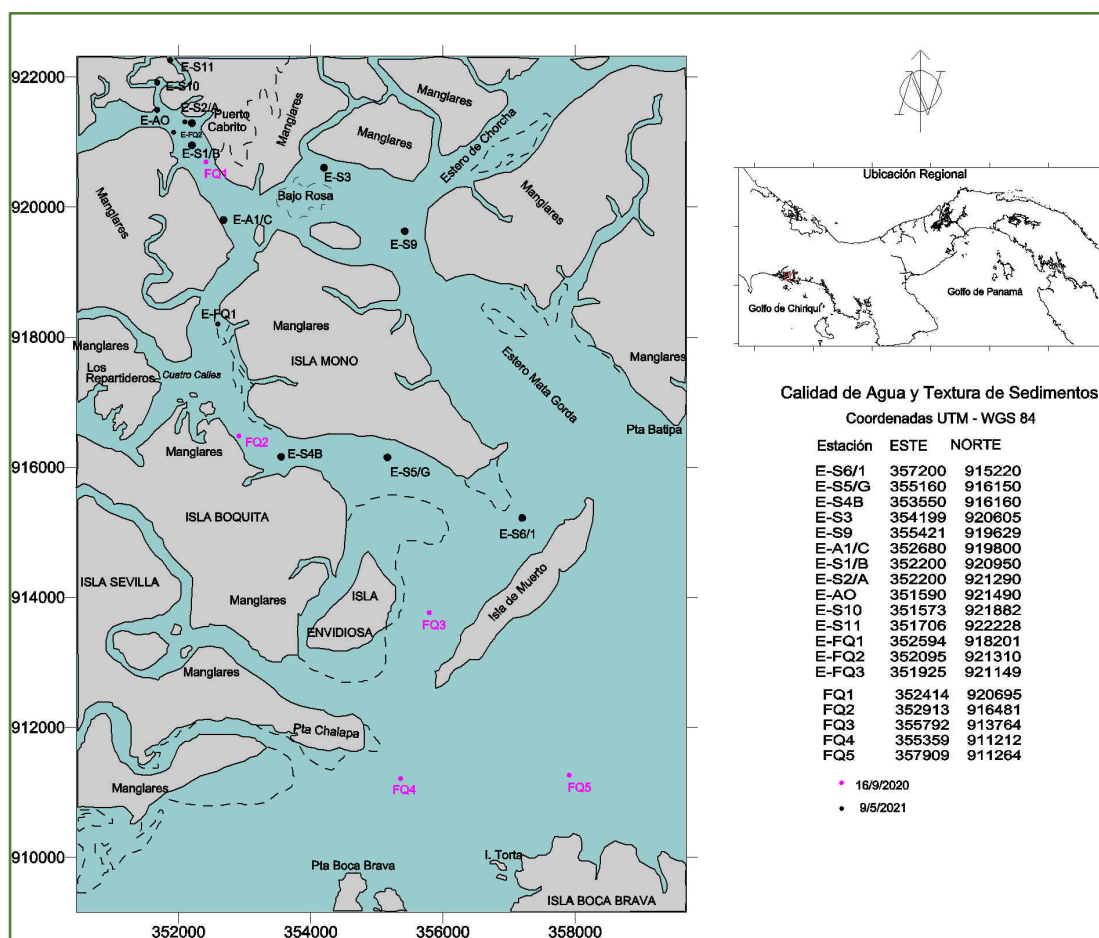
Tal como se puede constatar, de acuerdo con la prueba no-paramétrica de CHI cuadrado, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la serie de tiempo de caudales es la Pearson Tipo III. Así, los caudales a utilizar en el modelaje hidráulico, para los periodos de retorno de 50 y 100 años serán definitivamente de 3,339 m³/s y 3,608 m³/s respectivamente.

6.6.1.b. Corrientes, mareas y oleajes

Hidrodinámica de las aguas estuarinas por efecto marino.

Como parte del estudio del ambiente físico se realizaron campañas de levantamiento oceanográfico durante los días 16 de septiembre 2020, y 23 de febrero y 9 de mayo 2021, con el objeto de proporcionar una visión general del comportamiento de la dinámica marino-costera próxima al sitio de desarrollo portuario y áreas adyacentes de uso (Figura 6.33).

Figura 6.33. Puntos de muestreos en las diferentes fechas.



Fuente: Equipo Consultor, 2022.

El estudio a continuación se centra en la integración de los siguientes análisis:

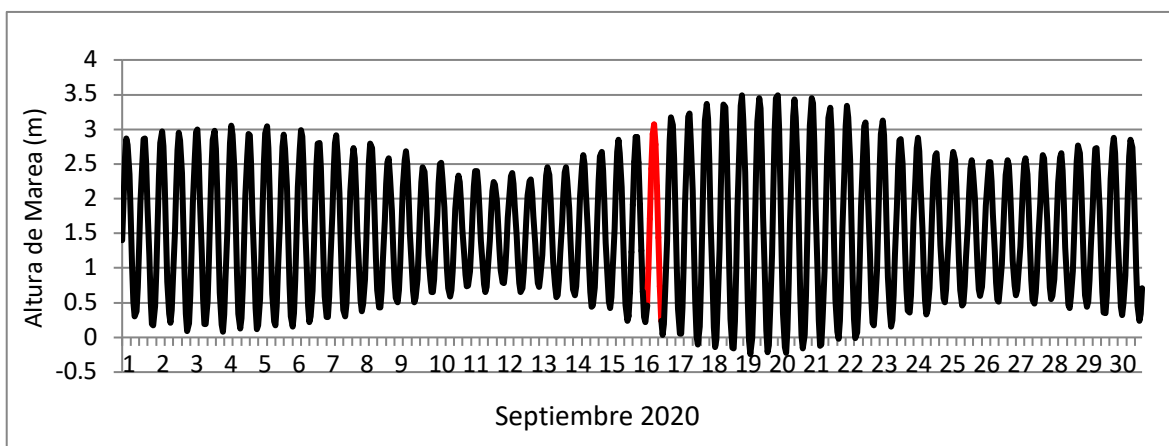
- Mareas, obtenidas mediante el programa para PC “WX-Tide 32” en la estación subordinada de Isla Paridas, la cual es de tipo semi-abierta.

- Corrientes de la circulación general del golfo usando la base de datos del modelo Copernicus 2021 (The European Earth Observation Programm).
- Corriente lagrangiana con el empleo de flotadores a la deriva, tipo cruceta para maximizar el arrastre por la corriente de marea, localizados en su trayectoria mediante posicionamiento satelital por medio de un GPS modelo SXc map 76, en el datum WGS-84, y en intervalos de tiempo lo suficientemente cortos que permiten obtener dirección y velocidad durante la marea llenante y vaciante, en la fase de sicigias de luna llena, cuadratura y a inicios de sicigia de luna nueva respectivamente, en diferentes profundidades.
- Cambios de densidad (σ_t), calculada a partir de los datos de temperatura y salinidad proporcionados por el componente de calidad de agua, y usando el algoritmo de Fofonoff y Millard (1981) de la ecuación de estado de mar.
- Transporte de sedimentos a partir de los sólidos suspendidos, durante la marea llenante y vaciante, así como la textura de los sedimentos.

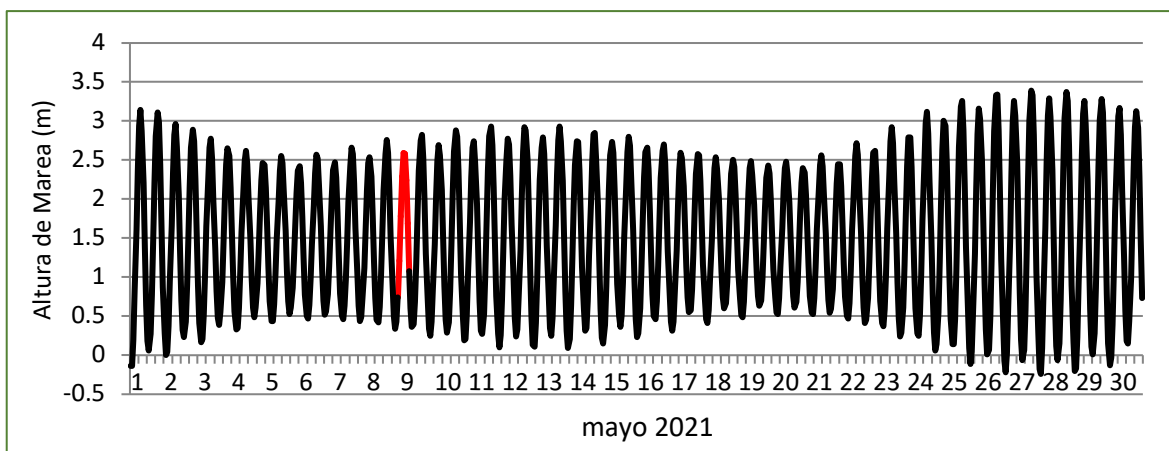
Mareas.

Con las predicciones mareográficas se describen las variaciones de la onda de marea para los meses de levantamiento de la información; estos se muestran en las (Gráfica 6.22) y (Gráfica 6.23).

Gráfica 6.22. Variaciones de la onda de marea para septiembre 2020.



Gráfica 6.23. Variaciones de la onda de marea para mayo 2020.



Es evidente que el comportamiento de las mareas para la estación Isla Parida, es el de marea astronómica semidiurna pura (ciclos de mareas de aproximadamente 12 horas). En la misma se puede notar que las mareas, en el Golfo de Chiriquí son de rango mesomareal; es decir, mareas mayores a 2 m, pero menores de 4 m de altura.

Araúz (2002) señala que, la marea astronómica en el pacífico panameño es de carácter semidiurna con desigualdades diurnas inferiores al 7% de la amplitud media y que a medida que nos aproximamos hacia el Occidente hay diferencias en tiempo y altura, con respecto a la tabla de referencia Balboa, debido a la propagación de la componente lunar principal (M2). Estas diferencias se pueden observar, en el (Cuadro 6.62), las cuales son correcciones que se deben aplicar a las alturas pronosticadas en la estación de referencia Balboa y así obtener las alturas pronosticadas en la estación subordinada. Notamos, que el nivel del agua bajo (LWL) en el Golfo de Chiriquí es (-0,09), lo que indica un vaciado adelantado de 9 minutos. Mientras, el nivel de marea alta (HWL) se multiplica por 0,63 m y el nivel bajo (LWL) por 0,47 m.

Por lo tanto, la zona costera–marina de Bahía Muertos, por las características señaladas de la marea constituyen un sistema mesomareal en el interior del estuario, en la que su onda de marea semidiurna genera corrientes de flujo y reflujo.

Cuadro 6.62. Niveles mareográficos en la estación subordinada de Isla Parida y diferencias mareales

| Extensión de mareas | Latitud | Longitud | Nivel medio de mareas altas de Cuadratura (m) (MHWN) | Nivel medio de mareas altas de Sicigias (m) (MHWS) | Nivel medio del mar (m) | DIFERENCIAS | | | |
|---------------------|---------|----------|--|--|-------------------------|----------------|-------|------------|------|
| | | | | | | Tiempo (HH:MM) | | Altura (m) | |
| | | | | | | HWL | LWL | HWL | LWL |
| Balboa | 08° 57' | 079° 34' | 3,84 | 4,99 | 2,6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Isla Parida | 08° 08' | 082° 19' | 2,4 | 3,1 | 1,5 | 0,00 | -0,09 | 0,63 | 0,47 |

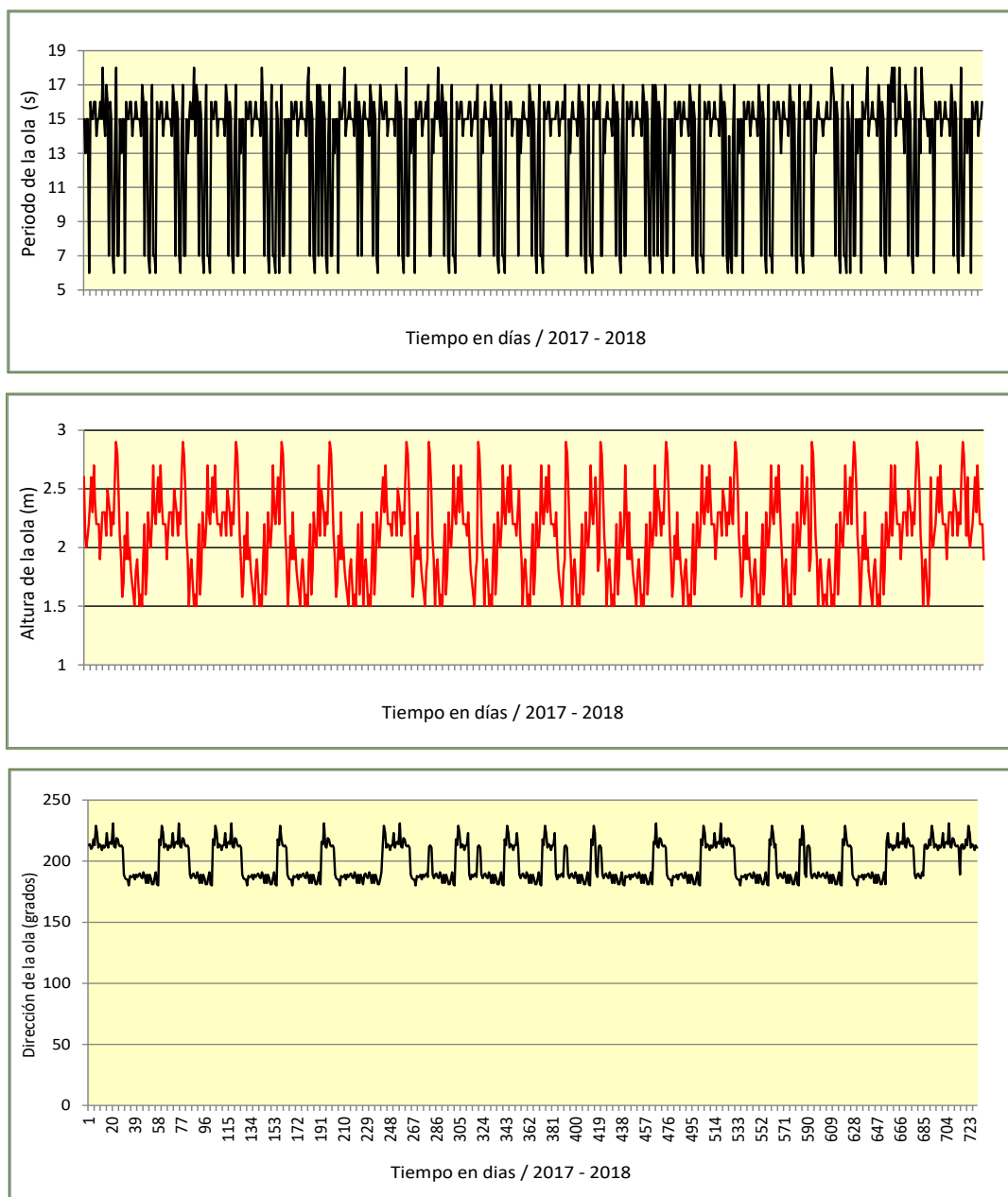
Fuente: WX-Tide 32. ACP-Referencia Balboa Niveles referidos al Datum de las Cartas de Navegación.

Oleaje

A medida que el oleaje se aproxima hacia la línea de costa comienza a interactuar con el fondo marino. Como consecuencia de esto, el tren de olas experimenta transformaciones que incluyen diversos procesos, los que se traducen fundamentalmente en variaciones en la altura de ola y en la dirección de propagación. Teniendo en cuenta que el sitio proyectado para el desarrollo del puerto se ubica en la parte interna del estuario, característica que le confiere una alta protección sobre el oleaje oceánico y su propagación, la zona experimenta ondas capilares donde la fuerza generadora es el viento, de componente Sur, y la restauradora es la tensión superficial (ondas Seiches). Esta característica es importante, ya que ocasiona erosión en la zona de emplazamiento; por consiguiente, se requiere de técnicas de protección de talud.

Sin embargo, es de interés caracterizar las condiciones del oleaje (altura de la ola significativa, periodo y dirección) en la parte exterior, entendiéndose que aquella área está expuesta directamente por el oleaje e incide en el cuadro hídrico del proyecto. Se utilizó al respecto información de la Boya virtual, Bouyweather.com, proveniente de modelos hindcasting y forecasting de tercera generación (WaveWatch III), para el sector Pacífico ubicada en las coordenadas 8.28°N/82.52°W, período (2017-2018), Gráfica 6.24.

Gráfica 6.24. Espectro de las condiciones de oleaje.



La serie de datos de oleaje fue procesada a través de filtros macro de Excel, obteniendo la relación conjunta altura significativa y período de la ola, así como altura significativa y dirección, información que se presenta en el Cuadro 6.63 y Cuadro 6.64, respectivamente.

Cuadro 6.63. Distribución conjunta altura significativa (Hs) v/s Período (Tp).

| Periodo de la Ola Tp(s) | ALTURA SIGNIFICANTE DE LA OLA HS(M) | | | | | | | | | | | | | total | % |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----|-------|---|
| | 0,0-0,25 | 0,25-0,50 | 0,50-0,75 | 0,75-1,00 | 1,00-1,25 | 1,25-1,50 | 1,50-1,75 | 1,75-2,00 | 2,00-2,25 | 2,25-2,50 | 2,50-2,75 | 2,75-3,0 | | | |
| 0-3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 3,1-6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 6,1-9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 60 | 13 | 13 | 150 | 20,58 | |
| 9,1-12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 12,1-15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 140 | 86 | 70 | 47 | 30 | 0 | 373 | 51,7 | |
| 15,1-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 73 | 26 | 45 | 12 | 16 | 206 | 28,26 | |
| total | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 174 | 159 | 160 | 152 | 55 | 29 | 729 | 100 | |
| % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23.87 | 21.81 | 21.95 | 20.85 | 7.54 | 3.98 | 100 | | |

El análisis señala que las alturas significativas, se agrupan mayoritariamente entre 1,50–1,75 metros con (23,87%), mientras que no hay diferencias significativas entre los rangos 1,75–2,00, 2,00–2,25 y 2,25–2,50 m, ya que muestran un porcentaje de frecuencia de (21,81, 21,95 y 20,85%) respectivamente. Igualmente se observa una banda de dispersión de baja frecuencia (7,54 y 3,98%) entre los rangos de 2,50 a 3,00 m.

Cuadro 6.64. Distribución conjunta altura significativa (Hs) v/s Dirección (grados)

| Direc-ción en grados | ALTURA SIGNIFICANTE DE LA OLA HS(M) | | | | | | | | | | | | | total | % |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----|-------|---|
| | 0,0-0,25 | 0,25-0,50 | 0,50-0,75 | 0,75-1,00 | 1,00-1,25 | 1,25-1,50 | 1,50-1,75 | 1,75-2,00 | 2,00-2,25 | 2,25-2,50 | 2,50-2,75 | 2,75-3,0 | | | |
| 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 131 | 131 | 59 | 38 | 15 | 0 | 374 | 51,30 | |
| 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 24 | 16 | 0 | 0 | 0 | 59 | 8,09 | |
| 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 | 1,51 | |
| 210 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 83 | 86 | 27 | 32 | 237 | 32,51 | |
| 220 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 24 | 3,29 | |
| 230 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 15 | 0 | 24 | 3,29 | |
| total | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 | 164 | 169 | 157 | 57 | 32 | 729 | 100 | |
| % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.58 | 22.50 | 23.18 | 21.54 | 7.82 | 4.39 | 100 | | |

En cuanto al periodo de la ola, los resultados indican que en la zona exterior ingresan olas oceánicas y locales, las primeras con periodos entre 12,1–15,0 y 15,1–18,0 segundos en un 51,7% y 28,26% de frecuencia respectivamente, y las segundas en un 20,58%, con periodos entre 6,1–9,0 segundos, las cuales son originadas por tormentas dentro del Golfo de Chiriquí.

El oleaje incidente proviene del Sur (180°) en un 51,30% y 32, 51% del SSW, el resto proviene del SW.

En consecuencia, el oleaje dominante es oceánico de periodos medios largos entre 12–15 segundos, provenientes del componente Sur, particularmente entre el Sur y SSW, con alturas entre 1,5–3,0 m.

Importante es señalar que, las condiciones del oleaje incidente, al romper en la línea de costa produce una corriente longitudinal paralela a ella que, juntamente con la dirección y velocidad de la corriente costera del Golfo de Chiriquí tienen alta capacidad de transportar partículas paralelas a la costa y hacia el ESE. Sumadas al flujo que sale de Bahía Muertos producen así una convergencia próxima a la entrada del cuerpo interno, creando condiciones propicias al origen y formación de bancos arenas. Esta condición es de suma importancia para establecer la alineación del canal de navegación en ese sector, debido a que un dragado en la zona de rompiente ocasionaría erosión en la costa adyacente y rápida sedimentación en el canal de ese tramo.

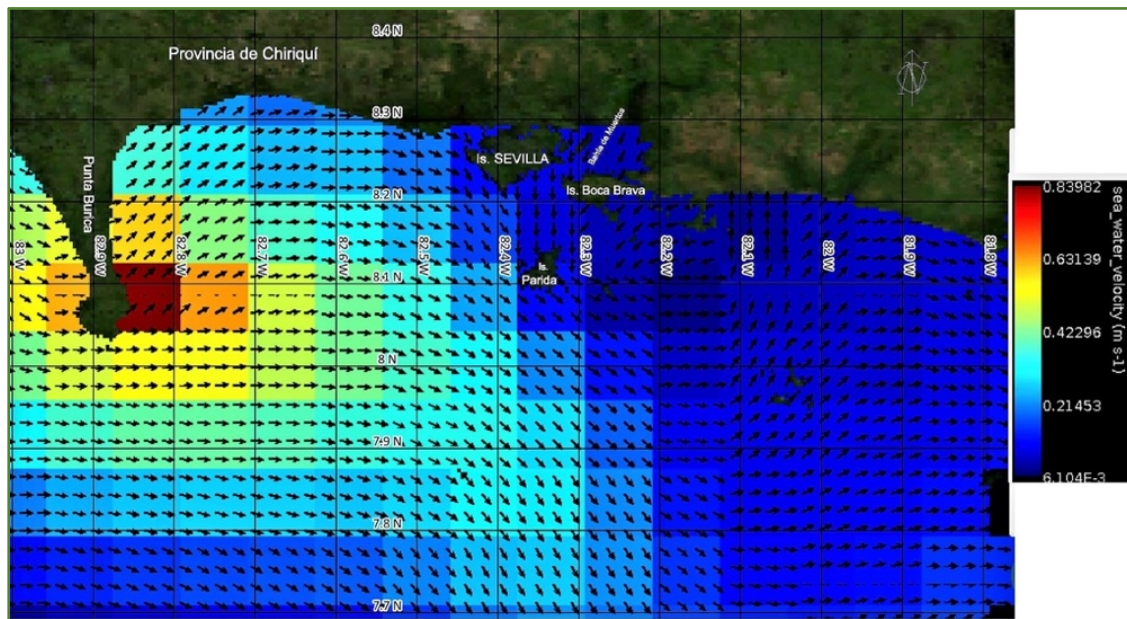
Dirección y velocidad de corrientes. Flujo determinante.

- **Circulación general del Golfo de Chiriquí.**

En la Figura 6.34 el área adyacente a las costas del Pacífico Occidental de la República de Panamá, Golfo de Chiriquí, está bajo la influencia de una circulación anticiclónica (movimiento horario) permanente prácticamente todo el año, que dirige las aguas con dirección NE frente a la costa de Puerto Armuelles con velocidades entre 0,21 a 0,42 m/s y adopta una dirección hacia el Este (paralela a la costa) hasta Isla Sevilla, con velocidades por el orden de 0,15 a 0,20 m/s, donde cambia de dirección hacia el SE, pasando Isla Parida con valores de velocidad desde 0,10 a 0,15 m/s, para nuevamente dirigirse al Este(E) y extenderse hasta la Isla de Coiba en dirección sur.

Como se ha señalado, esta corriente se mantiene paralela a la costa y tiene poca influencia dentro de los sistemas internos. Sin embargo, mantiene un efecto directo importante juntamente con otros forzantes de movimiento, sobre el transporte de sedimentos y formación de bancos o rompientes próximos a la entrada de los cuerpos de agua internos, característica que debe ser considerada en el diseño del canal de navegación exterior.

Figura 6.34. Circulación general de corrientes del Golfo de Chiriquí.

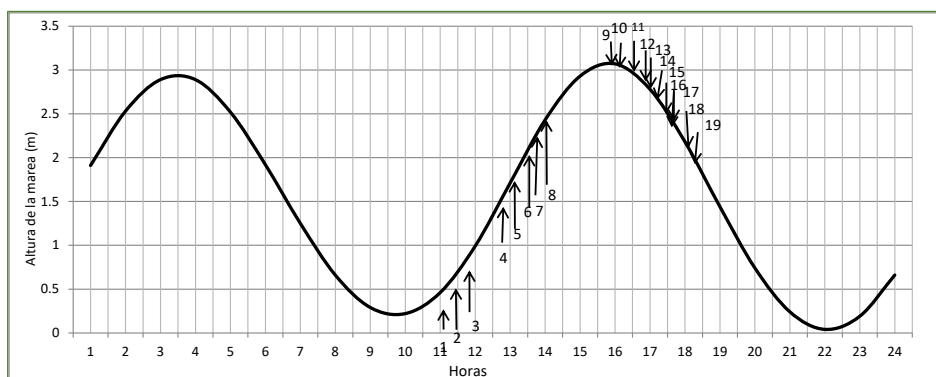


Fuente: Copernicus: The European Earth Observation Programm.

- **Correntometría lagrangiana**

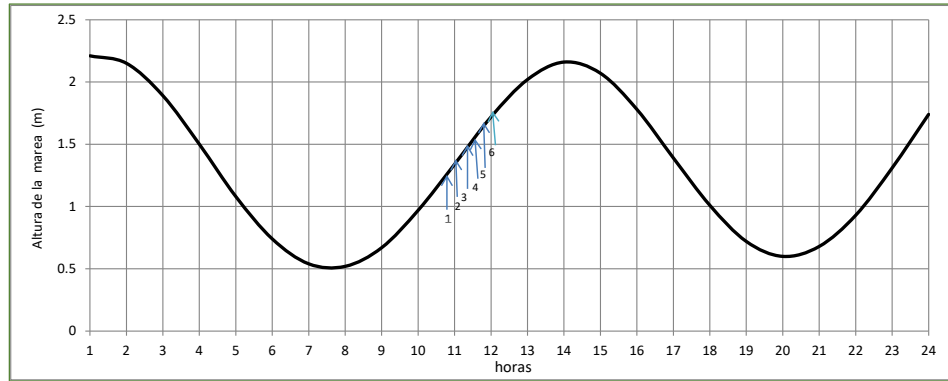
El enfoque del método Lagrangiano resulta ser ventajoso para capturar patrones de flujo en el tiempo y el espacio, a través de las variables hidrodinámicas de velocidad y dirección.

Gráfica 6.25. Altura de la marea horaria predicha, Isla Parida 16/09/2020.



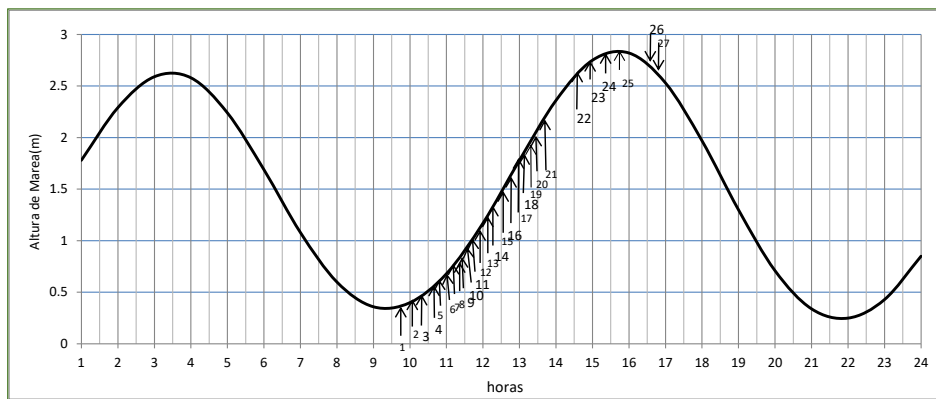
Fuente: Programa WXTide 32 y las demarcaciones de corrientes.

Gráfica 6.26. Altura de la marea horaria predicha, Isla Parida 23/02/2021.



Fuente: Programa WXTide 32 y las demarcaciones de corrientes.

Gráfica 6.27. Altura de la marea horaria predicha, Isla Parida 09/5/2021.



Fuente: Programa WXTide 32 y las demarcaciones de corrientes.

Teniendo en cuenta que las mareas son un elemento fundamental en la generación de corrientes en cuerpos de agua interiores, los corridos lagrangianos son programados de acuerdo con el estado de las mareas. En las gráficas 5.17, 5.18 y 5.19, se muestra la altura de la marea y las flechas verticales con sus números respectivos, indican el horario de las mediciones lagrangianas realizadas durante las campañas en ambos estados; marea llenante y vaciante. Mientras, que en el Cuadro 6.65, se presentan los datos originales para el cálculo de las velocidades lagrangianas durante las tres campañas.

Cuadro 6.65. Datos originales para el cálculo de las velocidades lagrangianas

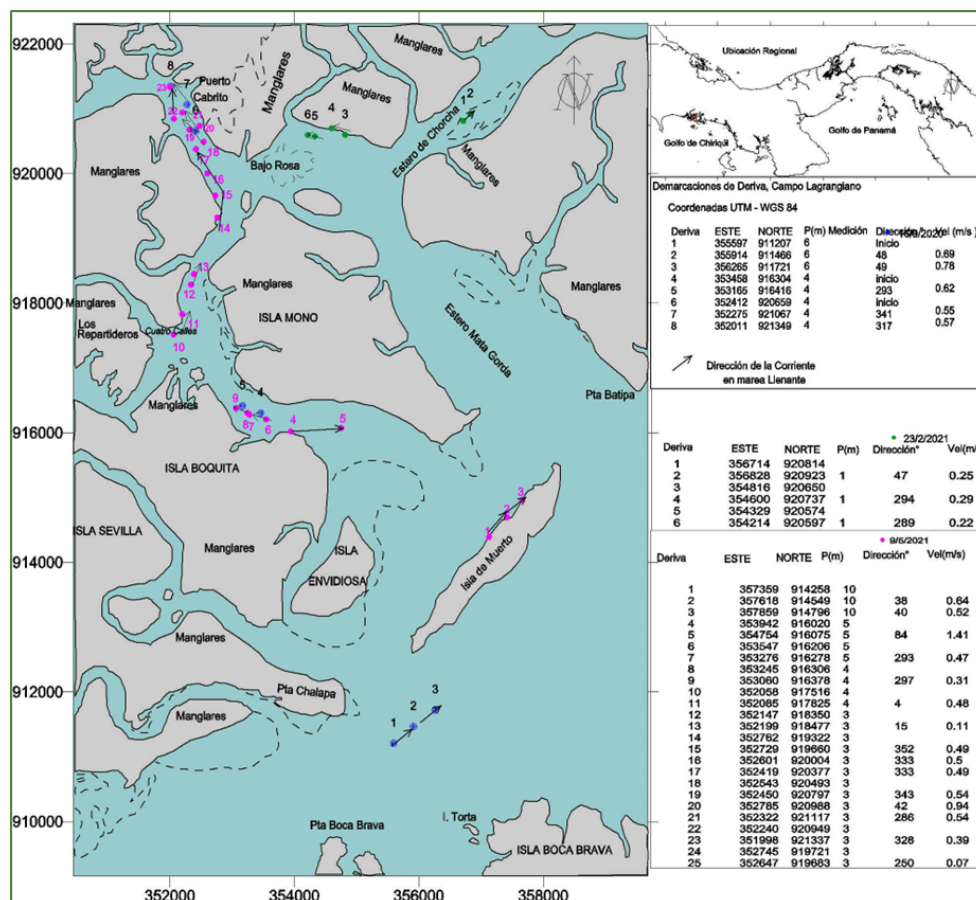
| Nº Derivas | Fecha | Profundidad (m) Cruceta | Hora de Inicio | Hora de término | Estado Marea | Distancia (m) | Dirección en grados | Velocidad (m/s) |
|------------|------------|-------------------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|---------------------|-----------------|
| 1-2 | 16/09/2020 | 6 | 11:14 | 11:25 | Bajamar+2.5 | 457 | 48 | 0.69 |
| 2-3 | | 6 | 11:25 | 11:35 | Bajamar+3 | 472 | 49 | 0.78 |
| 4-5 | | 4 | 12:57 | 13:06 | Bajamar+4 | 340 | 293 | 0.62 |
| 6-7 | | 4 | 13:20 | 13:31 | Bajamar+4 | 433 | 341 | 0.55 |
| 7-8 | | 4 | 13:33 | 13:44 | Bajamar+5 | 382 | 317 | 0.57 |
| 9-10 | | 4 | 16:04 | 16:21 | Pleamar+2 | 67 | 145 | 0.06 |
| 11-12 | | 4 | 16:25 | 16:35 | Pleamar+2 | 697 | 153 | 1.16 |
| 12-13 | | 4 | 16:35 | 16:46 | Pleamar+2 | 212 | 151 | 0.32 |
| 14-15 | | 4 | 16:51 | 17:01 | Pleamar+3 | 174 | 142 | 0.29 |
| 16-17 | | 1 | 17:14 | 17:24 | Pleamar+3 | 514 | 161 | 0.85 |
| 17-18 | | 1 | 17:24 | 17:35 | Pleamar+3 | 427 | 119 | 0.64 |
| 18-19 | | 1 | 17:35 | 17:46 | Pleamar+3 | 674 | 126 | 1.02 |
| | | | | | | | | |
| 1-2 | 23/02/2021 | 1 | 10:59 | 11:09 | Bajamar+3 | 164 | 47 | 0.25 |
| 3-4 | | 1 | 11:32 | 11:46 | Bajamar+3.5 | 256 | 294 | 0.29 |
| 5-6 | | 1 | 11:50 | 12:00 | Bajamar+4 | 132 | 289 | 0.22 |
| | | | | | | | | |
| 1-2 | 09/05/2021 | 10 | 9:59 | 10:10 | Bajamar+1 | 424 | 38 | 0.64 |
| 2-3 | | 10 | 10:10 | 10:22 | Bajamar+1 | 380 | 40 | 0.52 |
| 4-5 | | 5 | 10:42 | 10:52 | Bajamar+1.5 | 846 | 84 | 1.41 |
| 6-7 | | 5 | 11:01 | 11:14 | Bajamar+2 | 370 | 293 | 0.47 |
| 8-9 | | 4 | 11:17 | 11:29 | Bajamar+2.5 | 225 | 297 | 0.31 |
| 10-11 | | 4 | 11:34 | 11:45 | Bajamar+2.5 | 322 | 4 | 0.48 |
| 12-13 | | 3 | 11:53 | 12:15 | Bajamar+3 | 155 | 15 | 0.11 |
| 14-15 | | 3 | 12:23 | 12:35 | Bajamar+3.5 | 356 | 352 | 0.49 |
| 15-16 | | 3 | 12:35 | 12:46 | Bajamar+3.5 | 336 | 333 | 0.50 |
| 16-17 | | 3 | 12:46 | 13:00 | Bajamar+4 | 416 | 333 | 0.49 |
| 18-19 | | 3 | 13:05 | 13:15 | Bajamar+4.5 | 324 | 343 | 0.54 |
| 19-20 | | 3 | 13:15 | 13:25 | Bajamar+4.5 | 569 | 42 | 0.94 |
| 20-21 | | 3 | 13:25 | 13:40 | Bajamar+4.5 | 494 | 286 | 0.54 |
| 22-23 | | 3 | 14:45 | 15:05 | Bajamar +5 | 472 | 328 | 0.39 |
| 24-25 | | 3 | 15:20 | 15:45 | Pleamar | 118 | 250 | 0.07 |
| 26-27 | | 3 | 16:30 | 16:50 | Pleamar+1 | 649 | 121 | 0.54 |

- **Marea llanante**

En el Figura 6.35, se muestra la trayectoria seguida durante cada una de las demarcaciones del derivador a diferentes profundidades en estado de marea llanante, durante las tres campañas. En la primera campaña las mediciones fueron en dos estratos de profundidad (-6 m y -4 m), en donde se pudo notar, que en el primer corrido las derivas 1, 2 y 3 se alinearon al eje del canal principal, con una trayectoria hacia el Noreste entre 48° y 49° grados de dirección. La velocidad fluctuó entre 0,69 y 0,78 m/s con una velocidad promedio de 0,73 m/s. El segundo corrido las derivas 4-5, a los cuatro metros de profundidad, mostraron trayectorias de corrientes igualmente alineadas al canal interior entre Isla Mono e Isla Boquita, con dirección hacia el WNW (293°) y con velocidades por el orden de 0,62 m/s. Mientras que el tercer corrido, las derivas 6-7 y 7-8, a la misma profundidad que el anterior, enfrente del emplazamiento del proyecto, se dirigió hacia el NNW (341°) y NW (317°) con valores entre 0,55 y 0,57 m/s respectivamente, a velocidades de corrientes ligeramente menos fuertes. En si todos los corridos mostraron una dirección de la corriente hacia la parte interior del área, siguiendo la geometría y la configuración de la costa, así como a la topografía del fondo, con intensidades que oscilaron entre 0,78 y 0,55 m/s. El valor promedio para todo el registro fue de 0,66 m/s.

Durante la segunda campaña, las demarcaciones se realizaron a nivel de un metro de profundidad y fue dirigida a la desembocadura del río Chorcha. Estos corridos mostraron el mismo patrón de remonte o subida con la marea. La deriva 1-2 mantiene una dirección hacia el NE (47°), con una velocidad de 0,25 m/s. Mientras que las derivas 3-4 y 5-6 adoptan una dirección hacia el WNW de 293° a 289°. siguiendo la topografía del fondo y la geometría de la costa, con velocidad promedio de 0,25 m/s. La intensidad de la corriente es considerada moderada y están asociadas a la altura de la marea en fase de cuadratura, la cual presentó una altura menor de 2,5 m.

Figura 6.35. Demarcaciones de las derivas lagrangianas durante las tres campañas en marea
llenante



Fuente: Equipo Consultor, 2022.

En la tercera campaña, se realizaron 25 demarcaciones del derivador a diferente profundidad, iniciando desde Isla Muertos a una profundidad de -10 m hasta el área de emplazamiento del proyecto a una profundidad de -3 m. Se observó la misma tendencia en las trayectorias seguidas por los derivadores hacia la parte interior del cuerpo de agua, con respecto a las campañas anteriores. La intensidad de la corriente, en las derivas 1, 2 y 3 a -10 m de profundidad osciló entre 0,64 y 0,52 m/s, con una trayectoria hacia el NE (38° a 40°); mientras que en las derivas (4-5) se registró una pulsación de 1,41 m/s en dirección hacia el ENE (84°), señalando la existencia de un giro producido por cambio en la profundidad. Seguidamente, en las derivas 6-7 y 8-9 la trayectoria de la corriente fue hacia el WNW (293 - 297°), con velocidad por el orden de 0,47 y 0,31 m/s a 4 m

de profundidad. En tanto, que en las derivas 10-11 se observó un ligero incremento de la velocidad de la corriente a 0,48 m/s, en dirección hacia el NNE (4°), siguiendo la configuración de la costa. El resto de las demarcaciones del derivador se realizaron a tres metros de profundidad. Se pudo observar que la trayectoria de la corriente mantenía una tendencia consistente con el flujo de la marea, adoptando una dirección desde la bajamar +3 hasta la Bajamar +5, hacia el NNE, NNW, NW, NE, WNW y NW, respectivamente, con velocidades desde moderadas a fuertes y muy fuertes, que oscilaron entre 0,11 y 0,94 m/s, con un valor promedio de 0,50 m/s. La mayor velocidad se registra en la deriva 19-20 enfrente al emplazamiento del proyecto, probablemente por la compresión lateral que experimenta el relieve del fondo, donde la pendiente es más abrupta.

En cuanto, a la deriva 24-25, se observó total consistencia con el repunte o cambio de marea en pleamar; es decir que la intensidad de la corriente es débil por el orden de 0,07 m/s y presentó cambio en la dirección con un giro hacia 250° .

En términos generales, las corrientes lagrangianas observadas durante las tres campañas en estado de marea llenante, mostraron un mismo patrón en su trayectoria de remonte hacia la parte interior siguiendo las irregularidades del relieve del fondo, que crea particularidades puntuales al igual que la geometría de la costa, tanto en la superficie, media agua, como a los -10 m de profundidad. En cuanto, a la intensidad de la corriente esta varía desde moderadas a muy fuertes durante la media marea y débiles en la pleamar. Condición, que es característica de las corrientes mareales en sistemas estuarinos.

▪ — Marea vaciante

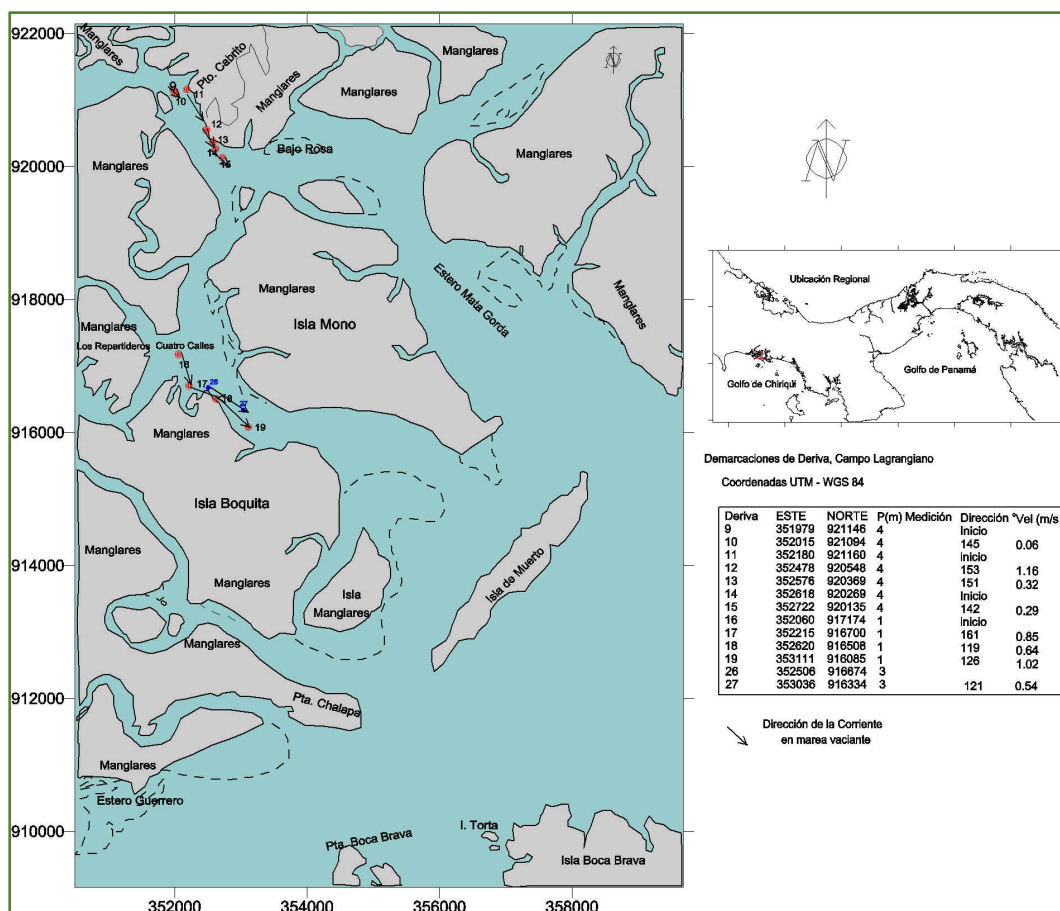
Las demarcaciones de los derivadores iniciaron a partir del sitio de interés en Puerto Cabrito. El comportamiento de las derivas durante este estado se puede apreciar en la Figura 6.36. Se notó que, en la parte central, deriva 9-10, la velocidad es débil por el orden de 0,06 m/s con dirección hacia el SSE (141°), debido al repunte y cambio de la marea. Sin embargo, en los siguientes corridos, próximos al borde de Puerto Cabrito las derivas (12 y 13) mostraron una dirección sostenida hacia el SSE entre 153° a 151° , con velocidades de corrientes promedio por el orden de 0,74 m/s y un valor máximo de 1,16 m/s, las cuales son consistentes a la batimetría del fondo. Las derivas 14 y

15 mantienen una trayectoria hacia el SSE (142°), mostrando una disminución en la rapidez de la corriente a 0,29 m/s.

Las siguientes derivas realizadas a un metro de profundidad en el sector de las cuatro calles, se alinean al canal de Isla Boquita y se dirigen hacia el SSE (161°), para luego seguir una trayectoria hacia el ESE entre 119° a 126°, con velocidades muy fuertes por el orden de 0,85, 0,64 y 1,02 m/s respectivamente, con un valor promedio de 0,83 m/s. Igual configuración del flujo adopta la deriva 26-27 a -3 m de profundidad, durante la tercera campaña, con velocidad fuerte por el orden de 0,54 m/s y con trayectoria hacia el ESE (121°).

La configuración del refluo, en sentido inverso al flujo de la marea confirma que las corrientes son mareales, siguiendo al régimen de las mareas y las velocidades magnificadas por las descargas del río.

Figura 6.36. Demarcaciones de las derivas lagrangianas durante la marea llenante 09/2020 y 05/2021



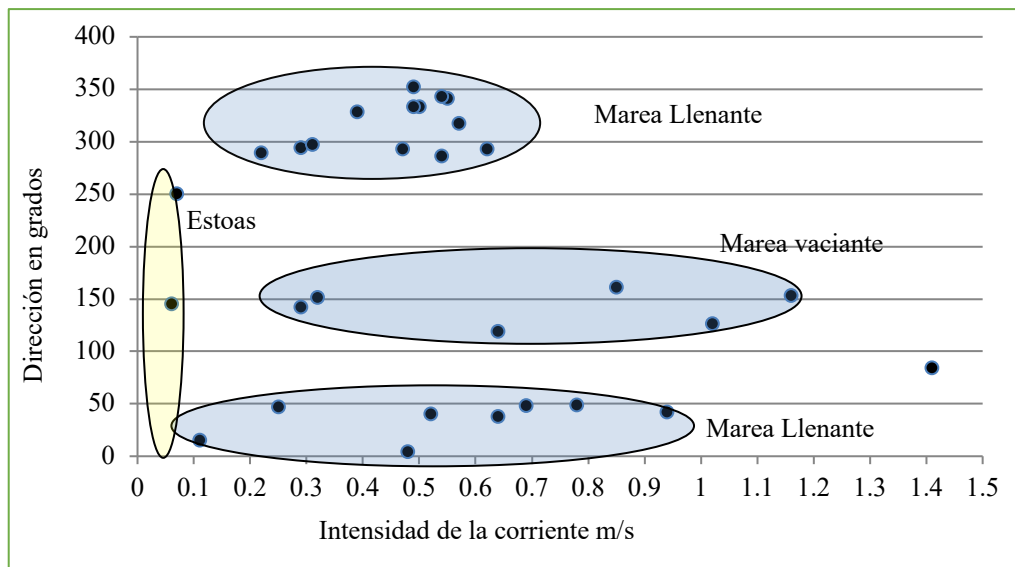
Fuente: Equipo Consultor, 2022

- **Relación velocidad, dirección de la corriente y estado de marea.**

El diagrama de dispersión de la corriente es un método aplicado que permite medir el grado de relación entre dos variables, dirección y magnitud. Este nos confirma que el área posee una dinámica de alta energía, con un comportamiento tal cual lo manifiesta el Gráfica 6.28.

El estado llenante se presenta con velocidades moderadas a fuertes y muy fuertes por el orden de 0,11-1,41 m/s, e inducida netamente por la marea. La corriente se dirige hacia el NE en el canal principal y un ramal se dirige hacia la parte interna entre Pta. Chalapa e Isla Muertos, la corriente sigue la configuración de la costa hacia el WNW, entre Isla Mono e Isla Boquita y luego se remonta hacia el NNW, NW, N y NE adyacente al Pto. Cabrito. En otras palabras, es una corriente de subida de marea, que mantiene direcciones entre dos grupos (290°-350°) y (4°-49°).

Gráfica 6.28. Diagrama de dispersión Velocidad vs. Dirección de la corriente y estado de marea



Durante el estado vaciante, la corriente de salida es una combinación del refluo de marea y el flujo del río durante el periodo lluvioso. La dirección es inversa a la marea llenante y se dirige hacia el SSE y SE, siendo las velocidades de salida las que mantienen un autodragado del canal, ya que van en una misma dirección y tiende a ser de mayor velocidad en algunas secciones por el orden de 1 m/s. Mientras, durante el período de menor aporte de agua dulce el refluo es netamente mareal.

Durante las estoas de pleamar y bajamar la intensidad de la corriente es débil, con un valor promedio de 0.065 m/s y se da cambio de dirección según sea el estado.

Como parte fundamental, en el medio acuático, se determina el régimen del flujo en las diferentes profundidades de medición a través del Número de Froude, Cuadro 6.66, el cual es un factor bastante útil y simple para determinar las condiciones hidrodinámicas de un flujo y la forma o irregularidad esperada para el sitio.

$$F = \frac{V}{(g \cdot h)^{1/2}}$$

Donde:

e. **V= velocidad de flujo**

f. g = aceleración de la gravedad

g. h = profundidad del flujo

Cuadro 6.66. Características del flujo, Período Lluvioso y seco

| Profundidad de medición (m) | Velocidad promedio (m/s) | | | | Número de Froude | | | |
|-----------------------------|--------------------------|---------|----------|---------|------------------|---------|----------|---------|
| | Lluvioso | | Seco | | Lluvioso | | Seco | |
| | Llenante | Vacante | Llenante | Vacante | Llenante | Vacante | Llenante | Vacante |
| 1 | ---- | 0,83 | ---- | ---- | ---- | 0,26 | ---- | ---- |
| 3 | ---- | ---- | 0,50 | 0,54 | ---- | ---- | 0,09 | 0,09 |
| 4 | 0,58 | 0,59 | 0,39 | ---- | 0,09 | 0,09 | 0,06 | ---- |
| 5 | ---- | ---- | 0,94 | ---- | ---- | ---- | 0,13 | ---- |
| 6 | 0,73 | ---- | ---- | ---- | 0,10 | ---- | ---- | ---- |
| 10 | ---- | ---- | 0,58 | ---- | ---- | ---- | 0,05 | ---- |

Fr (max) = 0,26 a 0,13 <1, rango de flujo es subcrítico, típico de ambientes de estuario y las formas del fondo. Rizos / Dunas (Graff, 1970). Vale agregar que, en el análisis de crecidas del río en el área frente al terreno del proyecto, en Pto. Cabrito, se obtuvo también para todos los casos de retorno, el mismo rango por debajo de uno en el Número de Fraude.

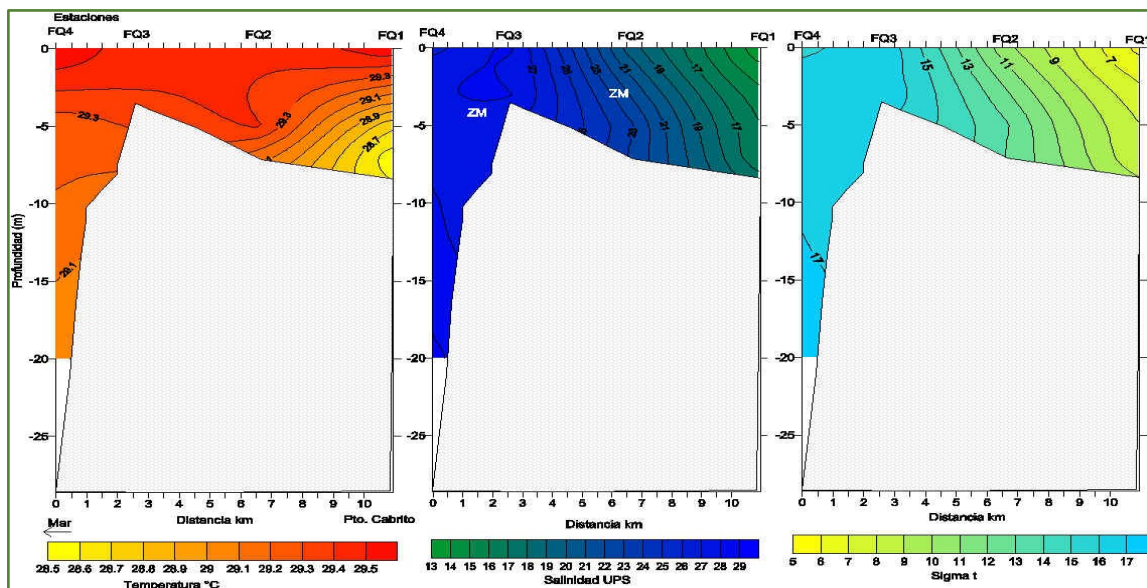
- **Dinámica de la interacción de aguas marinas y dulces.**

Fundamentalmente es un tema relacionado con los cambios de salinidad por la mezcla de aguas, por lo que se recurre a la densidad (Sigma-t). Los datos fueron procesados con el modelo de interpolación Krigin, en un perfil longitudinal, vertical y espacial superficial.

- **Canal de navegación Boca Brava – Pto. Cabrito.**

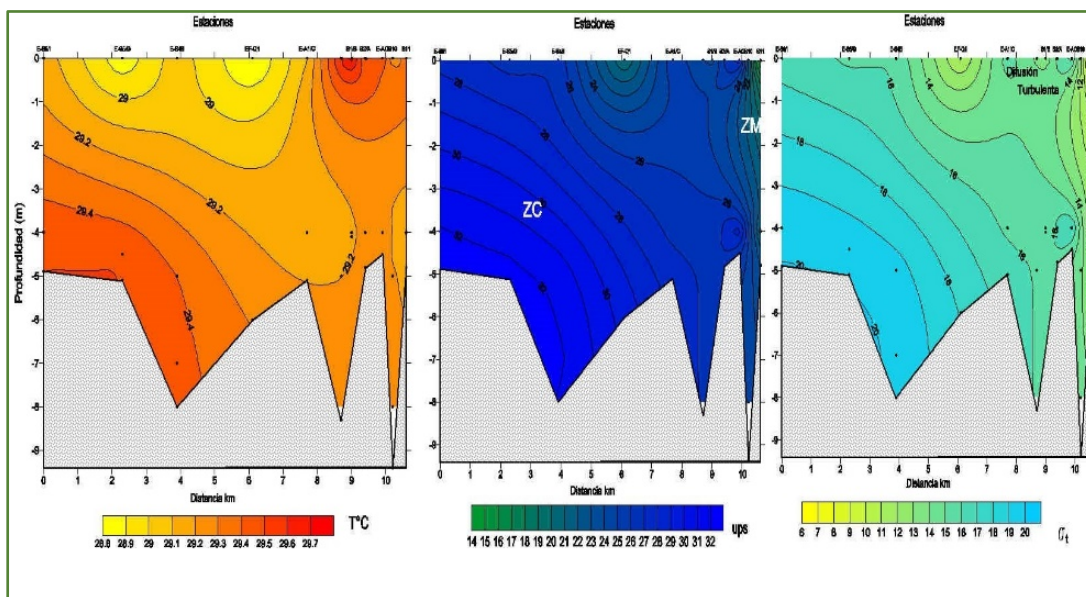
En las figuras siguientes, 5.41 y 5.42, se presentan los perfiles verticales a lo largo del sistema de las variables de Temperatura, Salinidad y Sigma-t. La primera campaña, en 2020 se hace desde el inicio del canal de navegación en el estuario hasta Pto. Cabrito.

Figura 6.37. Distribución vertical y espacial de Temperatura, Salinidad y Sigma_t, 16/09/2020



La segunda se inicia en el canal de Isla de Muerto y se hace en mayo de 2021. Entre tanto, la Figura 6.38 presenta la distribución superficial de Sigma-t durante el estado llenante y vaciante en el mes de mayo.

Figura 6.38. Distribución vertical y espacial de Temperatura, Salinidad y Sigma_t, 08/05/2021



De este análisis se puede señalar que, la distribución vertical de temperatura indica que es un cuerpo de agua cálido de superficie a fondo en la parte más abierta, donde la temperatura osciló entre 29,5° a 29,1 °C, sin gradiente vertical por el orden 0,02°C/m; o sea débil estratificación térmica. Mientras, que en la parte más interna la temperatura oscila entre 29,5 a 28,6°, indicando presencia de aguas ligeramente menos cálidas a los -8 m de profundidad, asociadas a la descarga de agua dulce, con gradiente débil de 0,11°C/m.

Espacialmente la isoterma de 29,4°C ocupa los tres primeros metros de profundidad desde la parte externa; a los 6,6 km de distancia se hunde hasta los -5 m de profundidad y se eleva hasta los -2 m en la parte interior, señalando un cuerpo de agua muy homogéneo en superficie.

Durante la segunda campaña, la temperatura del mar osciló de 28,8 a 29,75°C y una media de 29,25°C, siendo cuasi homogénea verticalmente. El campo térmico no presenta cambios estacionalmente significativos y más bien es una estructura muy estable.

Mientras tanto, la salinidad, en su distribución vertical a lo largo del sistema, desde su conexión con el canal principal hasta la parte interior próxima al área de interés del proyecto, experimenta una disminución gradual desde 29 a 13 UPS, lo cual indica que hay procesos de dilución, debido a que el agua de mar, con salinidad de 29 UPS que ingresa se mezcla mesurablemente con el agua dulce, la cual produce una ligera estratificación vertical desarrollando una haloclina débil a los -5 m de profundidad. Durante la segunda campaña, la salinidad experimentó igualmente una disminución gradual entre 33-14 UPS hacia el interior y aunque hay mezcla, la misma es de estructura marina en la mayor porción del área, ya que el mínimo de salinidad está restringida a la estación más interna en la superficie.

En tanto, el agua dulce que llega al estuario por los ríos y el agua que proviene del mar originan la mezcla y cambios en la densidad, los cuales determinan el patrón de circulación de los estuarios. La intrusión de agua salina depende de un equilibrio de fuerzas entre la descarga del río y el régimen de las mareas; por lo que, durante el máximo de la estación lluviosa es de esperarse que el gradiente de densidad (7 a 17 Sigma-t), se desplace hacia el Sur, tal y como se observa en la Figura

5.41, donde la zona de mezcla (ZM) se hace más extensa y el río aporta la mayor energía. Esta distribución indica que, durante ese período hay un mayor transporte hacia el canal principal.

Caso contrario se observó durante mayo 2021. La densidad de las aguas aumenta con el contenido de sal y hay un ingreso de agua de mar más prominente desde el fondo hacia la parte interna a la vez que la densidad del mar aumenta significativamente entre 14 y 20 (Sigma-t). Esta estructura sugiere, que las condiciones del mar adyacente (ZC) predominan en casi todo el sistema, el flujo mareal es la principal fuerza y la mezcla con agua dulce se limita hacia las zonas más internas, es decir; que durante el período de poco aporte de agua dulce la onda de marea en su desplazamiento hacia la cabeza del estuario restringe la masa de agua ligeramente menos densa, acumulándola en la parte interna. Por consiguiente, se producen gradientes verticales por difusión turbulenta hasta la superficie.

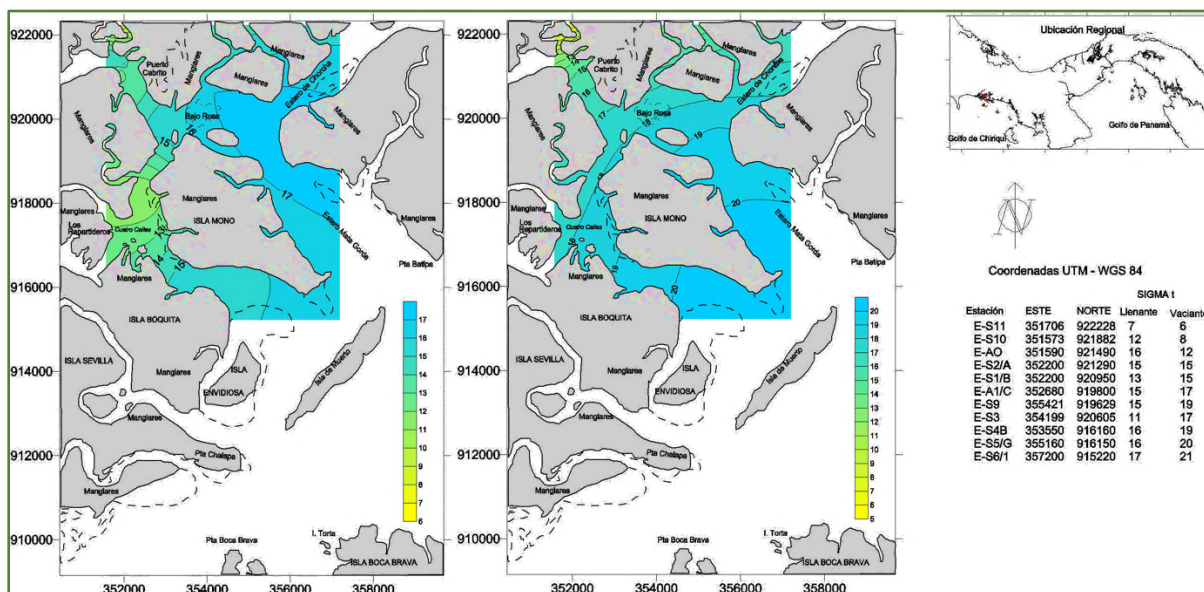
En cuanto a la distribución superficial de densidad (Sigma-t), tanto para la marea llenante, como para la vaciante se puede apreciar en la Figura 6.43 que el estuario cambia de condición con las variaciones climatológicas locales a corto plazo; es decir que la marea llenante, con el aporte de agua dulce por precipitaciones produce una ligera corriente superficial débil de baja densidad en sentido contrario a la corriente de la marea entrante. Esta última en su desplazamiento hacia la parte interior actúa como una barrera y empuja el agua superficial formando núcleos de baja salinidad. Mientras tanto, durante la marea vaciante, ante condiciones estables de un periodo seco, la densidad es alta, señalando que la masa de agua del estuario es influenciada por las características del mar adyacente y que su desplazamiento hacia afuera es gradual y lineal. Esta estructura y tipo de circulación tiene importante connotación en el transporte de sedimentos, por lo que estos últimos salen del sistema interno gradualmente.

Por lo tanto, este sistema estuarino se encuentra altamente influenciado por los regímenes de las mareas y la descarga puntual y/o estacional del río; por lo que no implica ambientes estáticos, sino cambiantes tanto en el espacio como en el tiempo.

En este tipo de estuario normalmente cuando el rango de marea es grande o la descarga del río es baja, o ambas situaciones se dan simultáneamente, el fluido a lo largo del estuario está bien

mezclado desde la superficie hasta el fondo, pero la salinidad y la densidad varían dentro de un patrón regular desde la parte interior hasta la boca.

Figura 6.39. Densidad (Sigma ρ); Superficial marea vaciante y llenante, 8 y 9 septiembre, 2021

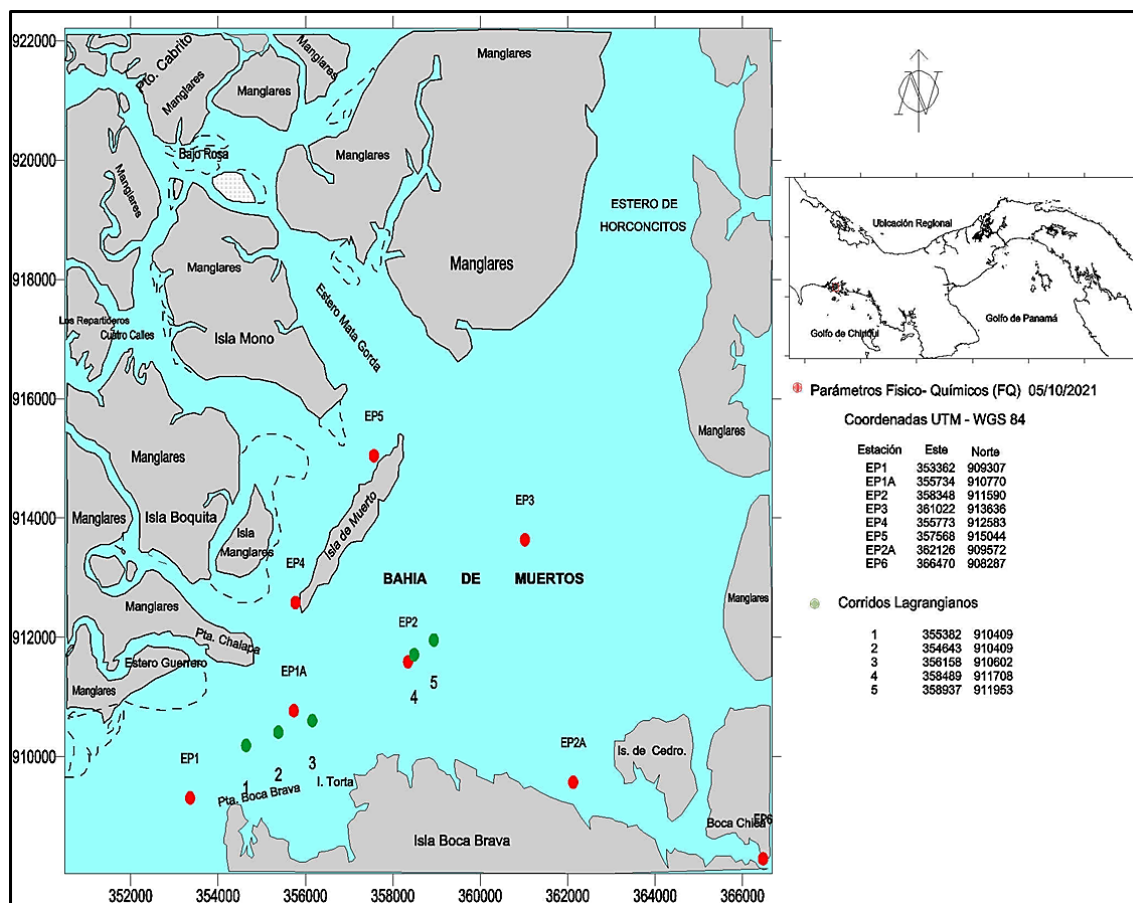


Por lo tanto, consideramos que las actividades futuras a realizar como construcción del puerto y profundización del canal, no cambian el patrón de circulación toda vez que la profundización y ensanche sigan la configuración o geometría de la forma meándrica y que la construcción del muelle no interrumpa los flujos, debido a que los flujos energéticos, las mareas y la descarga del río se mantienen. Sin embargo, se espera que haya cambios más notables en las velocidades máximas durante el flujo y reflujo de la temporada de menor descarga de agua dulce, mientras que con los tiempos de máximas escorrentías estas podrían casi conservarse.

Boca Brava – Bahía Muertos.

Tomando en cuenta la importancia del ecosistema de laguna de Bahía Muertos, para el cual un especial cuidado tiene la mezcla de agua, se agrega este acápite sobre el tema. Con este motivo se realizaron medidas de los parámetros más significativos relacionados con la hidrodinámica (Corriente, Temperatura, Salinidad y Densidad) en virtud de lo cual se diseñaron puntos y áreas de estudio específicos (Figura 6.40).

Figura 6.40. Mapa con los puntos y áreas de medidas de corrientes, salinidad y temperatura.

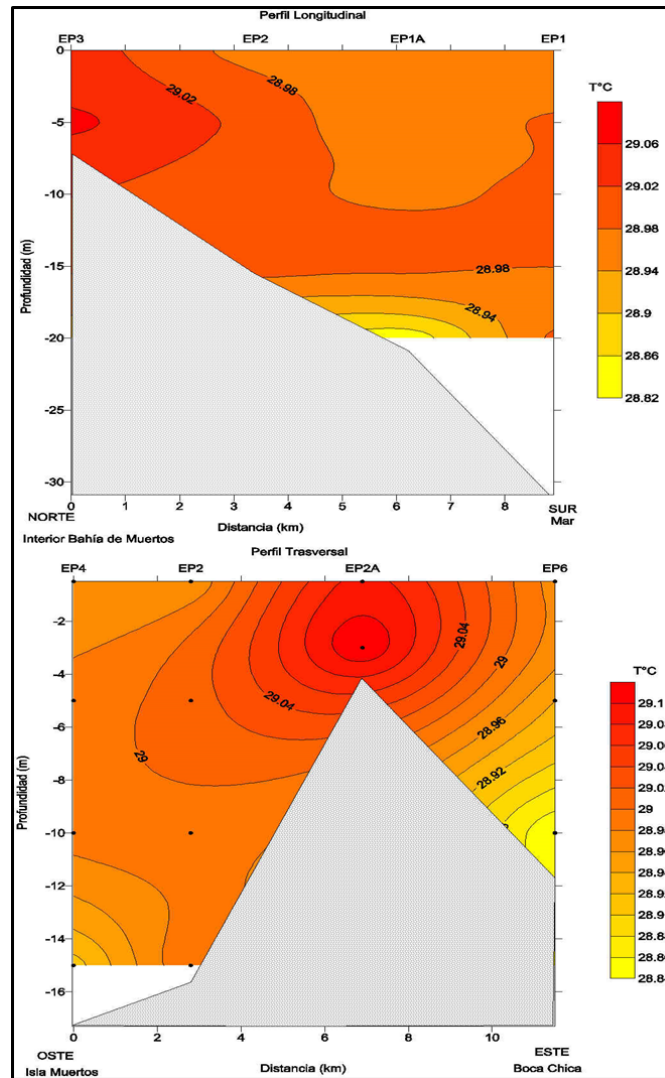


Fuente: Equipo de Consultor, 2022.

• Distribución Vertical de Temperatura, Salinidad y Densidad.

Las distribuciones verticales de estos parámetros a lo largo del perfil longitudinal (Norte – Sur) y transversal (Este – Oeste) se presentan en las figuras 5.45, 5.46 y 5.47 respectivamente y Gráfica 6.29. La distribución vertical de Temperatura, Figura 5.41, mostró en octubre una columna de agua cuasi homogénea cálida entre 29,02 a 28,82°C, sin gradiente vertical, en sus dos perfiles. A partir de los 4 m se aprecia un núcleo de agua muy cálida, con 29,1°C en la sección transversal que irradia hacia el norte y en las bandas laterales, con un eje elíptico. Este máximo es debido al asomeramiento o poca profundidad en el EP2A, donde la columna de agua es de 4 metros y, por consiguiente, recibe mayor calor.

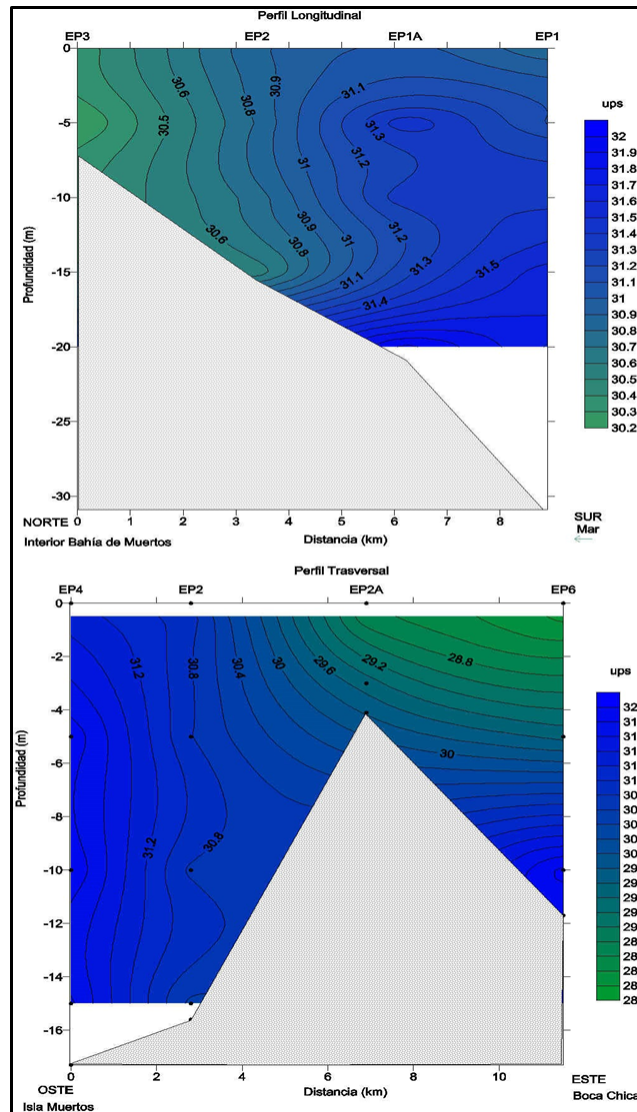
Figura 5.41. Distribución vertical de Temperatura. Perfil longitudinal y transversal



En la distribución longitudinal, la isoterma 29,0°C se hunde gradualmente hasta los 15 m de profundidad, en una banda de 5 m de ancho hacia el punto más exterior EP1, mientras que arriba de ella, en la capa superficial, entre los puntos EP2, EP1A y EP1 hay una disminución de temperatura por el orden de 0,02°C, aunque el intercambio de calor no es significativo desde el punto de vista térmico, sin embargo lo es desde la perspectiva hidrodinámica ya que indica movimiento turbulento en esa capa y sección.

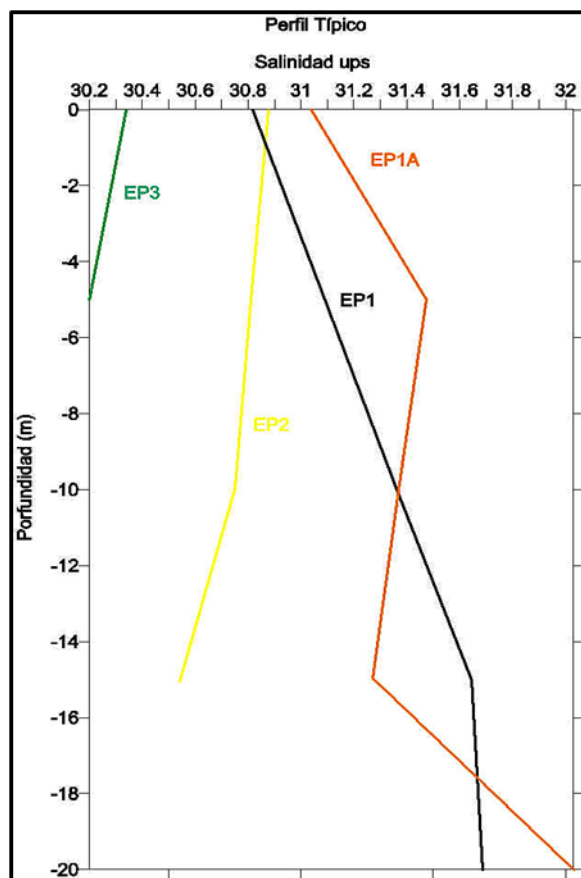
Al observar la distribución vertical de Salinidad, en el perfil longitudinal (Figura 6.42), se aprecia el mismo comportamiento turbulento, en la misma sección, ya mencionada.

Figura 6.42. Distribución vertical de Salinidad. Perfil longitudinal y transversal



El flujo de marea es turbulento en toda la columna de agua (la turbulencia inducida principalmente hacia el fondo). Como resultado, el agua salina se agita en la capa superior y el agua dulce en la capa inferior. La Salinidad, por lo tanto, cambia a lo largo del eje del estuario no solo en la capa superior, sino en ambas capas, variando dentro de un patrón regular desde el interior hasta la boca entre 30,2 a 32 UPS, con un ligero transporte de la capa superior hacia el mar. Esta característica observada es típica de un estuario ligeramente estratificado o bien mezclado, donde el flujo de la marea es muy fuerte. Evidencia de lo anteriormente señalado, se observa en el perfil típico de Salinidad en la Gráfica 6.29, la cual indica la existencia de una débil haloclina a lo largo del perfil longitudinal.

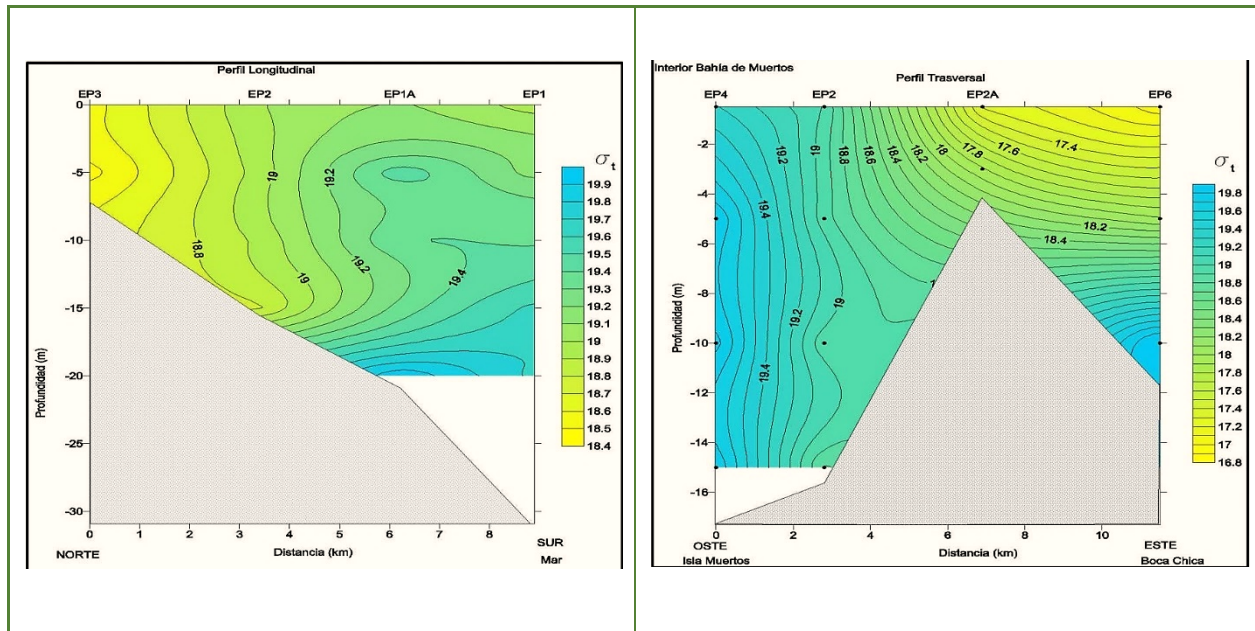
Gráfica 6.29. Perfil vertical típico de salinidad.



Igualmente se notó en la sección Oeste (EP4 y EP2) del perfil transversal, que hacia el sector Este la Salinidad se estratifica verticalmente hasta el fondo, con un gradiente de 0,33UPS/m (Figura 6.43).

La característica vertical observada en el perfil transversal, indica que hacia el sector Oeste y central, la marea penetra con mayor turbulencia mezclando toda la masa de agua; es decir que el fluído a lo largo del estuario esta bien mezclado desde la superficie hasta el fondo, mientras que, en la sección Este, el estuario es lateralmente no homogéneo.

Figura 6.43. Distribución vertical de densidad en la vertical y la transversal

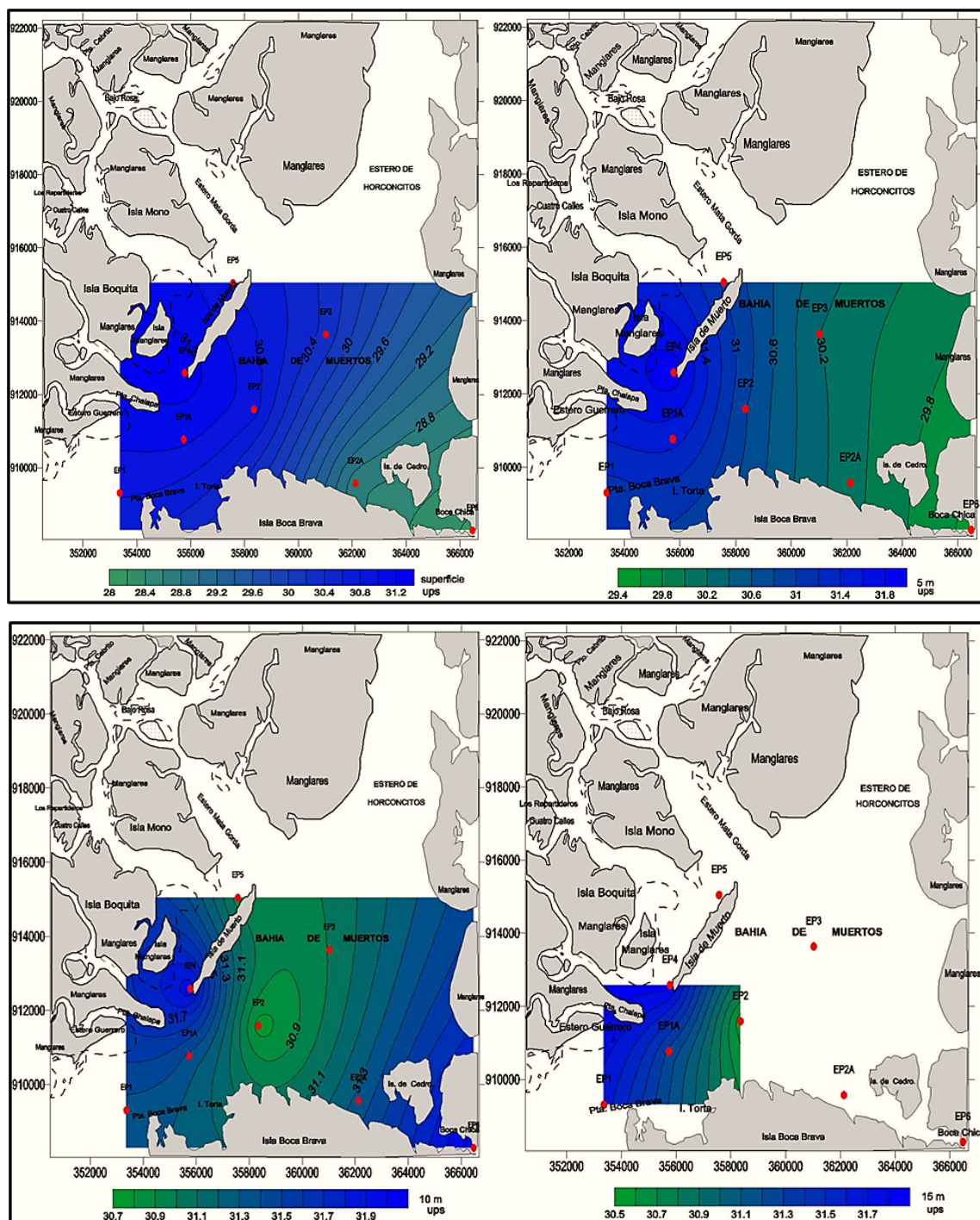


El mapa de la densidad del mar siguió el mismo patrón de la Salinidad, lo cual indica que en estos ambientes la Salinidad es el elemento dinámico. En cuanto a los valores de densidad (prácticamente marina), señalan una fuerte mezcla con agua de mar; es decir que el mar posee energía turbulenta en la sección longitudinal, en la parte central y Oeste de la sección transversal o, en otras palabras, que hay una penetración de la onda de marea o intercambio con las condiciones oceánicas directas desde los -20 m de profundidad en esas secciones. Mientras, las aguas de mayor densidad de la sección Este no ingresan a la Bahía, debido a la restricción del relieve del fondo y a la estratificación lateral.

- **Distribución espacial horizontal de salinidad por capas.**

En cuanto a la distribución espacial por capas (Figura 6.44), esta confirma lo señalado en la distribución vertical; y lo más relevante se aprecia a los -10 m de profundidad, donde la turbulencia generada por las corrientes mareales presiona sobre la estratificación natural de salinidad y densidad que prevalece cuando el agua dulce fluye hacia fuera del estuario. Teniendo en cuenta dicha condición, se puede decir que la columna de agua de un estuario bien mezclado es dinámicamente desestabilizada a partir del fondo.

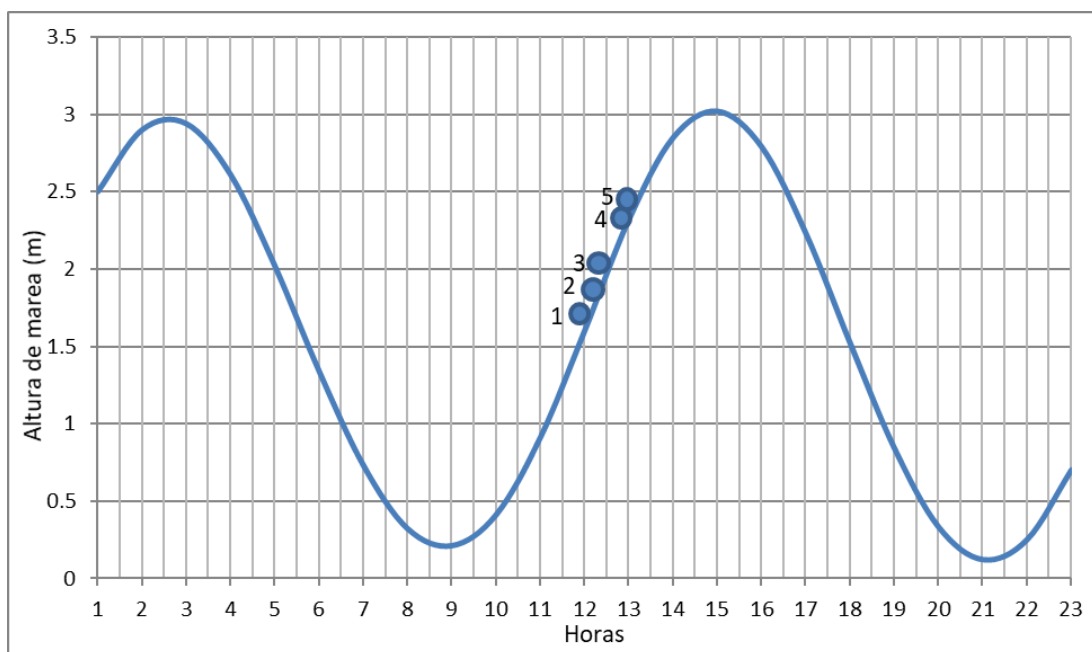
Figura 6.44. Distribución espacial de Salinidad en cuatro capas 0-5 y 10 -15 m, de profundidad.



• Corriente lagrangiana.

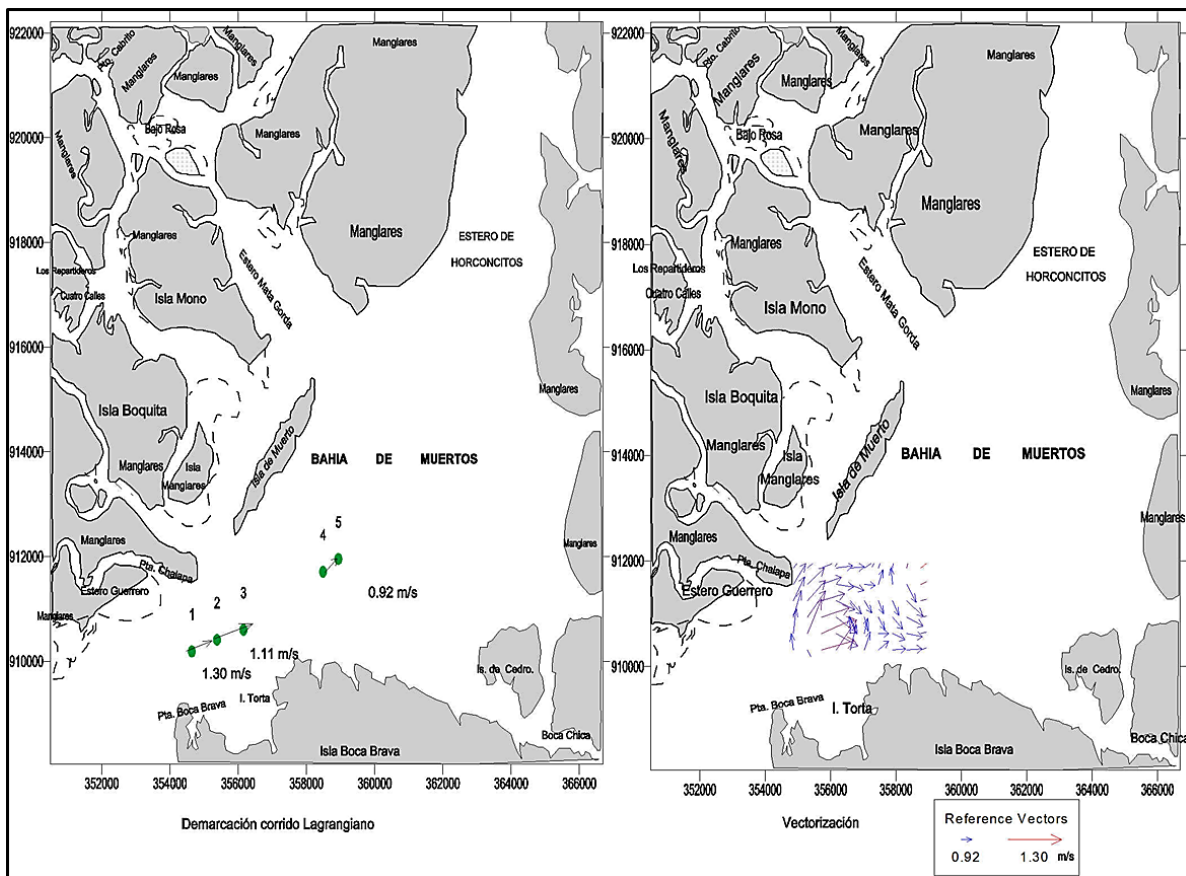
Este muestreo de corrientes se efectuó bajo condiciones de marea de bajamar +3 a bajamar +4, en Sicigias positivas; las alturas de marea oscilaron desde 1,6 m a 2,35 m, tal y como se presenta en la Gráfica 6.30.

Gráfica 6.30. Alturas de marea, predicha, Estación subordinada Isla Parida. Los números indican las demarcaciones efectuadas en el nivel de 10 m



En la Figura 6.45 muestra la trayectoria seguida durante cada una de las demarcaciones del derivador a -10 m y la vectorización. La dirección de la corriente muestra una tendencia hacia la parte interior de la Bahía entre los 76° y 61° , con intensidades que oscilan entre 1,3 y 0,92 m/s. El valor promedio para todo el registro fue de 1,11 m/s. En cuanto a la vectorización de la corriente, en la superficie de medición y conservando su tendencia de ingreso a la parte interior del sistema, nos revela que la corriente adopta direcciones hacia el Norte y Nornordeste en el sector Oeste, para luego dirigirse hacia el Este y Sureste, formando un giro, debido a la turbulencia que ella genera, desestabilizando la estratificación natural de Salinidad. Como explicamos en los párrafos superiores, posteriormente se dirige hacia el Noreste, durante la marea media llenante. Queda claro entonces, que la energía para mezcla vertical proviene de la turbulencia generada por las corrientes mareales dentro del estuario. A mayor rapidez de la corriente de marea, mayor será el grado de mezcla turbulenta dentro del agua.

Figura 6.45. Mapa de Demarcaciones de derivadores y vectorización de la corriente



- **Colofón.**

En términos generales puede decirse que el intercambio de agua y todas sus propiedades, así como las propiedades físicas y químicas del sistema interno estuarino se conservan plenamente desde los -20 m de profundidad hacia arriba, lo que significa que se conserva igualmente la turbulencia generada por las corrientes mareales, las cuales producen la energía necesaria dentro del estuario para la mezcla vertical. Esto garantiza que cualquier vertimiento de material de dragado de la fosa de Boca Brava, que se mantenga por debajo de estas profundidades no obstruye la dinámica marina o afecta la composición salina de aguas de la Bahía de Muertos.

- **Procesos de sedimentación por circulación del fluido.**

Para el desarrollo de este punto se parte de los resultados del componente de calidad del agua, específicamente de las concentraciones de sólidos suspendidos totales en la superficie y el fondo, así como la textura del sedimento en cada una de las estaciones.

- **Transporte de Sedimentos en suspensión.**

En un sistema como el estudiado hay posibilidad de dos tipos de transporte conjuntamente; y las proporciones entre uno y otro dependen de las condiciones orográficas, geológicas y climatológicas.

En la Figura 6.46 se presenta la distribución de las concentraciones de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en marea llenante y vaciante respectivamente, la cual se lleva a cabo en la columna de agua, donde la cantidad de sedimento que entra a la columna depende de las tensiones de corte, la turbulencia del flujo y la descarga del río, mientras que la velocidad del flujo regulara la tasa de transporte.

Las concentraciones máximas, con 19 mg/L se ubican: la primera entre Estero Mata Gorda y la entrada de Estero Chorchá, y la segunda al Norte de Puerto Cabrito, mientras que en el sector de cuatro calles se registra un máximo menor, por el orden de 14 mg/L, y entre los tres sectores baja concentración, lo cual indica difusión del flujo durante la llenante, claramente visible en la distribución vertical de salinidad y densidad. Es una condición importante para definir los sectores de convergencia y deposición de sedimentos, como el observado en el bajo rosa y sus proximidades al Oeste, Suroeste de Isla Mono y el Noroeste de Pto. Cabrito.

El comportamiento observado no lineal de los sólidos suspendidos durante la llenante, está relacionado en gran parte a la turbulencia de un flujo bien mezclado, en tanto que, la distribución de las concentraciones de sólidos suspendidos totales, la cual es gradual y lineal hacia afuera durante la vaciante, es más evidente en este estado de marea, reflujo, que es el mecanismo impulsor del transporte, tal y como se aprecia en el Cuadro 6.67, en donde la distribución de las concentraciones de los sólidos suspendidos están positivamente asociadas a los cambios de

densidad ($p=0,05$), $r=0,76$ y durante la llenante $r=0,71$. Al tener dicha linealidad durante ese estado, las altas concentraciones de sedimentos suspendidos convergen al Sur de isla Mono.

Cuadro 6.67. Matriz de correlación de Pearson ($n=44$)

| Parametros | (sigma t)Llenante | SST /Llenante | (Sigma t)vaciante | SST/Vaciante |
|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|--------------|
| (sigma t)Llenante | 1 | | | |
| SST /Llenante | -0.061359469 | 1 | | |
| (Sigma t)vaciante | 0.721604794 | -0.449841824 | 1 | |
| SST/Vaciante | 0.718230024 | -0.553240393 | 0.769223795 | 1 |

- **Precipitación de sedimentos en el fondo.**

En términos generales, la matriz sedimentaria de los canales señala que está compuesto por tres fracciones (Graba, Arenas y Finos), Cuadro 6.68. La textura del sedimento a lo largo del canal varía, de acuerdo con lo registrado por la geotecnia, desde arena, 82,72% en promedio, con un mínimo de 54,8% en la E-S11 y un máximo en la E-S1/B de 94%, textura que predomina en la zona Norte. Los sedimentos finos oscilaron entre 45,2 – 6,0%, coincidiendo con los porcentajes mínimos y máximos respectivamente, lo que representa un promedio del 17,28%. En la zona media la textura de arena representa un promedio de 61,65% y los finos 38,35%; mientras que, en la zona Sur, el promedio de arenas representa 70,54%, 29,23 % de finos y 0,68% de grava. Por consiguiente, la textura común de mayor porcentaje a lo largo del canal es arena, que provienen de los aportes del río, lo cual indica que hay procesos de deposición ya que, en términos generales, por tratarse de un ambiente estuarino, la tendencia natural es la sedimentación. El hecho de que, en el interior del estero, en la zona Norte y Sur el porcentaje de arenas sea mayor, sugiere en gran medida que no hay un proceso importante de erosión. Sin embargo, hay un transporte de finos, lo que indica que en algún momento el cuerpo de agua tiene capacidad de arrastre, debido a que las fuerzas que dominan la dinámica estuarina no son regulares ni constantes. Esto implica que esa capacidad de transporte neto de sedimento actúa a manera de agente de limpieza del canal, así lo evidencia la E-S6/1, donde hay valores porcentuales relativamente altos de finos. Esta última distribución en los sedimentos es consistente con la distribución de los sólidos suspendidos totales durante la marea vaciante.

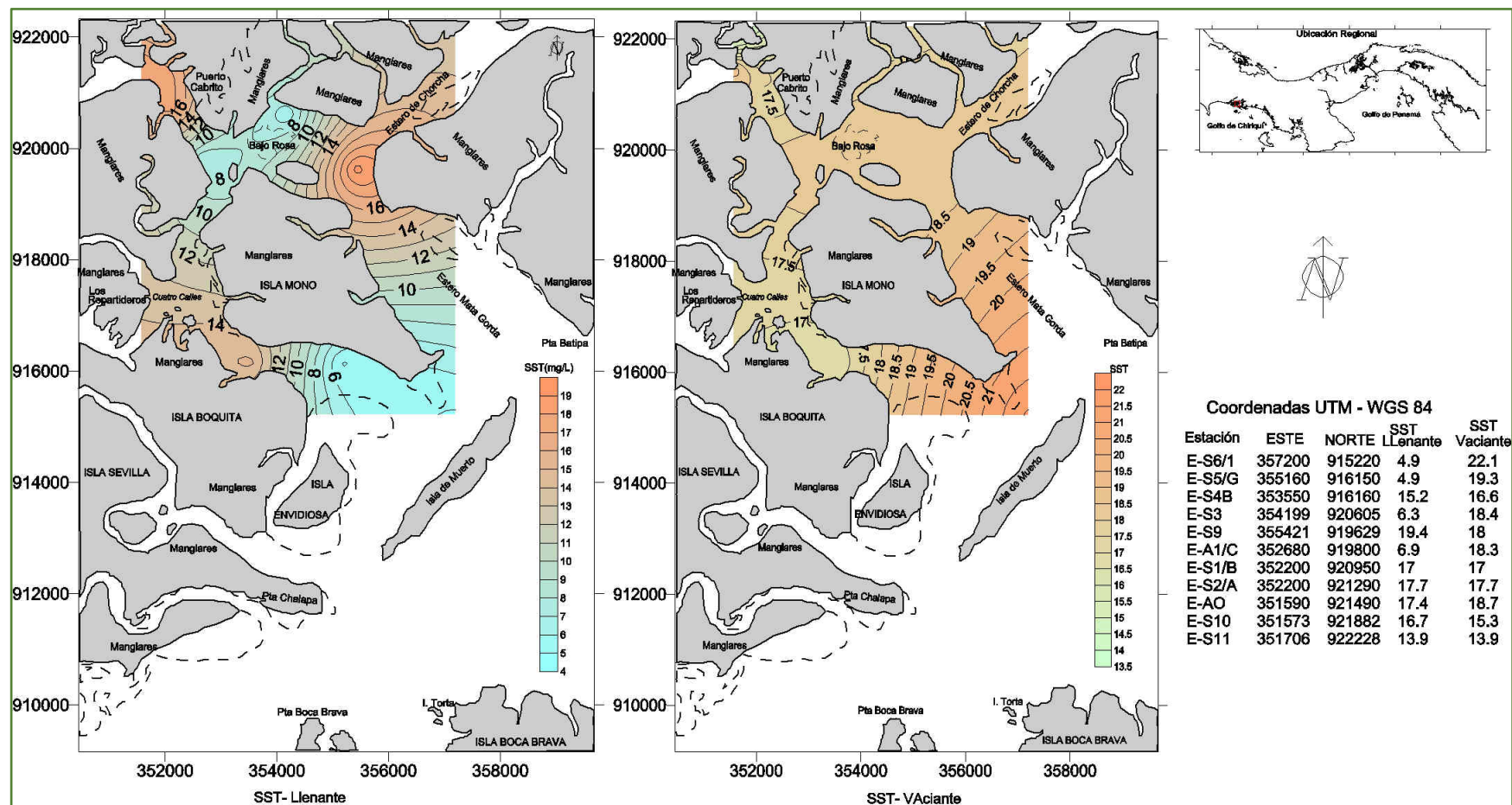
Por lo tanto, los sedimentos de fondo que se encuentran en el canal varían desde finos hasta arenas gravosas. Evidentemente, la distribución de estos sedimentos varía en función de la energía disponible. Predominan las granulometrías finas en los ambientes de baja energía; en los de alta energía permanecen, si esta se los permite, los elementos gruesos.

Los resultados en general de la composición de los sedimentos en el fondo son consistentes con el flujo subcrítico determinado por el Número de Froude, el cual es característico de estuarios, definiendo la forma e irregularidades del fondo como de Rizos y hasta Dunas. Se concluye, por tanto, que las condiciones de flujo máximo inducen la formación de irregularidades en el fondo del canal.

Cuadro 6.68. Matriz sedimentaria de la zona de estudio

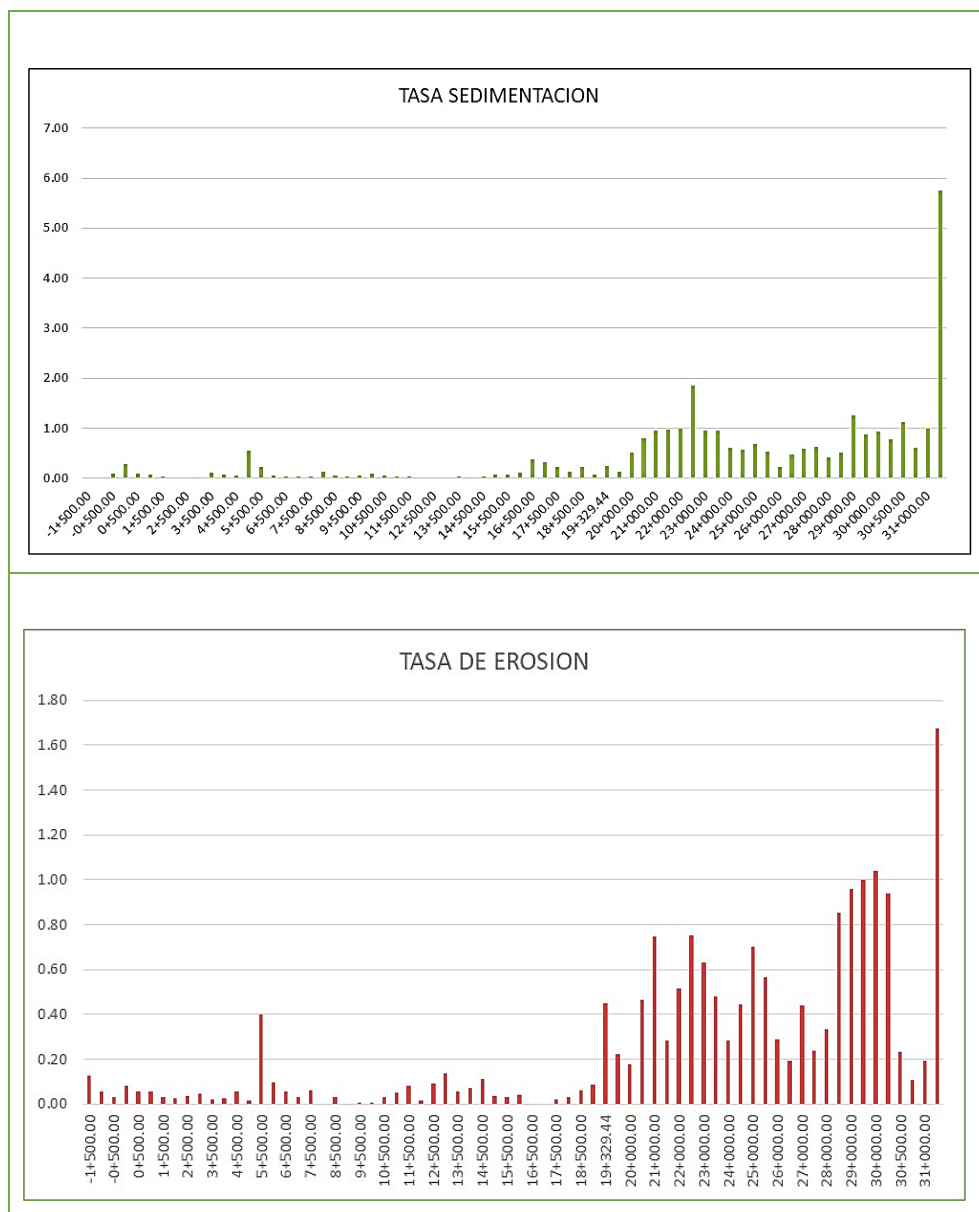
| Estación | Grava (%) | Arena (%) | Finos (%) | Zona | Promedio por zona | |
|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|-----------|
| | | | | | Arenas (%) | Finos (%) |
| E-S11 | --- | 54,8 | 45,2 | Zona Norte | 82,72 | 17,28 |
| E-S10 | --- | 87,1 | 12,9 | Zona Norte | | |
| E-A0 | --- | 89,8 | 10,2 | Zona Norte | | |
| E-S1/B | --- | 94 | 6 | Zona Norte | | |
| E-S2/A | --- | 87,9 | 12,1 | Zona Norte | | |
| E-S3 | --- | 26 | 74 | Zona Media | 61,65 | 38,35 |
| E-S9 | --- | 97,3 | 2,7 | Zona Media | | |
| E-S4B | 0,68 | 93,22 | 6,1 | Zona Sur | 70,54 | 29,23 |

Figura 6.46. Distribución de las concentraciones de sólidos suspendidos totales, marea llenante y vaciante (8 - 9/5/2021).



En este marco, se realizaron estudios de detalle con el Modelo Matemático Hidrodinámico y Sedimentológico MIKE-21 por la firma de ingeniería ecuatoriana CONSULSA, los cuales, en la longitud de 32,7 km que cubre todo el canal de ingreso al proyecto portuario, con un total de 334,9 ha de extensión, arrojaron una sedimentación de 798.795,25 m³/año (0,8 Mm³/año). A su vez la erosión marcó un total de 398.366,56 m³/año, con los cual se obtiene un azolvamiento neto anual de 397.984,32 m³/año (Gráfica 6.31) o en cifras redondas, 0,4 Mm³/año.

Gráfica 6.31. Gráficas de tasa de sedimentación y tasa de erosión.



- **Conclusiones.**

En términos generales, las corrientes en el área de estudio obedecen principalmente a la acción de las mareas con flujos que se alinean en la mayor parte de su recorrido con el eje del canal, de acuerdo al estado de la marea (flujo/reflujo), definiendo al régimen de las mareas como un flujo energético principal, sin dejar de lado la descarga del río durante el período lluvioso, el cual posee la capacidad de ampliar la zona de mezcla hasta el canal principal de Bahía de Muertos y su respectiva capacidad de transporte de material en suspensión y de fracciones de finos.

Con relación a la dirección de corrientes, la tendencia general en subida es hacia el NE, siguiendo la configuración de la costa para dirigirse hacia el WNW y se remonta hacia el NNW y NW. En marea bajando la dirección es inversa y adopta direcciones hacia el SSE, SE.

Las velocidades están relacionadas con la altura de la marea, por consiguiente, con sus estados llenante, vaciante y estoas de pleamar y bajamar. Durante los dos primeros las velocidades son de moderadas a muy fuertes, mientras que en las estoas son débiles. Por lo tanto, el comportamiento es mareal y estas corrientes aportan la energía turbulenta para la mezcla vertical entre agua dulce y la de mar, lo cual crea un sistema bien mezclado desde superficie a fondo, donde predominan los procesos de turbulencia, difusión y mezcla.

Durante el máximo de la estación lluviosa es de esperarse que el gradiente de densidad (7 a 17 Sigma_t), se desplace hacia el Sur extendiendo la zona de mezcla (ZM); el río aporta la mayor energía durante ese periodo. Durante la temporada seca y de poco aporte de agua dulce la densidad de las aguas (14 a 20 Sigma_t), aumenta con el contenido de sal y hay un ingreso de agua de mar más prominente desde el fondo hacia la parte interna. Esta estructura sugiere que las condiciones del mar adyacente (ZC) predominan en casi todo el sistema y el flujo mareal es la principal fuerza. Por lo tanto, los cambios de densidad determinan el patrón de circulación del estuario.

En cuanto al sitio proyectado para el desarrollo del puerto, experimenta ondas capilares donde la fuerza generadora es el viento de componente Sur y la restauradora es la tensión superficial. Esta condición hace susceptible el talud ribereño a erosión, por lo que es importante la acción ingenieril para su protección.

El hecho que, en el interior del estero, en la zona Norte y Sur el porcentaje de arenas sea mayor, sugiere en gran medida que no se están dando procesos de erosión. Sin embargo, hay un transporte de finos, lo que indica que en algún momento el cuerpo de agua tiene capacidad de arrastre; pero esto significa al mismo tiempo que esa capacidad de transporte neto de sedimento actúa a manera de agente de limpieza del canal.

En tanto, el transporte de los sólidos suspendidos durante la marea llenante no tiene un comportamiento lineal, debido a la turbulencia del flujo y otros factores. Caso contrario sucede en marea vaciante donde el comportamiento es lineal con alto grado de asociación con la densidad del mar, $r=0.76$.

Se sugiere tener presente las características de las corrientes costeras y la acción conjunta del oleaje oceánico en el borde costero de la entrada del canal de Bahía los Muertos para definir el canal de navegación.

Finalmente, consideramos que las actividades futuras a realizar como construcción del puerto y profundización del canal no cambian el patrón de circulación, debido a que los flujos energéticos, las mareas y la descarga del río se mantienen, toda vez que la profundización y ensanche siga la configuración o geometría de la costa y la construcción del muelle no interrumpa los flujos. Sin embargo, se espera que haya una disminución en la velocidad máxima durante el flujo y reflujo en temporada de menor descarga de agua dulce. Mientras, que en las máximas escorrentías este podría conservarse y mantener la capacidad de transporte

6.6.2. Aguas subterráneas

La caracterización de las aguas subterráneas abarca esencialmente los terrenos de la huella del proyecto y algunos contornos cercanos, pues se centró en el interés de analizar las afectaciones directas por las acciones desarrolladas. Por un lado, abordó la altura de la mesa freática libre mediante las perforaciones realizadas para la geotecnia, y por el otro lado, los acuíferos existentes en profundidad a través de otros métodos geofísicos exploratorios, incluyendo la opción de semi-confinados y confinados.

No está demás, recordar que, en el área señalada, determinada por las geoformas de glacis hay una capa superficial cuaternaria (Pleistoceno), de la Formación Las Lajas (QR-Ala) que se sobre monta con los ciclos de las glaciaciones a la plataforma Terciaria (Plioceno) del grupo Senosri-Uscari (TO-SEga), la cual proviene de la cordillera, ocupa parte del terreno a vista, se sumerge luego en el subsuelo y logra penetrar hasta el medio hídrico fluvial. Hay pues una capa de superficie constituida de sedimentos aluviales, con una determinada formación de acuíferos libres, y hacia abajo, otra de rocas más bien calizas, lutitas, conglomerados, tobas, esquistos arcillosos, grauvacas, etc., depositaria de acuíferos locales distintos, como se verá más adelante.

Nivel freático del acuífero libre.

Tal como se ha manifestado, una capa de finos (limo elástico, sobre todo) con arenas cubre la parte más superficial de las áreas del terreno del proyecto cercanas a las orillas del canal de mareas, especialmente las Zonas-4 y Zona-3 tratadas en la geotecnia, dominadas por la Formación Las Lajas. En estas se encuentran por lo general, acuíferos predominantemente intergranulares, continuos, y de moderadamente productivos a productivos. Particularmente la Zona-4 está condicionada por los niveles de las mareas. A continuación, las alturas encontradas de la superficie freática en las tres zonas mayormente involucradas (Cuadro 6.69).

Cuadro 6.69. Nivel freático de las tres (3) zonas.

| NIVEL FREÁTICO | | | |
|----------------|--------------|-------------|---|
| Área | Localización | Altura (-m) | Observaciones |
| Zona-2 | P-11 | NSD | - |
| | P-12 | 1,50 | Ambiente hídrico pantanoso con drenaje natural al manglar |
| Zona-3 | P-4 | 6,00 | Punto topográfico más alto del terreno |
| | P-9 | 3,60 | Colindante con área pantanosa de manglar |

| NIVEL FREÁTICO | | | |
|----------------|--------------|-------------|---|
| Área | Localización | Altura (-m) | Observaciones |
| | P-10 | 6,00 | - |
| Zona-4 | P-1 | 6,00 | - |
| | P-2 | 6,00 | Área del talud sobre el canal principal de navegación |
| | P-3 | 3,00 | Área de la marina junto a un brazo del estero |
| | P-6 | 6,00 | Área del talud sobre el canal principal de navegación |
| | P-7 | 2,00 | Parte baja del terreno colindando con manglares |
| | P-8 | 1,50 | Parte baja del terreno colindando con manglares |
| | P-17 | 6,00 | Área del talud sobre el canal principal de navegación |

Sobre estas cifras hay que tomar en cuenta que, la altura del talud sobre el nivel del canal de navegación varía de 2,00 m (parte más baja, hacia el P-6) a 5,72 m (parte más alta, hacia el P-2) a lo largo de los 420 m lineales de frente; y que estas perforaciones se hacen, además, durante el mes de agosto, es decir en periodo de lluvias. Por el tipo de suelos, esta capa debe pues bajar durante el periodo seco, quedando su nivel freático en dependencia solamente de la intrusión de las aguas de los brazos estuarinos y lo que se sostenga por las capas impermeables o semi-impermeables más profundas.

6.6.2.a Identificación de acuífero

Caracterización geofísica de los acuíferos.

Para este fin, se escogieron seis sitios de estudio, representativos (*Anexo 16*) de la Zona-4 y Zona-3, tomando por referencia la ubicación de las principales instalaciones como son: el propio puerto y sus estructuras de almacenaje, la marina con sus centros de servicios, el área de turismo comercial y el área de los depósitos de combustibles (Figura 6.47).

Figura 6.47. Sitios del estudio geofísico de los acuíferos.

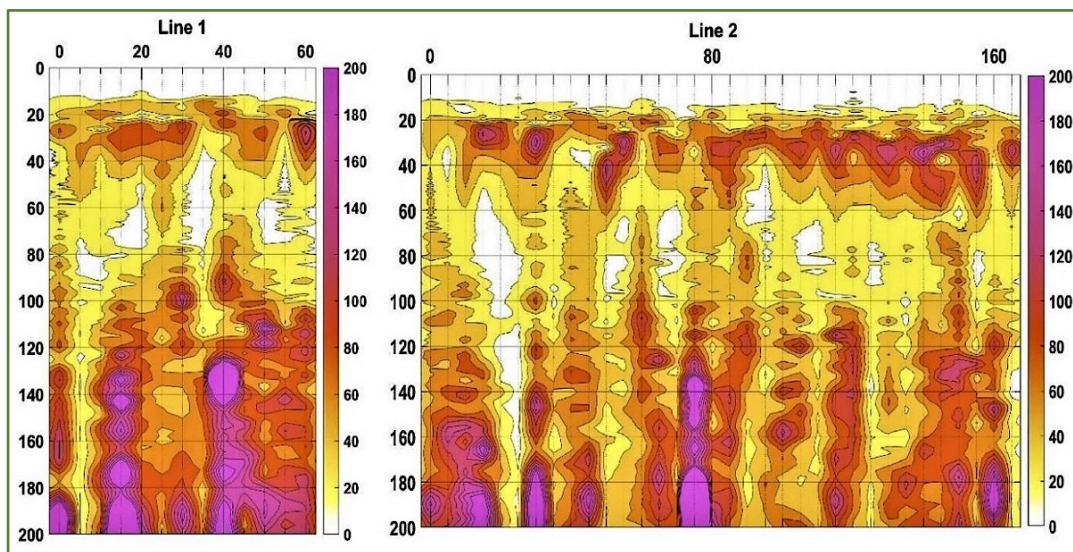


En el trabajo se utilizaron simultáneamente dos métodos exploratorios únicos, para proporcionar una visión con respecto a las rutas y patrones de flujo de agua subterránea: perfiles acústicos de resonancia o “RAP” y un contador de centelleo gamma, radiométrico o simplemente “Gamma”, ambos de métodos pasivos. El sistema RAP detecta la debilidad estructural en el suelo/roca, siendo apto para localizar zonas de rocas débiles, altamente fracturadas, o porosas y de alta permeabilidad con una precisión razonable hasta profundidades de 2.000 m, mientras que el sistema Gamma mide las emisiones gamma natural que emiten las rocas subsuperficiales debajo del sensor, convirtiéndose en una herramienta excelente para el uso junto con la RAP, para discernir la porosidad húmeda frente a la seca. Una pues (RAP), muestra un perfil de zonas permeables competentes versus débiles/fracturadas; la otra (Gamma), una señal de respuesta en lugares donde se acumula agua inclusive zonas con fracturas y fallas permitiendo la cobertura de áreas mucho más grandes en menor tiempo.

- **Sitio 1 y Sitio 2.**

A los sitios uno y dos, ubicados en la subzona de la marina, se les dedicaron dos líneas de muestra. El Sitio 1 presentó una saturación de agua debido a la influencia de las presiones del brazo estuarino donde se encuentra y la fluctuación de las mareas. Los resultados de la RAP en la Línea-1 pusieron, sin embargo, sobre el tapete, una zona saturada no muy productiva de agua, lo que pareciera ser agua de no buena calidad en su composición química. Estas se encuentran en una zona meteorizada ubicada en el rango de los -30 a -50 m, con un aporte de agua subterránea muy pobre. Seguidamente, por debajo de los -50 m se encuentra una zona húmeda discontinua por posibles rocas volcánicas compactas sin posibilidades de agua, y por debajo de los -100 m la posibilidad de un sistema de fracturación vertical que pueda contener aguas.

Figura 6.48. Estructura vertical de la Línea 1 y Línea 2 de los sitios 1 y 2 de muestreo geofísico, por RAP



El Sitio 2 muestra a su vez, en el mapa de contorno Gamma cierta uniformidad en sus estratos de acuerdo con los resultados comparativos de las Línea 1 y 2; no obstante, puede leerse una mayor discontinuidad en la horizontal dentro de las profundidades de los -30 a -50 m, por presencia de roca meteorizada, que en particular almacena una zona saturada muy pobre, con un contenido de agua de no buena calidad. De igual manera que para la Línea anterior, en las profundidades por debajo de los -50 m el material litológico no permite el aporte de aguas.

- **Sitios 3, 4, 5 y 6.**

Las líneas de muestreos (3, 4, 5 y 6) correspondientes a estos sitios presentan una uniformidad del subsuelo de acuerdo con los resultados Gamma, con escasa presencia de posibles fuentes de aguas subterráneas profundas. Al establecer la correlación de las medidas Gamma con las de la RAP, solo en las profundidades comprendidas entre -30 m y -50 m se repite la ubicación de una pequeña zona saturada, escasa de agua subterránea y probablemente de calidad no muy buena debido a la influencia de la zona saturada, que puede ser de tipo salobre por razones de la colindancia con los canales y las mareas en el estuario. Seguidamente, en profundidad por debajo de los -50 m, se percibe una zona de roca volcánica en donde no hay posibilidades de agua, pero a profundidades de los -100 m a -200 m se encuentra un sistema de fracturaciones verticales que permiten contener agua, aunque de forma discontinua.

Los resultados de estos sitios permiten en todo caso discernir, que las áreas representadas no implican riesgos para las acciones del proyecto, en el sentido de que sus estructuras alteren las unidades hidrogeológicas; esto si se asumen las recomendaciones de la geotecnia.

Figura 6.49. Estructura vertical de la Línea 3 y Línea 4 de los sitios 3 y 4 de muestreo geofísico, por RAP

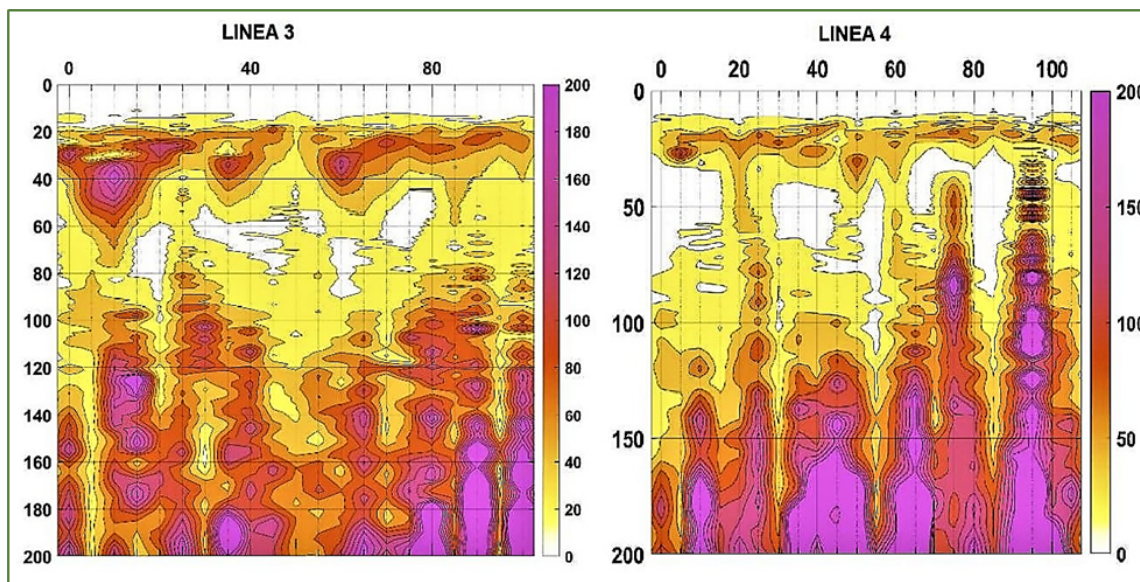
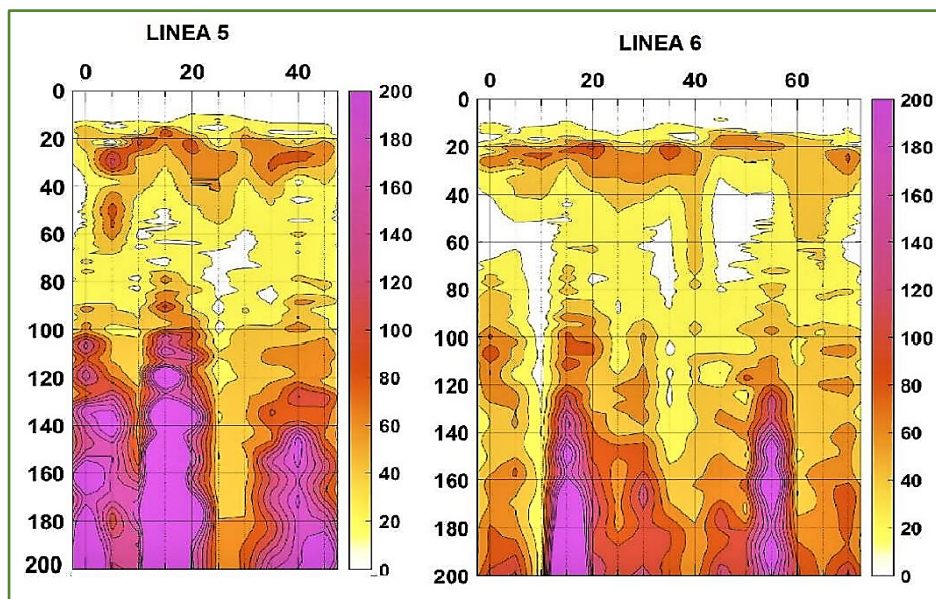
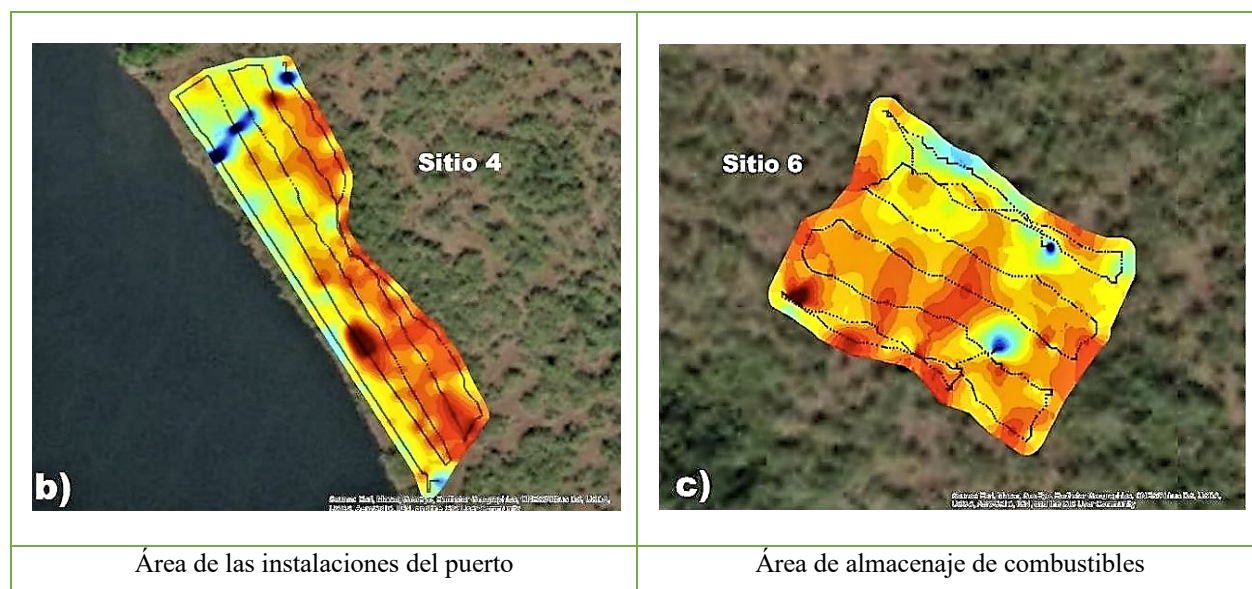


Figura 6.50. Estructura vertical de la Línea 5 y Línea 6 de los sitios 5 y 6 de muestreo geofísico, por RAP



En las siguientes figuras del muestreo Gamma puede apreciarse, sobre el mapeo horizontal, la discontinuidad de las zonas saturadas húmedas por efectos de las condiciones geológicas del subsuelo. Los colores azules son las zonas húmedas mientras que los rojos son las secas. Es importante observar en el Sitio 6, dirigido a las instalaciones del almacenaje de combustibles y coincidente con el punto de perforación P-4, que es una zona fundamentalmente seca.

Figura 6.51. Sitio 4 y 6.



Análisis de aguas subterráneas.

Para abordar estas aguas, lo primero es recordar que los terrenos del proyecto y sus áreas adyacentes inmediatas están dominados por dos formaciones geológicas principales: una del Grupo Aguadulce, la Formación Las Lajas (QR-Ala) de basamento sedimentario del Cuaternario antiguo, y la otra del Grupo Senosri-Uscari, de la Formación Galique (TO-SEga), ubicada hacia las terrazas de glaciares del Plioceno y Pleistoceno. Del Grupo Aguadulce, una parte mayoritaria pertenece al Cuaternario reciente y está cubierta por manglares.

Si se hace referencia al texto explicativo del Mapa Hidrogeológico de Panamá, realizado por el Depto. de Hidrometeorología de ETESA (1999), se puede leer en relación con el área de manglares de la Formación Las Lajas (QR-Ala) que, la calidad química de sus aguas es generalmente buena en acuíferos productivos de permeabilidad media a variable, conteniendo en particular baja salinidad. Entre tanto, para el área de los terrenos del proyecto, perteneciente a la Formación Galique, se establece la existencia de acuíferos locales, intergranulares o fisurados, de granulometría predominante en el orden de limos y arcillas con algunas intercalaciones, de productividad limitada y calidad de agua muy variable.

Esto guarda bastante similitud con lo encontrado en el Informe de Estudio Hidro-Geofísico realizado por la empresa Geowaterconsult, S.A. (Ver **Anexo 16**) para el proyecto, sobre los acuíferos en los terrenos correspondientes, tarea que estableció seis sitios de prospección utilizando de forma combinada los métodos de “Perfiles Acústicos de Resonancia” (RAP) y de “Contador de Centelleo Gamma Radiométrico” (ver 8.3. Aguas subterráneas: acuíferos.).

Lo que puede observarse de los resultados en las verticales del RAP, es la existencia de acuíferos semiconfinados entre los -30 m y -80 m de profundidad, con cierta permeabilidad horizontal que abre las puertas a la intrusión horizontal de las aguas salobres del estuario, por lo que son de calidad variables. Además, de acuerdo con el mapa resultante del método Gamma, se aprecia en general, aunque con más acento hacia el sitio 6 de estudio, discontinuidad en los acuíferos y baja productividad. Desde todo ángulo, no serían aguas recomendables para uso humano.

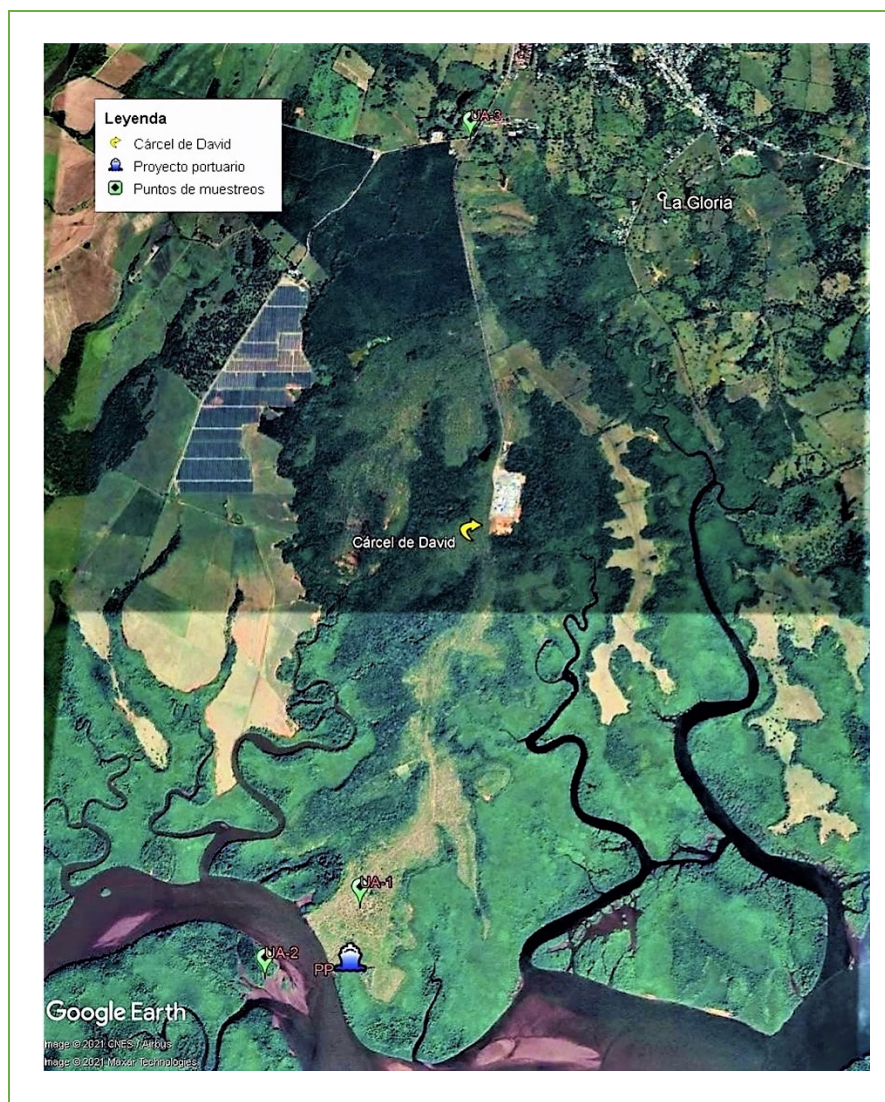
Conclusiones.

- La zona freática se encuentra en la capa subsuperficial del suelo, formada con material de permeabilidad competente; y se presenta mayormente saturada en las áreas vecinas a los canales estuarinos como la marina, o a los manglares. Esta capa se ubica por encima de los -15 m, y los acuíferos que le siguen, localizados por debajo de -30 m son de baja productividad; es decir que no tienen necesidad de interferir con las estructuras de las instalaciones del proyecto.
- Lo que sobresale en el rango de los -30 m a los -50 m parecen ser acuíferos semiconfinados, de productividad muy limitada, con acuitardos encima que, aún de permeabilidad baja permiten producir flujos de aguas que los alimentan, pero de mala calidad química, de tipo salobres. Son intrusiones del agua estuarina, que presionan con las mareas y que ingresan muy localmente por la discontinuidad de los acuíferos.
- Es necesario poner atención a las instalaciones que puedan ubicarse en las áreas representativas de los puntos de alto nivel freático, y que por la composición del suelo limo arenoso y arcilloso pierda rápidamente la profundidad de la zona saturada durante el periodo climático seco, que es prolongado en el área. Mas específicamente cabe una referencia al punto P-8, en el que irán instalaciones de turismo comercial, por razón de las bases estructurales que sean adecuadas a su función.

6.7. Calidad de aire

El objetivo indiscutible de esta caracterización es tener un marco de referencias para evaluar el incremento de gases y partículas suspendidas que genere la fase de construcción y operación del proyecto, con la particularidad adicional, en este caso, de que el fenómeno se produce en un medio dominado por el bosque de manglar, que representa por lo general uno de los grandes sumideros reconocidos de carbono azul.

Figura 6.52. Estaciones de medición del aire.



Fuente: Google Earth

Los parámetros fundamentales de estudio fueron: Partículas Totales, SO₂, NO₂ y CO₂, todos medidos en mg/Nm³. En el punto del terreno portuario se agregó el CO por razones de la

densificación esperada de movimientos de maquinarias con uso de energías fósiles. Las mediciones se realizaron en tres estaciones con una captura de 24 horas continuas (Figura 6.52). Son estas: una en el propio terreno de la actividad portuaria (UA-1), otra en el bosque de manglar del entorno, en la orilla del río Chiriquí Nuevo contraria al terreno portuario (UA-2) a 2,0 m sobre el nivel del suelo, y otra en el cruce de la vía a la nueva cárcel con la de acceso a las explotaciones actuales de arroz y sorgo (UA-3), mucho más expuesta al efecto de la carretera Interamericana y poblaciones.

Cuadro 6.70. Estaciones de muestreos.

| ESTACIONES DE MUESTREOS | | | |
|------------------------------------|-------|------------------------|--------|
| ZONA | PUNTO | COORDENADAS UTM WGS-84 | |
| | | Este | Norte |
| Terreno portuario y bosque natural | UA-1 | 352614 | 921343 |
| | UA-2 | 352100 | 920455 |
| | UA-3 | 353171 | 927414 |

Las mediciones se realizaron los días 18, 19 y 21 de mayo 2021, con temperaturas que variaban entre 26,2 °C y 27,9 °C, y una humedad que rondaba el 80%, aplicándose como norma la correspondiente a la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2005 y como método, la medición con instrumentos de lectura directa por sensores electroquímicos. Para tal efecto se utilizó un medidor de emisiones de gases mediante sensores en tiempo real, del tipo EPAS, número de serie 914056 (Ver detalle en el *Anexo 17. Informe de Ensayo de Calidad de Aire Ambiental*).

El entorno tal como se aprecia en la figura de Google Earth está dominado esencialmente por el ambiente territorial de las grandes extensiones agrícolas junto a los bosques naturales de manglares del área, pero siempre sin presencia de comunidades humanas residentes, las que se encuentran ubicadas más hacia la carretera Interamericana, siendo la más cercana La Gloria, a 6,0 km de distancia. Los vientos, a su vez, corrieron durante los tres días sin obstáculos de relieves, predominantemente en dirección Suroeste, alcanzando máximos de velocidad de 6,9 m/s.

Los límites máximos contemplados son los siguientes:

Cuadro 6.71. Límites máximos de Concentración.

| LÍMITES MÁXIMOS DE CONCENTRACIÓN | | | |
|--|-------------------|---|---------------|
| Material | Unidad | Tiempo y Concentración | |
| Dióxido de nitrógeno (NO ₂) | µg/m ³ | 1 hora - 200 | Anual - 40 |
| Dióxido de azufre (SO ₂) | µg/m ³ | 10 minutos - 500 | 24 horas - 20 |
| Material particulado (PM ₁₀) | µg/m ³ | 24 horas - 50 | Anual - 20 |
| Monóxido de carbono (CO) | ppm | No hay límite de referencia en lo ambiental | |
| Dióxido de carbono (CO ₂) | mg/m ³ | No hay límite de referencia en lo ambiental | |

En lo concerniente al CO₂ se revisó el criterio de las Guías de Buenas Prácticas o NTP del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España, que establece que, para un ambiente sano este gas debe mantenerse habitualmente entre 300 – 400 ppm (para México la categoría de “aire limpio” reclama 360 ppm de concentración), y puede alcanzar hasta 550 ppm en zonas urbanas (México establece 700 ppm). Tomando la fuente de México, de mayor amplitud, el rango de análisis ha sido ubicado entonces entre 647,87 mg/m³ y 1259,76 mg/m³ (en la unidad requerida).

Los resultados de laboratorio están registrados en detalle, hora por hora, estación por estación en el **Anexo 17** del informe entregado. Desde este ángulo no cabe repetir las cifras; pero conviene extraer los promedios que surgieron de las 24 horas de medición, para una mejor comprensión de la situación del área. El cuadro siguiente resume los valores alcanzados.

Cuadro 6.72. Concentración Promedio 24 horas.

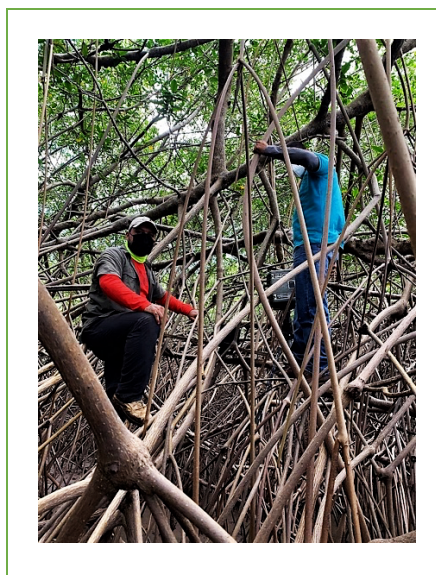
| CONCENTRACIÓN PROMEDIO 24 HORAS | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------|
| SITIO | NO ₂ (µg/m ³) | SO ₂ (µg/m ³) | PM ₁₀ (µg/m ³) | CO ₂ (mg/m ³) | CO (ppm) |
| UA-1 | 4,2 | 3,9 | 9,2 | 1.047,04 | < 1,0 |
| UA-2 | 3,8 | 4,1 | 16,4 | 1.017,34 | < 1,0 |
| UA-3 | 10,9 | 4,1 | 21,3 | 1.113,27 | < 1,0 |

La discusión de tales resultados pone de relieve, primeramente, que todos los índices están por debajo de los límites máximos contemplados; no obstante, si el área de la estación UA-3 mantuviese durante todo el año el promedio marcado en el muestreo PM₁₀, estaría por encima del límite. Hay que tomar en cuenta al respecto, que es el sitio más cercano a las actividades urbanas de las comunidades y a la carretera Interamericana (genera 75.791 tCO₂e/año solo en transporte pesado), recibiendo especialmente los efectos directos de los vientos hacia el Suroeste. En cuanto

al CO está claro que el índice refleja lo propio de un área rural, de muy bajo quemado de combustibles fósiles y de flujos de vientos libres de obstáculos, con buena velocidad.

Sobre el CO₂ todos los valores tienen la particularidad de presentar un índice más cercano al medio urbano que al rural, no obstante pertenecer a un ambiente agrario rural rodeado de alta densidad boscosa manglarítica. En todo caso es notoria la influencia de la dirección del viento, cuando se analiza la orientación, secuencia y distancias de las estaciones UA-3 (1.113,27 mg/m³), UA-1 (1,047,04 mg/m³) y UA-2 (1.017,34 mg/m³), las dos últimas bastante cercanas.

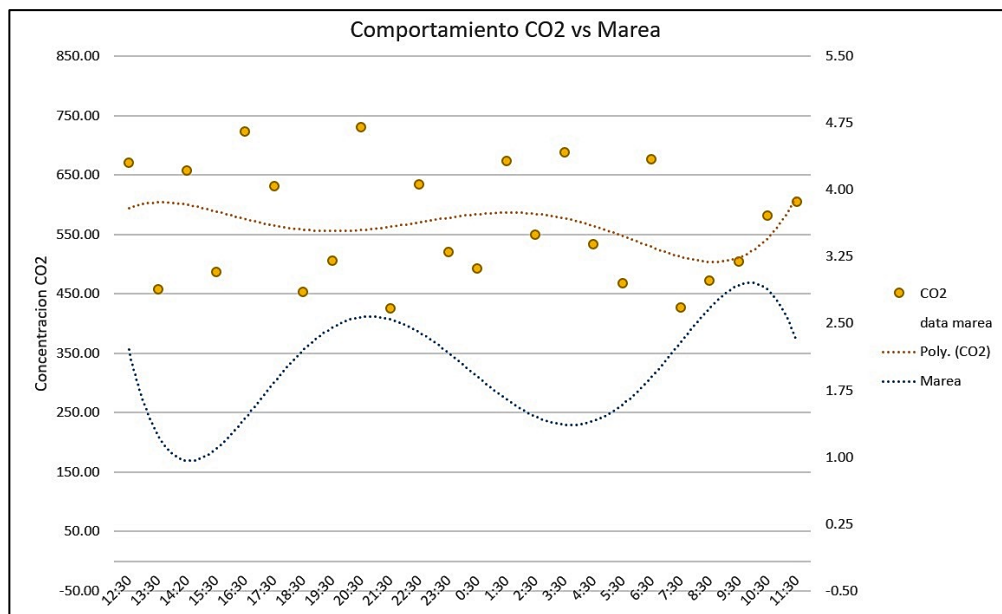
Figura 6.53. Estación UA-2



El resultado permite y es lo importante hacerse algunas preguntas, sobre todo con relación al papel del manglar en la regulación del Carbón Azul, algo que se facilitó por la muestra realizada en el propio bosque, en zona inundable. Como podrá observarse en la Gráfica 6.32 adjunta, cuando baja la marea suben las emisiones de carbono, mientras que cuando sube, bajan las emisiones; esto con la frecuencia de dos veces en las 24 horas. Desde este punto de vista, existen en el ciclo in-puts y out-puts que mantienen un equilibrio estacionario en el decir de Ilya Prigogine (1987), produciéndose en concreto un balance entre la captura y la emisión del carbono, que al final se torna favorable a la captura y almacenamiento de la sustancia.

Esto se explica por el carbono orgánico existente en el suelo. Está demostrado que la descomposición microbial del suelo es rápida en presencia del oxígeno, por la oxidación aeróbica de los compuestos orgánicos, y que se ralentiza cuando la porosidad de este se llena de agua y funcionan los organismos facultativos. Los suelos inundados, sobre todo con aguas salinas favorecen la producción del metano (CH_4), porque en estos se llevan a cabo procesos anaeróbicos de metanogénesis y se libera menos carbono.

Gráfica 6.32. Relación entre la concentración de CO_2 y las mareas.

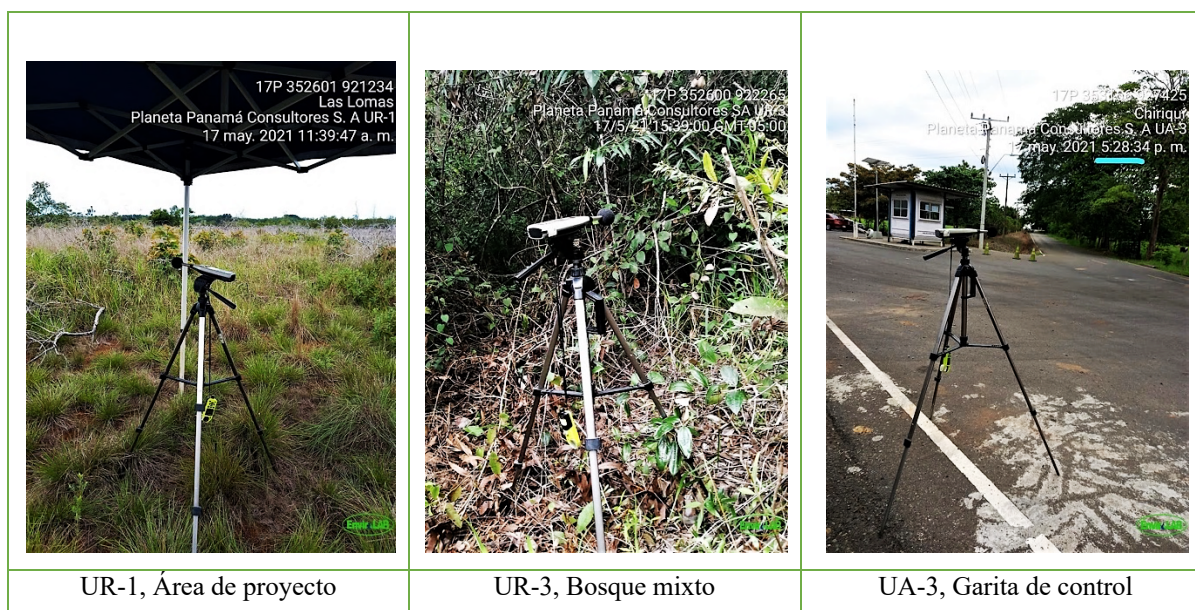


Así pues, los sistemas de Carbono Azul, cuando el suelo está saturado de agua que lo mantiene en estado anaeróbico, dan lugar a una acumulación y almacenamiento continuo del carbono, mientras que, ante la alta disponibilidad de oxígeno, la oxidación aeróbica microbiana del componente libera de vuelta a la atmósfera el gas (Schlesinger & Lichter, 2001). Esto confirma al mismo tiempo que, si los suelos de los humedales son perturbados con barreras o drenes, son susceptibles de liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

6.7.1 Ruido

Para este aspecto se trazaron cuatro zonas diferentes en el ámbito de la influencia directa, respondiendo a la variedad de los principales ecosistemas presentes: manglares, áreas verdes fuertemente intervenidas como lo es el terreno del proyecto, parches de bosques mixtos secundarios y zona de caminos de uso social regular. Los puntos fueron seleccionados en una trayectoria que los ubica en la secuencia territorial bajo el mismo techo de los vientos de Noreste a Suroeste, sin relieves de deformación, buscando siempre condiciones atmosféricas lo más homogéneas posibles entre los mismos (*ver Anexo 18*)

Figura 6.54. Puntos de medición de ruido,



Estos tomaron también en consideración, los usos establecidos por el proyecto para el ordenamiento del territorio. Es desde esta perspectiva que son, en gran medida, característicos del camino de carpeta asfáltica rural-agrícola que conecta con la Interamericana, hoy con un tránsito vehicular más regular que las otras zonas debido a la cercanía de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Panamá, a la dinámica agraria intensa en el sitio y a su relación con la carretera principal; de la zona de baja densidad programada para el uso ecoturístico; del terreno de las propias instalaciones portuarias, y finalmente del área verde de manglares, que representa un inocultable refugio de especies.

Los puntos de medición fueron los siguientes:

Cuadro 6.73. Coordenadas UTM WGS84 de los puntos de medición de ruido,

| ESTACIONES DE MEDICIÓN | | | |
|----------------------------|--------|------------------------|--------|
| ZONA | PUNTOS | COORDENADAS UTM WGS-84 | |
| | | Este | Norte |
| Terreno portuario | UR-1 | 352601 | 921234 |
| Manglar lateral | UR-2 | 351959 | 921771 |
| Bosques mixtos secundarios | UR-3 | 352600 | 922265 |
| Camino de acceso | UA-3 | 353166 | 927425 |

En cuanto a la metodología, a estos criterios se agregaron los de una medición diurna y una nocturna, de manera a relacionar las conductas en uno y otro periodo. Vale recordar que el objetivo del estudio es en esencia, permitir un análisis de los potenciales efectos del proyecto por razón de las emisiones de ruido desde el ángulo de la conservación del paisaje sonoro (ecología acústica), aspecto de importancia en lo social, pero también para la fauna, especialmente ante la vulnerabilidad inducida por los reducidos espacios de hábitats naturales existentes.

La medición utilizó como método la guía ISO 1996-2, 2007, en su capítulo: “Descripción, Medición y Evaluación de Ruido Ambiental”, Parte 2: “Determinación de Ruido Ambiental”; y aplicó el Leq (Nivel Sonoro Equivalente, de cumplimiento legal), calculado por el instrumental en la escala lineal ajustada a la ponderación A, y el L90 (Nivel Sonoro Percentil 90) para la evaluación de ruido ambiental de fondo, como descriptores del ruido.

Los instrumentos fueron: Sonómetro integrador en tiempo real (RTA) tipo 1, con filtro de octavas de banda, marca 3M modelo SoundPro SL-1-1/1, con número de serie BE10 10003; calibrador marca QUEST modelo QC-20, serie QOF1 10028, y micrófono de incidencia directa (0°), a 1,20 m del piso. Además, se operó con respuesta lenta y medición continua durante una (1) hora en cada punto, y se consideraron los Límites Máximos de Referencia en 60 dBA para el periodo diurno y en 50 dBA para el nocturno, indicadores correspondientes a receptores humanos.

Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 6.74. Resultados de las mediciones de ruido.

| NIVEL SONORO EQUIVALENTE PROMEDIO, MAXIMO Y MÍNIMO (dBA) | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| NIVEL SONORO | UR-1 | | UR-2 | | UR-3 | | UA-3 | |
| | D | N | D | N | D | N | D | N |
| Lmax | 65,1 | 71,5 | 64,0 | 70,8 | 65,2 | 77,0 | 83,0 | 70,2 |
| Lmin | 24,1 | 40,8 | 26,3 | 38,0 | 27,5 | 40,3 | 29,2 | 45,7 |
| Leq | 34,5 | 52,4 | 54,9 | 60,5 | 38,3 | 55,3 | 51,2 | 51,9 |

D = diurno N = nocturno

La lectura de los indicadores permite, sin duda, una buena discusión respecto a las conductas del ruido de cada zona. El hecho observable inmediato es que todos los Leq diurnos están dentro del límite permisible, en tanto que los nocturnos sobrepasan su límite, especialmente el punto UR-2 de contexto manglarítico, con un nivel sonoro promediado de 60,5 dBA.

A su vez, el punto más urbano por su actividad diaria (UA-3), pero regularizado por la presencia policial da resultados muy cercanos entre la vida diurna (medido al final del día laboral) y la nocturna (medido al inicio de la madrugada), con ruidos de fondo bastante parejos, contrario a las diferencias en las áreas del ambiente natural con ausencia de la antropofonía, cuyo nivel sonoro dista mucho entre el momento diurno y el nocturno, siendo los últimos muy superiores. Aparece pues, un buen indicador de la actividad faunística de las noches, especialmente en las zonas boscosas correspondientes al UR-2 y el UR-3, que representan los mejores refugios de las especies; pues es difícil dudar que, tal nivel sonoro equivalente, de una hora, lo produzca algo que no sean las múltiples “señales sonoras” de la fauna en movimiento.

En estos puntos los máximos (Lmax) llegan a niveles de 70,8 dBA y 77,0 dBA respectivamente, lo que pone de manifiesto vigorosas emisiones sonoras en el ambiente silvestre, si se toma por base comparativa el mínimo entre las cuatro zonas, el Lmin del punto UR-1 igual a 24,1 dBA. Por la disposición de estos puntos, puede inferirse, además, que no solo hay un significativo grado de comunicación entre las especies (esto, por los niveles promedio/hora), sino que, por la correlación entre los índices máximos y mínimos de uno y otro, incluyendo el UR-1, puede suponerse un buen movimiento de las especies entre los tipos de zonas colindantes, manglar, bosque secundario y de

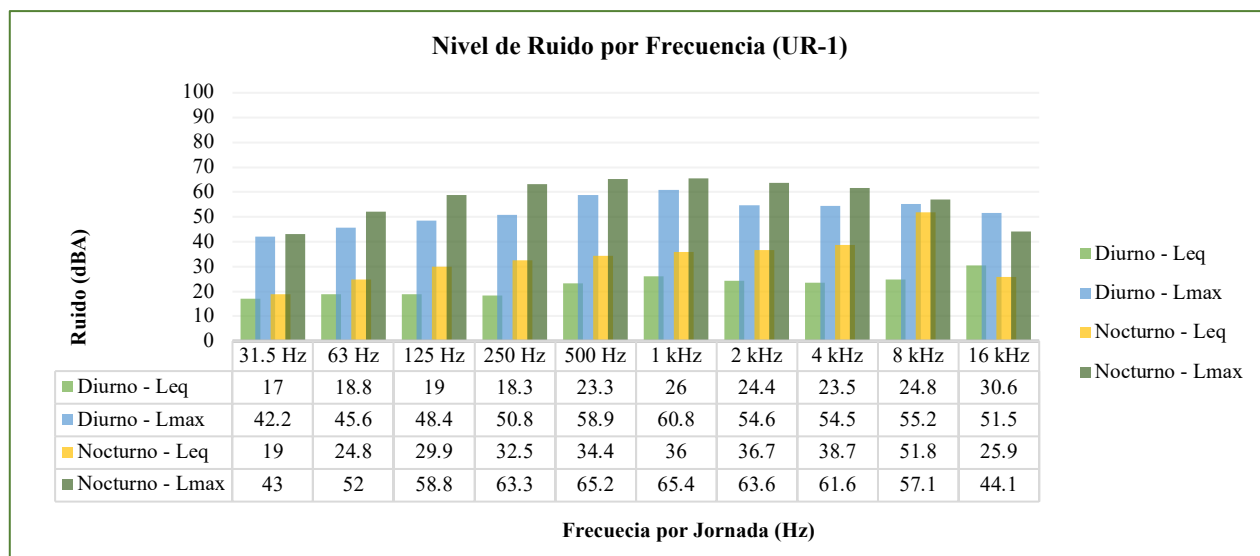
especies arbustivas, esta última sirviendo posiblemente de puente. Todo esto puede representar también un equilibrio dinámico estable de la biofonía local.

En el área del UA-3, la más urbana de todas vale subrayar por otro lado y contrario al dominio boscoso que, el Lmax diurno (83,0 dBA) es superior al nocturno (70,2 dBA), lo que es característico de la actividad humana urbana, sobre todo por el uso de la maquinaria automotriz pesada. Vista la homogeneidad relativa entre los Leq promediados, estos máximos aparecen como “golpes sonoros” instantáneos sobre el ruido de fondo, o quizás “marcas sonoras” acordes con el paisaje urbano; algo que toca vigilar en los proyectos vecinos a los bosques, especialmente en horas nocturnas, porque rompen el intercambio entre las “señales sonoras” del ambiente acústico.

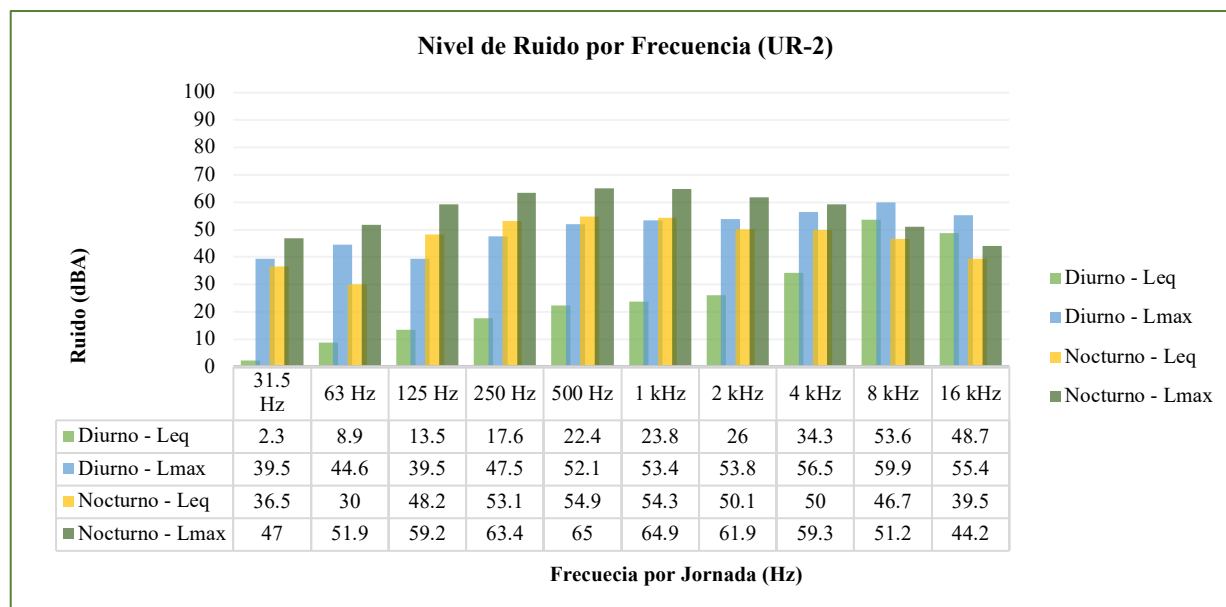
Abordando ahora la relación entre las frecuencias y los niveles de presión sonora, siempre en el campo del paisaje nocturno pues está definido como el más activo del entorno directo del proyecto, aparecen también algunos aspectos adicionales que llaman la atención.

En esta esfera se recurrió a los muestreos; y es necesario acotar que su tratamiento aplicó normativas del ruido ambiental establecidos para los ambientes sonoros de la percepción humana. Es conocido que los animales tienen una sensibilidad auditiva, a nivel de frecuencia como de presión sonora diferente a la condición humana, la mayoría de las veces superior. No obstante, en ausencia de una tabla de registros de la percepción auditiva de la fauna silvestre, se escogió de forma convencional la referencia del límite permisible humano de 50 dBA (en unidad dB), para segmentar los niveles sonoros del periodo nocturno y trazar algunos criterios.

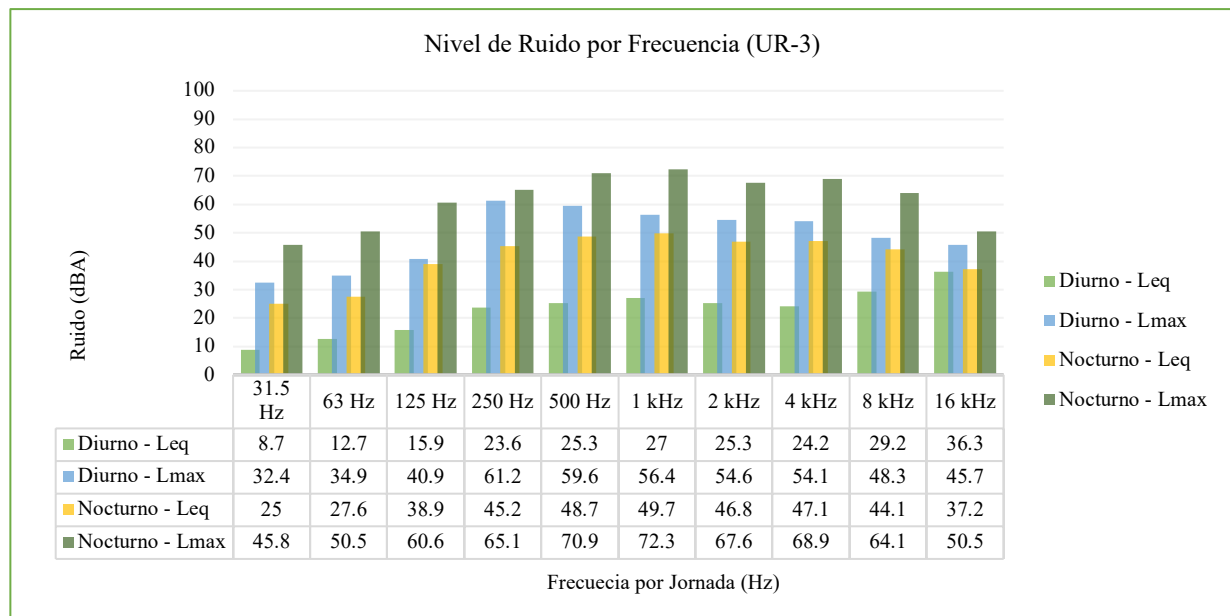
Gráfica 6.33. Nivel de ruido por frecuencia (UR-1).



Gráfica 6.34. Nivel de ruido por frecuencia (UR-2)



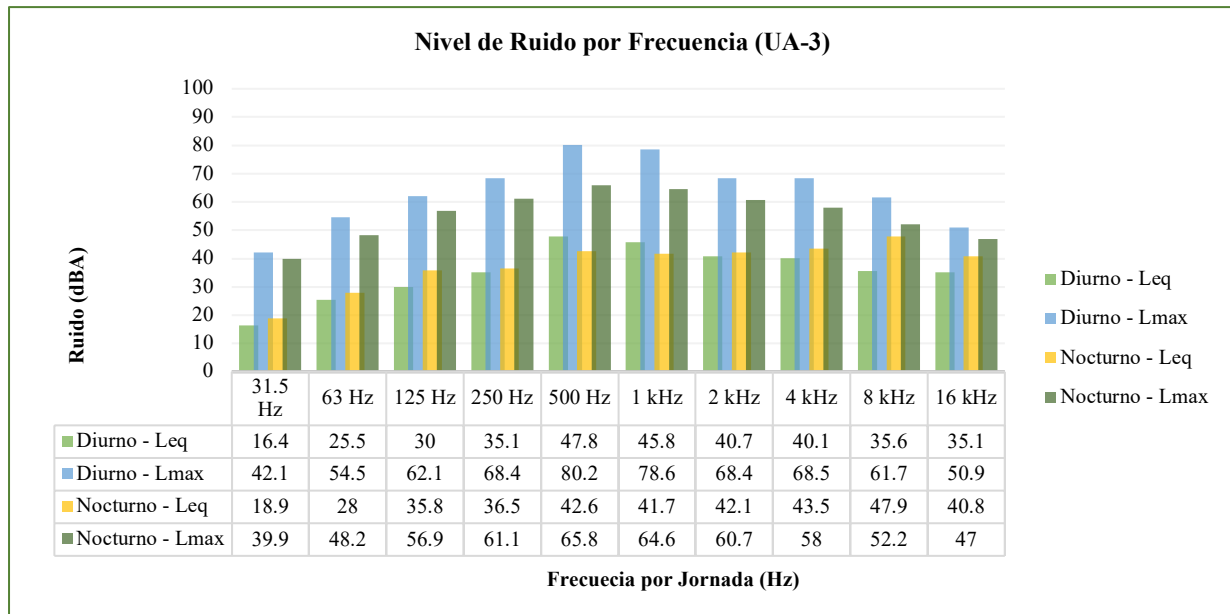
Gráfica 6.35. Nivel de ruido por frecuencia (UR-3)



Sobre estas dos últimas gráficas (UR-2 y UR-3), cabe recordar que son representativas de dos ecosistemas boscosos diferentes, pero vecinos, el de manglares y el secundario maduro, y que fue en estos ambientes que se produjeron los más altos Leq y Lmax nocturnos, a la vez que los más bajos Lmin de las noches. Es decir que mostraron la mayor amplitud en los rangos del registro de la presión sonora. Igualmente, se produjo una buena diversidad de tonos audibles –obsérvense las alturas de las columnas de sonido por cada banda de frecuencia–, demostrando un intercambio oral importante entre las especies como paisaje sonoro natural. Bien dice Bernie Krause (1996), ecologista y músico, que al escuchar este paisaje sonoro ha encontrado que: “cuando un pájaro canta o un mamífero o un anfibio emiten sonidos, parece que las voces encajaran con relación a todos los demás sonidos naturales, en términos de frecuencia y ritmo”.

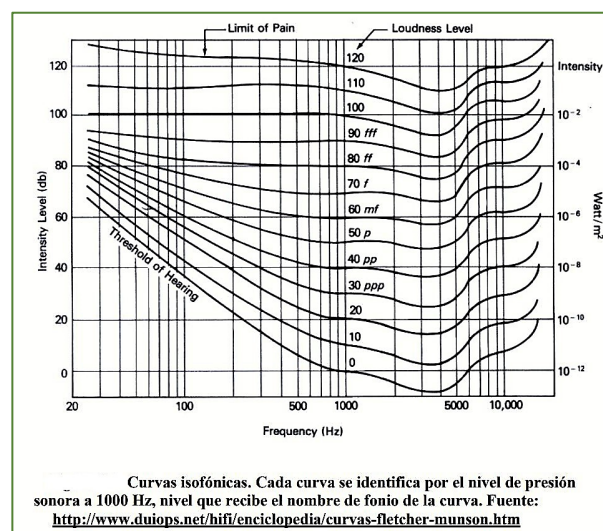
Finalmente se tiene la gráfica del punto UA-3, la más cercana a las condiciones urbanas del área muestreada.

Gráfica 6.36. Nivel ruido por frecuencia (UA-3)



Toda vez que el límite máximo del ruido nocturno ha sido fijado en 50 dB, hay lugar para presumir que las intensidades por debajo de este nivel son suficientemente asimilables por el oído humano. No obstante, haciendo referencia a las curvas isofónicas de Fletcher & Munson, es fácil apreciar que la sonoridad tiene importantes variaciones de acuerdo con las frecuencias

Figura 6.55. Curvas isofónicas. Cada curva se identifica por el nivel de presión sonora a 1000 Hz, nivel que recibe el nombre de fonio de la curva.



Es conocido que, a igual frecuencia, la intensidad aumenta con la amplitud de la onda, y lo mismo cambiaría si se mantiene la amplitud de la onda, pero se varía la frecuencia. Ubicados entonces a nivel del fonio 50 dB (frecuencia 1.000 Hz), puede advertirse que esta misma intensidad, puesta a la altura de 110 Hz, da un resultado equivalente a casi 70 dB; algo que siendo así para los seres humanos, no siempre lo será para la fauna, la cual presenta, en su gran mayoría sensibilidades auditivas por encima de las humanas. Sucede que un sonido ubicado en el fonio 20 dB (umbral de audición humana), llevado a la frecuencia de 16 kHz está produciendo un nivel de intensidad poco más de 70 dB. Y la pregunta que cabría hacerse es, cuál sería el nivel, si elevamos un fonio descansado de 40 dB a la frecuencia de 50 kHz, captada perfectamente por un perro o un gato con su sensibilidad... Lo concreto en todo caso es que, las altas frecuencias en el medio se dan generalmente en niveles muy bajos de intensidad, imperceptibles al oído humano, llegando al oído de la fauna con un cómodo grado de sonoridad.

El problema es que la intervención antrópica, con su accionar, genera hoy una serie de ruidos acordes con el desarrollo de sus fuerzas productivas que, en muchas ocasiones, no están al alcance auditivo del medio humano, pero que afectan la audición de muchas especies y perturban con esto actividades de las relaciones ecológicas que son respuestas a señales del medio acústico animal. Así mismo genera ruidos audibles al humano, pero cuyas frecuencias elevan a tal nivel la presión sonora sobre la membrana auditiva de las especies, que le producen alto estrés acústico. Al respecto es de interés anotar que, mapas espectrográficos han mostrado que las vocalizaciones de animales e insectos tienden a ocupar pequeñas bandas de frecuencias, dejando “nichos espectrales” entre los cuales pueden encajar las vocalizaciones de otros animales, pájaros o insectos; y sin duda la actividad humana, al penetrar con su ruido puede bloquear o enmascarar dichos nichos.

Lo cierto es que si se toma el caso del punto UA-3 en su día laboral, siendo un sitio de flujos automotrices por la actividad rural de alta producción, se advierte que sobre un Leq promediado de 51,2 dBA se generan por momentos ruidos de 62,1 dB a 125 Hz, representando una presión sonora de aproximadamente 71 dB en la curva isofónica, y de 61,7 dB a 8 kHz, equivalente a unos 73 dB. Esto, en seres humanos significa un ruido intrusivo molesto, pero más lo será en la sensibilidad

de alguna especie animal, grande o pequeña, sobre todo si tiene comunicación vocal en dichas frecuencias. Se da este caso justamente en la zona del punto UR-3, corredor de bosque secundario entre dos áreas manglaríticas, al encontrar durante las noches y sobre el Leq promediado de 55,3 dBA casi las mismas intensidades señaladas y en las mismas bandas frecuenciales del UA-3, solo que en un medio con ausencia total de la antropofonía. Sin dudas, una característica que exige buen manejo en el compromiso de la conservación ante una acción externa ruidosa.

6.7.2 Olores.

Este tema debe tomar en cuenta antes que todo, que el ambiente tratado es totalmente rural, y el propio sitio de proyecto aparece como una zona de producción agrícola abandonada, con residuales boscosos maduros o en recuperación y un entorno costero pantanoso en el que domina el mangle. Desde este punto de vista la Información de los olores se ha obtenido especialmente por conversaciones con pescadores y algunos lugareños transeúntes del lugar, quienes son los que rondan las áreas, pues no hay residentes en el entorno inmediato. De presencia humana permanente, lo más cercano se ubica en la prisión de David; y hay que admitir que las cortas visitas de trabajo de campo al sitio y sus alrededores no han sido lo suficientes para evidenciar olores eventuales. Vale recordar que el olor no es más que una sensación percibida al interactuar moléculas volátiles presentes en el aire, con las células olfatorias del sistema nervioso central; y esto corre en un tiempo específico.

Los entrevistados no manifestaron de la existencia de algún olor particular determinante en el área. Hay que agregar que lo específico del ámbito del lugar, es la casi ausencia de basuras a pesar de representar un lugar de abandono en el seno de una zona costera de manglar, utilizada regularmente en otros lugares para la disposición de múltiples residuos sin ningún criterio sanitario. Tampoco hay residencias con efluentes de aguas servidas; no obstante, es oportuno reconocer que cercano, hacia el norte del terreno del proyecto, donde se programa la Marina del complejo, hay actividad pecuaria y agrícola extensiva, y opera también una destacada generadora fotovoltaica. Justamente hacia ese brazo del estero se han percibido en el manglar, con marea subiente, olores propios de procesos de metanización de materia orgánica, lo cual es muy viable si no se están aplicando mecanismos adecuados para las aguas residuales que drenan hacia el pantanal. Lo cierto es que en las aguas del canal de marea resultaron altas las concentraciones de Coliformes totales (CT).

Así mismo vale observar que se encontró, en los análisis de la calidad del agua un índice de Sulfato por encima de la norma mexicana utilizada de referencia, y esto podría dar lugar bajo ciertas condiciones ambientales y por el material orgánico del suelo a la formación de ácidos hidrolóricos como el Ácido Sulfídrico, si bien estos olores no fueron reportados. Incluso, durante el muestreo del punto UA-2 en el medio manglarítico, el gas SO₂ dio un resultado por debajo de la norma. En conclusión, fuera de estos detalles subrayados, sanitariamente el entorno da muestras de ser una zona sin pestilencias importantes, pero que exige un seguimiento sobre todo respecto a los residuales orgánicos generados por el entorno productivo.

6.8. Antecedentes sobre la vulnerabilidad frente a Amenazas naturales en el área.

A continuación se desarrollan los antecedentes sobre la vulnerabilidad frente a amenazas naturales en el área:

6.8.1 Amenaza sísmica.

Este ítem busca identificar y analizar básicamente, sobre la base de la información disponible, las condiciones y potencialidades sísmicas del área de uso por la operación del proyecto de Puerto Barú.

Para estos fines se identificó en primer lugar y luego se analizó, la información existente de tipo bibliográfico, figurativo y/o cartográfico del aspecto a desarrollar. Posteriormente, también se obtuvo información acerca del conocimiento de la sismicidad en el área de influencia del polígono y su área de influencia. Es necesario acotar que se visitaron instituciones y organismos en Ciudad Panamá con relación a registros y data sísmica del país, y en particular de la Región de Chiriquí.

Para la redacción de la presente referencia se analizó la información especializada recabada, enfatizando de manera concreta la historia sísmica de Panamá en general, y la del área de influencia del Proyecto.

Marco sísmico nacional.

El Istmo de Panamá está situado sobre una Placa tectónica denominada ‘Microplaca de Panamá’, la cual está rodeada por cuatro placas tectónicas mayores: la Placa Caribe al Norte, la Placa de Nazca al Sur, la Placa Sudamericana al Este y la Placa de Coco al Suroeste (Figura 6.56). La mayor parte de sus límites son bordes convergentes, incluyendo una zona de subducción en el Oeste (se denomina subducción al proceso mediante el cual parte de la corteza oceánica, individualizada en una placa litosférica, se sumerge bajo otra placa de carácter continental).

En cuanto a la información analizada, es de destacar en primer término que, en Panamá, las zonas más probables de que ocurra un sismo son las provincias de Chiriquí (área del proyecto), Los Santos, Darién, Bocas del Toro y el Archipiélago de Guna Yala; "pero eso no quiere decir que no pueda ocurrir en otras partes del país", así lo advirtió el 19 de abril del 2016 el Dr. Eduardo Camacho, director del Instituto Nacional de Geociencias (IGC).

Figura 6.56. Placas tectónicas de Panamá



Como antecedente es de recordar que, en el año 1882 en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá, que se extiende a lo largo de la Costa Caribe del país, ocurrió el sismo más fuerte de todo Panamá frente a las costas de Guna Yala, originado según el IGC por la convergencia entre la Placa del Caribe y la Microplaca del Caribe (subducción), que causó un tsunami y murieron 75 personas en el archipiélago Guna.

Situación sísmica local.

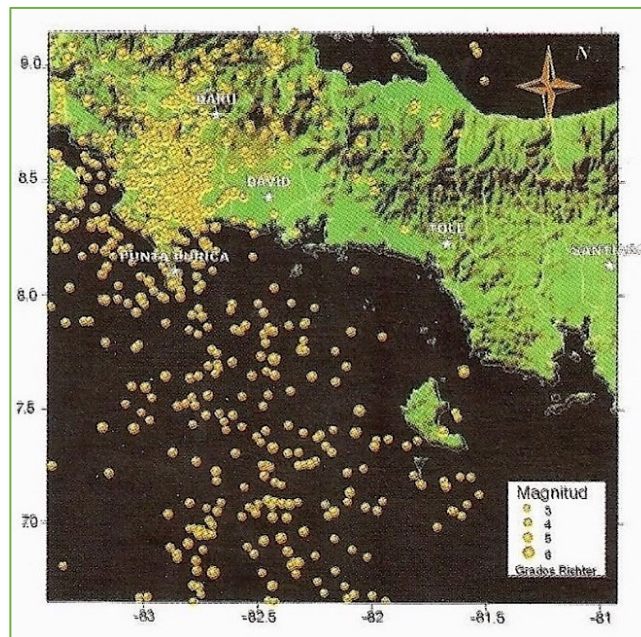
La mayor parte de la sismicidad en el Occidente en Chiriquí (Figura 6.57), se observa a lo largo del eje de la Zona de Fractura de Panamá, en la Península de Burica y alrededores (Wolters, 1986; Vergara, 1988; Adamek et al., 1988, Cowan et al., 1995). En la porción Norte de la Zona, en la península de Burica y alrededores la sismicidad es somera y en su mayor parte presenta un carácter lateral derecho.

La sismicidad en la corteza y más profunda decrece rápidamente al Este del Río Chiriquí. El decrecimiento de la sismicidad en dirección Este ha sido interpretado por Cowan et al., (1995) como un reflejo del cambio de estructura cortical, que posiblemente está relacionado con la geometría de la Placa de Nazca que está subducida. Esta región ha sido sacudida en tiempos históricos por sismo fuertes.

El primer estudio detallado que se ha hecho de mecanismos focales en el Occidente de Chiriquí fue realizado por Cowan et al. (1995). En este estudio se encontró que las fallas en las tierras bajas de Chiriquí son principalmente de cabalgamiento, mientras que la deformación en el Golfo de Chiriquí es del tipo normal. Durante este estudio no se observó sismicidad alrededor de la Península de Burica, por lo cual no aparecen mecanismos de esta zona.

En la Figura 1.3, se reporta la información de los Sismos con magnitudes mayores a 4,0 registrados en Chiriquí, Suroccidente de Panamá (1995-2000), donde se observa como la mayoría de la sismicidad está relacionada con la Zona de Fractura de Panamá, área de Influencia del Proyecto.

Figura 6.57. Sismos con magnitudes mayores a 4,0 registrados en Chiriquí (1995-2000).



Fuente: Tecnociencias 2003 Vol 5 No 2

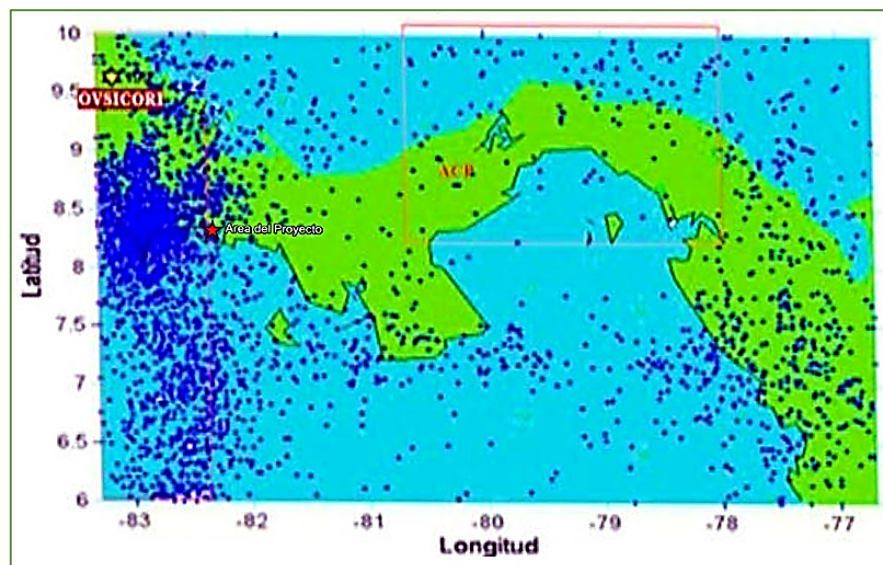
Por otro lado, como parte de la revisión realizada del trabajo científico “No extensividad en catálogos sísmicos de Panamá”, de la Revista Científica **Nova Scientia vol.7 no.13 León abr. 2015**, en el mapa que se muestra en la Figura 6.58, se presenta el procesamiento de un catálogo sísmico actualizado hasta diciembre de 2007, que contiene casi toda la sismicidad reportada y/o registrada para el Istmo de Panamá desde 1904, con magnitud mayor a 3,8, homogenizadas a

EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

magnitud Momento Mw. Dicho catálogo consta de 3.615 sismos, y fue confeccionado a partir de varios de los catálogos mundiales y nacionales de los países de América Central. Este catálogo fue elaborado por Wilfredo Rojas para el proyecto RESIS II de evaluación del peligro sísmico regional (Benito et al. (2008)), y fue proporcionado por el Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá.

En la misma Figura 6.58 se muestra la actividad sísmica de la región. Las zonas delimitadas por líneas rojas indican únicamente las áreas de estudio. Para realizarlo se utilizaron tres catálogos completamente diferentes, proporcionados por tres agencias independientes. En ningún momento se mezclaron para crear un nuevo catálogo. La localización epicentral de los sismos reportados en esos catálogos y utilizados en este estudio no se muestra en dicha figura. La estrella amarilla señalada en el extremo superior izquierdo, indica la posición epicentral del mayor sismo registrado para Panamá, con una magnitud mayor y extrema de 7,7 para el año 1991.

Figura 6.58. Localización epicentral de la sismicidad ocurrida en el Istmo de Panamá desde 1904 a 2007 con Mw 3,8 y las ventanas de sismicidad independientes analizadas, tanto del OVSICORI 1984 a 2010 (al occidente), como de la ACP 2005 a 2010 (centro del Istmo).



Fuente: Nova Scientia vol.7 no.13 León abr. 2015

EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

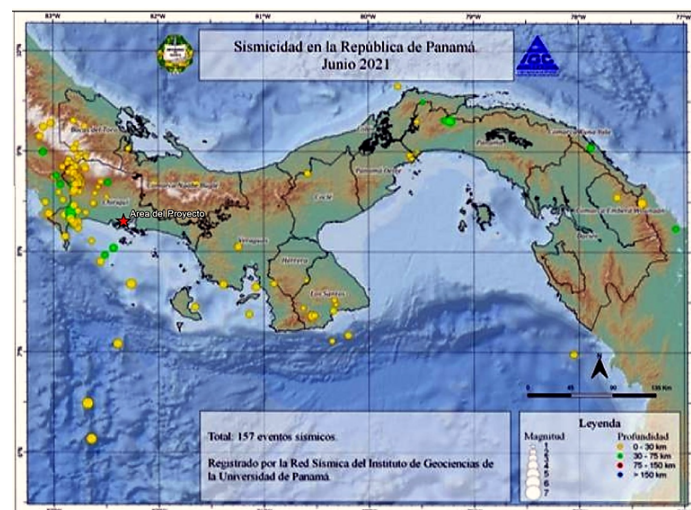
De igual manera considerando otra fuente formal, en particular la red Sísmica del Instituto de Geociencias de Panamá, de su página web www.panamaigc-up.com/sismos, se muestran en las Figuras 5.62 y 5.63 a continuación, los eventos sísmicos para los meses de enero del 2021, y junio también del 2021, con 124 y 157 acontecimientos respectivamente, los cuales superan como evento ampliamente al resto del país, y refleja lo que sucede en el tiempo y en el espacio al respecto.

Figura 6.59. Sismicidad para el mes de enero 2021 en Panamá



Fuente: **Error! Hyperlink reference not valid.**

Figura 6.60. Sismicidad para el mes de junio 2021 en Panamá



Fuente: **Error! Hyperlink reference not valid.**

Es de resaltar que recientemente, el miércoles 21 de julio 2021 Panamá tuvo un sismo de magnitud 7 en la escala abierta de Richter, con epicentro en el Océano Pacífico, que causó alarma en poblaciones del Oeste y centro del país, pero sin reporte de heridos o de daños considerables. El movimiento telúrico se registró a las 16:15 hora local con epicentro en un sector del Pacífico a una profundidad de 11 kilómetros, informó el Instituto de Geociencias de la Universidad (IGC) de Panamá en un reporte oficial revisado. El IGC señaló también en su cuenta de Twitter que, “después de registrarse este evento sísmico, no hubo ninguna alerta de Tsunami para Panamá.

Por último, el Mapa de Amenaza Sísmica para la República de Panamá elaborado por el Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá, indica que el sector donde se ubica el Proyecto se caracteriza por una aceleración sísmica alrededor de los $5,2 \text{ m/s}^2$, en una escala total que llega hasta $6,2 \text{ m/s}^2$. Esto representa 0,53 g que puede implicar potenciales daños de nivel moderado fuerte.

- **Conclusiones.**

En relación con el tectonismo: El Istmo está situado sobre una Placa tectónica denominada ‘Micro placa de Panamá’, la cual está rodeada por cuatro placas tectónicas mayores: la Placa Sudamericana al Este, la Placa Caribe al Norte, la Placa de Nazca al Sur, y la Placa de Coco al Suroeste, coincidiendo estas tres últimas en el extremo Sur de la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá, que se encuentran en dicho punto triple difuso, el cual se ha sugerido que está ubicado bajo la Península de Burica o al Sur de ella, en la intersección de la zona de subducción de Centroamérica y la Zona de Fractura de Panamá.

En relación con el sistema de Fallas: Las Zonas de Fallas localizadas en el área de estudio, tales como la Zona de Falla Media de Burica, Zona de Falla de Canoas, Fallas de la Región de Progreso, Zona de Fractura de Panamá, Zona de Falla Boca Chica, y la Zona de Falla Las Paridas, tienden a ser predominantemente activas.

En cuanto a las amenazas sísmicas:

- Las tendencias dadas de acuerdo con el análisis de la información existente apuntan a que, las condiciones y potencialidad sísmica en Panamá, se orientan principalmente hacia la parte Sur occidental, coincidentemente área de influencia del Proyecto. No obstante, tal como se indicó, el resto del país no está exento de que ocurran movimientos sísmicos de intensidad variable.
- Las probabilidades e intensidades de actividad sísmica en el área de influencia del Proyecto se pueden considerar altas, de acuerdo con la información analizada de diferentes autoridades.

Sobre el tema en general, se sugiere tomar en cuenta el Informe Geológico a los fines de realizar la Ingeniería del Proyecto, en relación en primer término, con la consideración de los materiales/rocas que se ubican en el polígono, así como incluir en dicho análisis de ingeniería, para el diseño de la infraestructura a realizar, los elementos y/o medidas atinentes a la presencia de Fallas activas que se ubican relativamente cerca del área de influencia del polígono del Puerto, lo cual garantizara la integridad física de las obras propuestas a través del tiempo.

6.8.2 Fenómenos climáticos nuevos.

El cambio climático es actualmente la mayor amenaza que enfrenta el mundo, y se manifiesta especialmente en un aumento de la temperatura promedio del planeta, directamente vinculado con el aumento de la concentración de gases invernadero en la atmósfera, producto de la actividad humana.

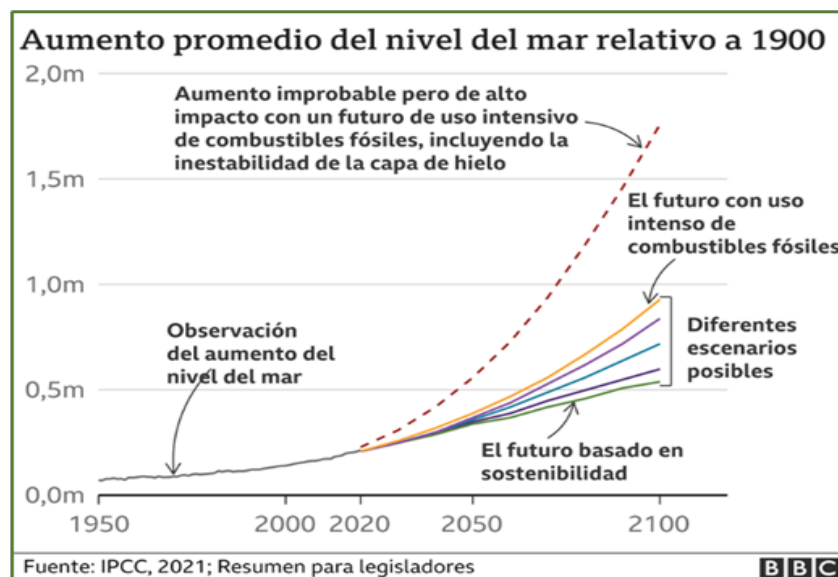
En Panamá, los efectos estimados son esencialmente: (a) Aumento de las temperaturas ambientales promedio; (b) modificación significativa de patrones climáticos, como el régimen de lluvias por ejemplo; (c) elevación del nivel del mar con afectación de las zonas marino-costeras; (d) incremento de enfermedades transmitidas por vectores o relacionadas a causas hídricas; (e) pérdida de productividad agrícola por sequías e inundaciones; (f) creciente vulnerabilidad de los ecosistemas y las poblaciones humanas a los desastres naturales y eventos climáticos extremos.

El país es firmante del “Protocolo de Kyoto” surgido de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, acordado el 11 de diciembre de 1997. En lo que toca al área del puerto, el factor más importante de afectación es el marino-costero. Es conocido que en los últimos 100 años el nivel medio del mar se ha elevado a escala planetaria, a un ritmo de 1 – 2

mm/año, lo que conduce a un aumento de 10 veces más lo observado en los últimos 3.000 años; y esto está relacionado, con mucha seguridad, con el aumento de $0,6 \pm 0,2$ °C de la temperatura media mundial.

Para el año 2100 los modelos proyectan que los niveles del mar se elevarán entre 0,09 m y 0,88 m por la expansión térmica del agua oceánica y por la afluencia de agua dulce de glaciares y hielos en proceso de fusión, cuestión que se había incorporado antes muy conservadoramente. Sin embargo, esto no se produce de forma homogénea a lo largo de las líneas de costas, por motivos que ahora no vale enumerar. Pero es un hecho que Panamá está dentro de las regiones de afectación, diferenciándose siempre la sensibilidad de sus atributos ambientales de acuerdo con las condiciones físicas geográficas del territorio.

Figura 6.61. Aumento promedio del nivel del mar relativo a 1900.



Fuente: IPCC, 2021; Resumen para legisladores.

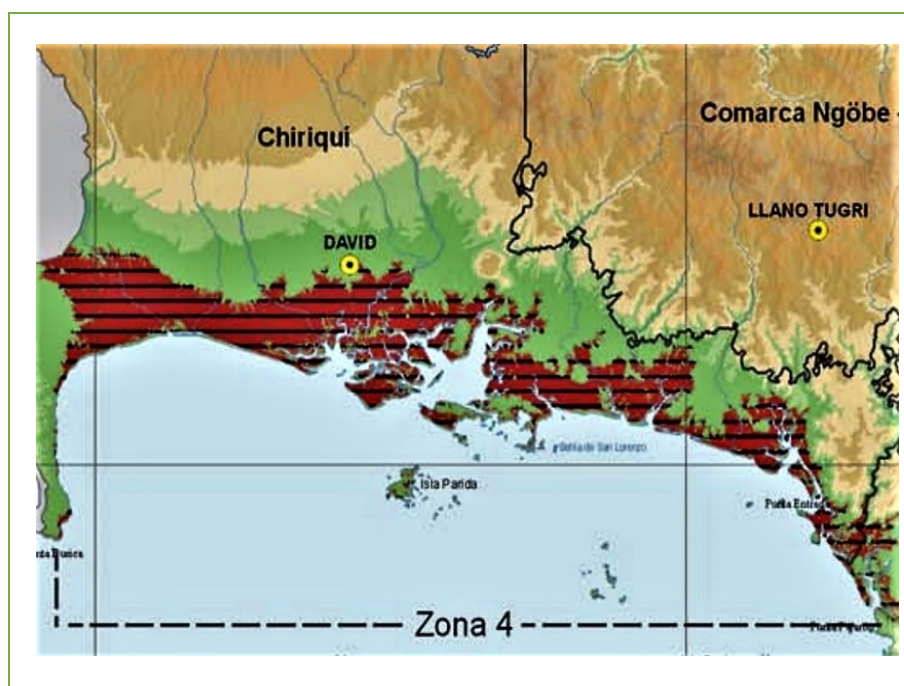
Panamá tiene en el Pacífico 1.700,6 km de costas y todas son altamente vulnerables por sus características físicas naturales, así como por la actividad humana que en ellas concurren. Los registros, por ejemplo, en las costas del Caribe ya han arrojado para el periodo 1909 – 1984 una tasa de crecimiento del nivel del mar, de 1,3 mm/año (Cubit, 1985). Esto ha acelerado estudios sobre las vulnerabilidades costeras por efectos del Cambio Climático, identificándose un total de

EsIA, Cat. III, denominado “Proyecto Puerto Barú”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

ocho zonas de exposición, entre ellas la Zona 4, donde se sitúa el proyecto, calificada como de las más sensibles (Figura 6.62).

La principal amenaza identificada por la variación del nivel del mar es sin dudas, la ocurrencia de inundaciones de áreas continentales costeras junto con el consiguiente desplazamiento de los humedales y la línea costera de las costas bajas.

Figura 6.62. En rojo áreas de impacto por cambio climático de la zona 4



Fuente: Atlas Ambiental de Panamá, 2010.

Sin embargo, respecto al proyecto portuario, especial atención se les presta a los efectos como la erosión de los taludes costeros, la alteración de la amplitud de la marea en ríos y bahías, el aumento de la salinidad en el estuario, la alteración de los patrones de sedimentación y el incremento de las inundaciones por tormentas. Justamente la erosión regresiva del talud actual de la línea frontal del terreno portuario, por causa de la dinámica del río Nuevo Chiriquí, puede incrementarse debido, por ejemplo, a la alteración de la amplitud de la marea y la vulnerabilidad debida a la condición plástica del suelo.

6.8.3. Incendios forestales.

Un incendio forestal es el fuego que se extiende sin control en terreno forestal o silvestre, y se distingue de otros incendios por su amplia extensión, la velocidad con la que se puede extender desde el lugar de origen, su potencial para cambiar inesperadamente de dirección y para superar obstáculos como carreteras, ríos y cortafuegos. Entre los contextos-causas más inmediatos está generalmente la existencia de grandes masas de vegetación, en concurrencia con periodos prolongados de sequías.

El fenómeno se produce por una conjunción de factores que son necesarios conocer. El calor solar provoca la deshidratación en las plantas, que recobran el agua perdida del sustrato; y cuando su humedad descende a niveles inferiores al 30%, siendo entonces incapaces de obtener el agua del suelo se secan poco a poco. Esta condición provoca la emisión a la atmósfera de etileno, compuesto químico conocido por ser altamente combustible, y así, la planta y el aire se vuelven un medio inflamable. Es decir que con altas temperaturas y vientos de moderados a fuertes (es el caso del área de estudio), la probabilidad de que una mínima chispa provoque un incendio es significativa.

En la producción de la chispa hay causas humanas intencionales y no. Muchas veces, como es práctica en los campos rurales, se producen por quemas agrícolas, quemas para la regeneración de pastos de ganados, aunque también por usos cinegéticos o para espantar ciertos animales considerados peligrosos.

Hay varios tipos de incendios forestales. En el caso de las tierras que concurren en el perímetro y alrededores el terreno, está visto que las explanadas de los glaciares litorales son intensamente utilizadas en la explotación pecuaria ganadera y agrícola (Figura 6.63). Allí los incendios del suelo, por la poca materia orgánica en descomposición tienen reducida cabida para el llamado “fuego de suelo” o de subsuelo. Pero los rastros de sucesivos incendios sí hablan del llamado “fuego de superficie” y del “fuego de copas pasivo”, sobre todo por el tipo de especies que colonizan dichas tierras, primero altamente intervenidas y luego abandonadas.

Figura 6.63. Rastros de incendio en terreno del proyecto.





Por lo regular estos incendios han estado circunscritos a las zonas de explotación (usadas en algún momento por la actividad agraria), cubiertas hoy por herbáceas de matorrales o por especies arbustivas que prosperan durante el periodo de lluvias y secan durante el periodo seco. El hecho relevante es que el rodeo de manglares hace en el contexto, las veces de un perfecto cerco de cortafuegos, insuperable, que ha controlado hasta la fecha la extensión de los incendios. Desde este punto de vista, estos eventos pueden calificarse de “incendios normales” en la tipificación por tamaños. Sin embargo, es importante tomar nota de que tanto la zona del polígono del proyecto portuario como sus alrededores, reúnen todas las condiciones para la generación de incendios lo cual implica tomar las medidas adecuadas en materia de seguridad.

6.9 Identificación de los sitios propensos a inundaciones.

Las inundaciones de los terrenos del proyecto están condicionadas principalmente por las crecidas del difluente Nuevo Chiriquí y por las mareas con su ingresos y egresos del área estuarina. Ya sido establecido que las corrientes dentro del estuario están determinadas particularmente por esta dinámica mareal.

Desde este punto de vista, tomando en cuenta que el proyecto no establece en ninguna de sus partes diques, represas, muelles transversales, o alguna otra instalación que pueda estorbar los flujos hídricos, en este análisis fueron tomados en consideración tres elementos centrales: los cálculos hidrológicos realizados sobre las crecidas máximas instantáneas, las alteraciones del nivel del mar por efecto del Cambio Climático y finalmente el modelo hidráulico HEC-RAS, con su poder gráfico al usuario (GUI).

De ese último se puede señalar que, su objetivo, ha sido de calcular las elevaciones de la superficie del agua en todas las localizaciones de interés para los valores dados de flujo. Sus requisitos de datos incluyen el régimen del flujo, la elevación, la descarga, los coeficientes de pérdida, la geometría de las secciones transversales y la separación entre las secciones adyacentes (*ver Anexo 15*).

En cuanto al nivel del mar por causa del Cambio Climático, es conocido que uno de los factores ambientales afectados son las líneas de costas, entre las cuales se ha convenido que las bajas costas chiricanas serán impactadas. En el caso que nos ocupa y de acuerdo con información de instituciones científicas se consideró un incremento de 0,30 m del nivel medio actual del mar, al momento de establecer las condiciones de fronteras para la modelación hidráulica.

Con estos elementos en mano, se procedió a realizar el levantamiento topográfico en ambas riberas del río en una extensión lineal aproximada de 420 m (ver Figura 6.32, acápite 8.2 de Hidrología) donde el cauce muestra una pendiente suave $s = 0,000406$ m/m. Se integraron también los datos batimétricos del segmento a la topografía, permitiendo obtener las secciones transversales necesarias para operar la simulación.

Al cauce principal de la corriente natural se le asignó un Coeficiente de Manning de 0,025, y el mismo se incrementó hasta un valor de 0,035 para ambas riberas (banco izquierdo y banco derecho), considerando la presencia de vegetación, la cual incrementa la resistencia al flujo. Las simulaciones se realizaron entonces con los caudales de diseño que corresponden a los periodos de retorno (T) de 50 y 100 años respectivamente.

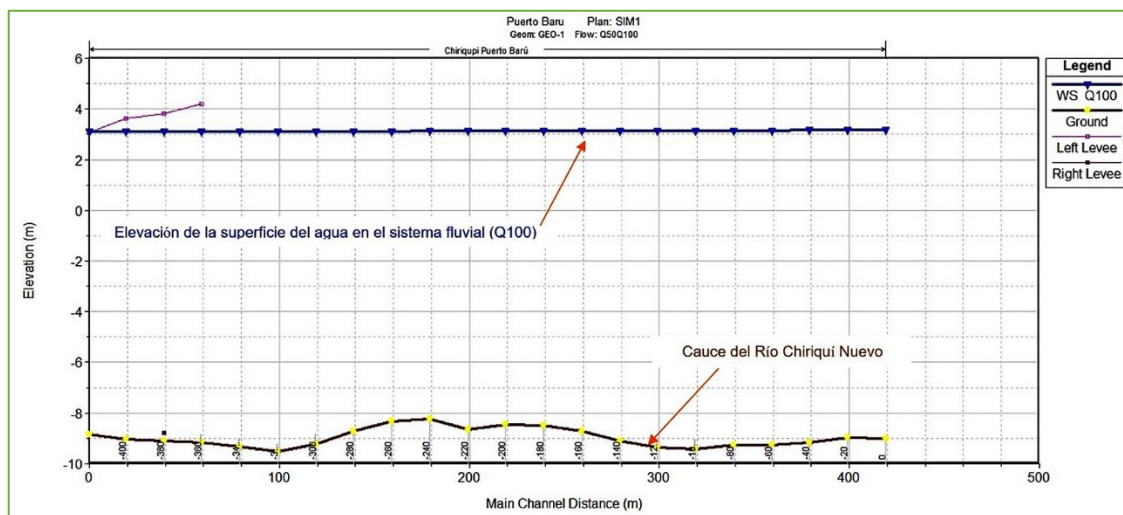
En relación con el cuadro de mareas su análisis permitió establecer que, en la condición de frontera para el modelo, el nivel de agua es de 3,1 m bajo la medida del Nivel Medio de Mareas Altas de Sicigias (Cuadro 6.75); esto sin asumir la alteración estimada por el Cambio Climático.

Cuadro 6.75. Nivel medio de mareas altas.

| Estación de marea | Latitud | Longitud | Nivel Medio de mareas Altas de Cuadratura (m) (MHWN) | Nivel Medio de mareas Altas de Sicigias (m) (MHWS) | Nivel medio del mar (m) | Diferencias | | | |
|--------------------|---------|----------|--|--|-------------------------|----------------|-------|-----------|-------|
| | | | | | | Tiempo (HH:MM) | | Altura(m) | |
| | | | | | | HWL | LWL | HWL | LWL |
| Balboa | 08°57' | 079°34' | 3,84 | 4,99 | 2,6 | 0:00 | 0:00 | 0,0 | 0,0 |
| Isla Parida | 08°08' | 082°19' | 2,4 | 3,1 | 1,5 | 0:00 | -0:09 | *0,63 | *0,47 |

La simulación, como es de esperarse, tomó los datos extremos. Así, aunque se simularon los dos caudales de diseño, el modelo HEC-RAS trabajó con los niveles del agua correspondientes al periodo de retorno de 100 años a lo largo del tramo analizado (Gráfica 6.37).

Gráfica 6.37. Elevación de la superficie del agua del sistema fluvial.



Como puede observarse, las aguas se desbordan del lado derecho del cauce, donde se encuentran los manglares. Sin embargo, del lado izquierdo donde se desarrollará el proyecto la diferencia entre las elevaciones del terreno y el nivel del agua 0 varían desde 5,72 m en la estación 0km+000m (aguas arriba) a 2,00 m en la estación 0km+300m, representando el máximo aumento de la crecida 3,17 m. En las Figura 6.64 se muestran las estaciones 0km+000m y 0km+300m. En la estación 0km+400 m (Figura 6.65) se observa una depresión en el terreno que corresponde a una zona de manglares.

Otra simulación se realizó considerando el incremento de 0,30 m al nivel medio del mar. Los resultados mostraron que prácticamente solo hay que añadir esos 0,30 m a cada uno de los niveles del agua de la simulación original. De esta manera, por ejemplo, la diferencia de elevación entre el terreno y el nivel del agua en la estación 0km+000m será de 5,42 m en vez de los 5,72 m.

Figura 6.64. Elevación del nivel de agua desde 0km+000m a 0km+060m

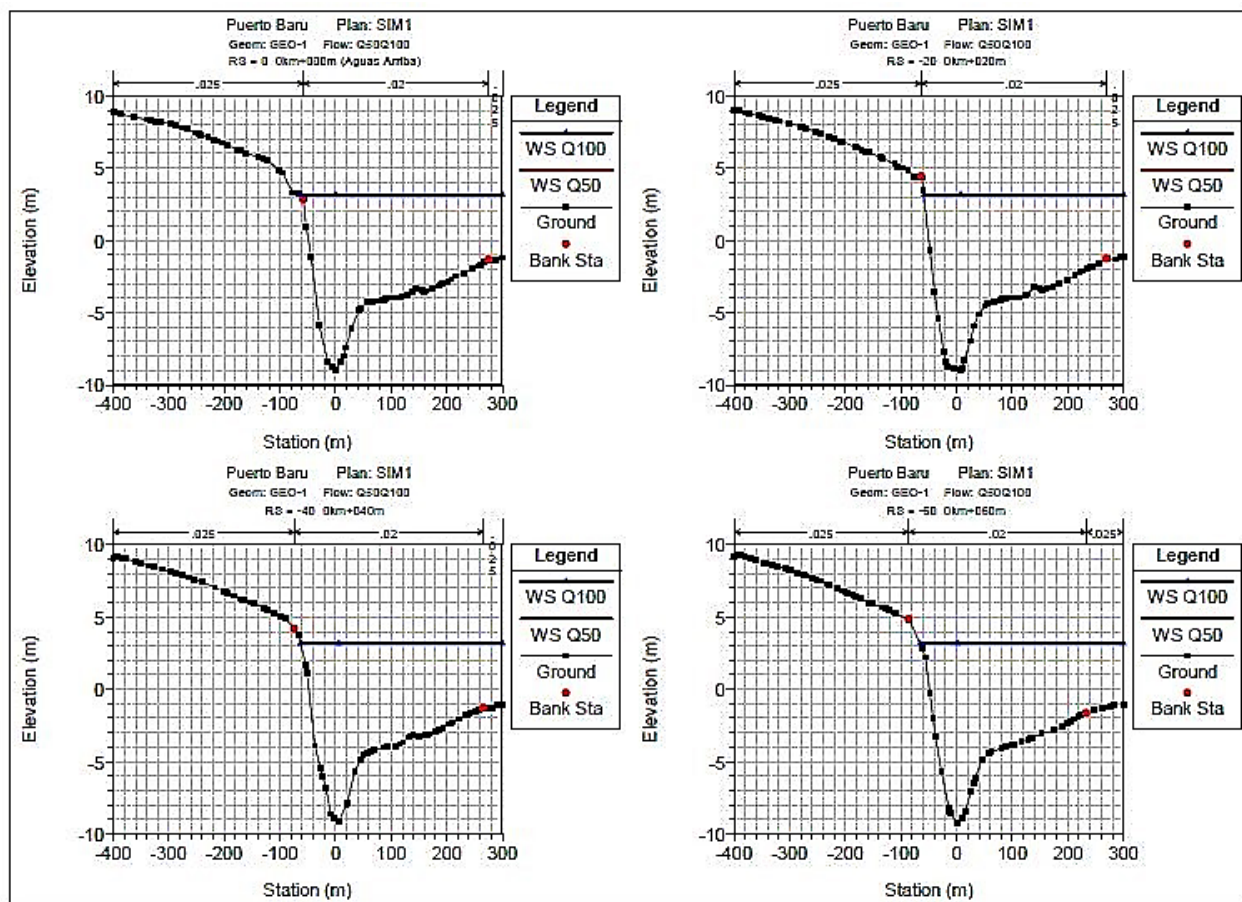
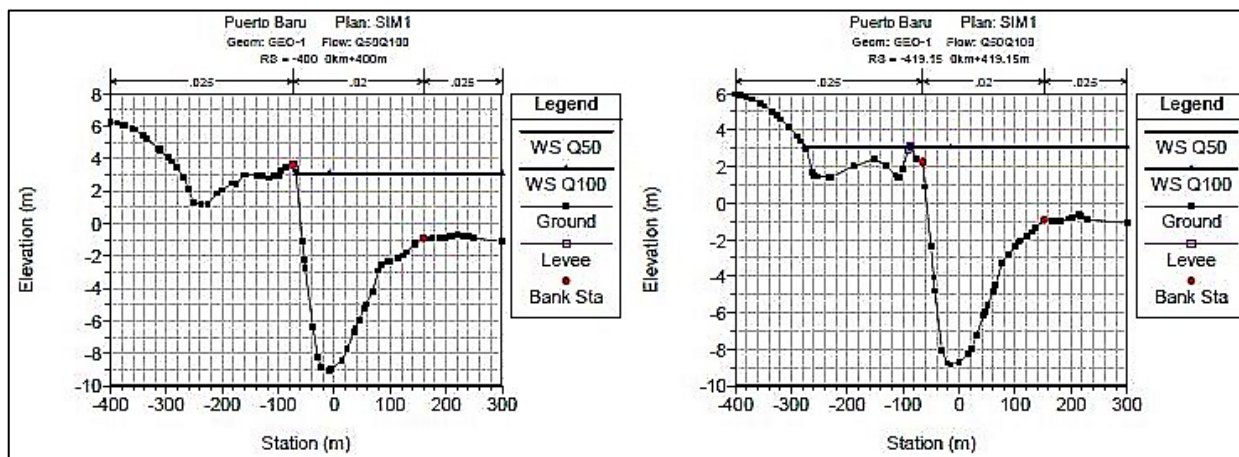


Figura 6.65. Elevación del nivel de agua en la estación 0km+400 m y 0km+420m



EsIA, Cat. III, denominado “**Proyecto Puerto Barú**”, ubicado en el distrito de David, provincia de Chiriquí.

En conclusión, la simulación hidráulica con el modelo HEC-RAS demuestra que los niveles de terracería del área de terreno, donde se propone desarrollar el puerto es seguro aún bajo la condición del Nivel Medio de Mareas Altas de Sicigias (MHWS), de 3,10 m e incluso del incremento de 0,30 m por efecto del cambio climático en los próximos 100 años (Cuadro 6.76).

Cuadro 6.76. Niveles por estación de la creciente, por encima del nivel 0 (MHWS)

| HEC-RAS Plan: SIM_1 River: Chiriquí Reach: Puerto Barú Profile: Q100 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|---------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl | Sta W.S. Lft | Sta W.S. Rgt |
| | | | (m ³ /s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m ²) | (m) | | (m) | (m) |
| Puerto Barú | 0 | Q100 | 3608.00 | -9.00 | 3.17 | | 3.28 | 0.000064 | 1.48 | 2487.48 | 364.33 | 0.18 | -64.33 | 300.00 |
| Puerto Barú | -20 | Q100 | 3608.00 | -8.97 | 3.17 | | 3.28 | 0.000064 | 1.48 | 2500.15 | 358.97 | 0.18 | -58.97 | 300.00 |
| Puerto Barú | -40 | Q100 | 3608.00 | -9.15 | 3.16 | | 3.28 | 0.000070 | 1.52 | 2439.32 | 362.71 | 0.18 | -62.71 | 300.00 |
| Puerto Barú | -60 | Q100 | 3608.00 | -9.27 | 3.16 | | 3.27 | 0.000072 | 1.57 | 2434.95 | 365.66 | 0.19 | -65.66 | 300.00 |
| Puerto Barú | -80 | Q100 | 3608.00 | -9.26 | 3.15 | | 3.27 | 0.000070 | 1.57 | 2435.03 | 359.66 | 0.19 | -59.66 | 300.00 |
| Puerto Barú | -100 | Q100 | 3608.00 | -9.41 | 3.16 | | 3.27 | 0.000068 | 1.51 | 2448.18 | 359.81 | 0.18 | -59.81 | 300.00 |
| Puerto Barú | -120 | Q100 | 3608.00 | -9.36 | 3.15 | | 3.27 | 0.000069 | 1.52 | 2451.35 | 363.86 | 0.18 | -63.86 | 300.00 |
| Puerto Barú | -140 | Q100 | 3608.00 | -9.11 | 3.15 | | 3.27 | 0.000071 | 1.53 | 2439.77 | 367.66 | 0.19 | -67.66 | 300.00 |
| Puerto Barú | -160 | Q100 | 3608.00 | -8.73 | 3.15 | | 3.26 | 0.000073 | 1.55 | 2410.91 | 364.84 | 0.19 | -64.84 | 300.00 |
| Puerto Barú | -180 | Q100 | 3608.00 | -8.48 | 3.14 | | 3.26 | 0.000076 | 1.54 | 2400.39 | 371.39 | 0.19 | -71.39 | 300.00 |
| Puerto Barú | -200 | Q100 | 3608.00 | -8.46 | 3.14 | | 3.26 | 0.000078 | 1.59 | 2364.95 | 365.17 | 0.19 | -65.17 | 300.00 |
| Puerto Barú | -220 | Q100 | 3608.00 | -8.64 | 3.14 | | 3.26 | 0.000078 | 1.58 | 2368.33 | 367.10 | 0.19 | -67.10 | 300.00 |
| Puerto Barú | -240 | Q100 | 3608.00 | -8.24 | 3.13 | | 3.26 | 0.000080 | 1.58 | 2343.45 | 366.26 | 0.20 | -66.26 | 300.00 |
| Puerto Barú | -260 | Q100 | 3608.00 | -8.32 | 3.12 | | 3.26 | 0.000087 | 1.62 | 2280.54 | 361.60 | 0.20 | -64.63 | 296.97 |
| Puerto Barú | -280 | Q100 | 3608.00 | -8.73 | 3.12 | | 3.25 | 0.000084 | 1.67 | 2298.84 | 361.90 | 0.20 | -63.88 | 298.02 |
| Puerto Barú | -300 | Q100 | 3608.00 | -9.22 | 3.12 | | 3.25 | 0.000082 | 1.67 | 2318.99 | 365.99 | 0.20 | -65.99 | 300.00 |
| Puerto Barú | -320 | Q100 | 3608.00 | -9.52 | 3.12 | | 3.25 | 0.000082 | 1.65 | 2326.93 | 366.02 | 0.20 | -66.02 | 300.00 |
| Puerto Barú | -340 | Q100 | 3608.00 | -9.33 | 3.11 | | 3.25 | 0.000084 | 1.70 | 2313.82 | 370.84 | 0.20 | -70.84 | 300.00 |
| Puerto Barú | -360 | Q100 | 3608.00 | -9.17 | 3.11 | -2.20 | 3.25 | 0.000083 | 1.71 | 2310.19 | 365.54 | 0.20 | -65.54 | 300.00 |
| Puerto Barú | -380 | Q100 | 3608.00 | -9.11 | 3.11 | -2.28 | 3.24 | 0.000086 | 1.72 | 2305.02 | 367.80 | 0.20 | -67.80 | 300.00 |
| Puerto Barú | -400 | Q100 | 3608.00 | -9.03 | 3.10 | -2.30 | 3.24 | 0.000085 | 1.78 | 2303.34 | 367.92 | 0.21 | -67.92 | 300.00 |
| Puerto Barú | -419.15 | Q100 | 3608.00 | -8.83 | 3.10 | -2.30 | 3.24 | 0.000081 | 1.76 | 2517.04 | 576.29 | 0.20 | -276.29 | 300.00 |

6.10. Identificación de los sitios propensos a erosión y deslizamientos

Esta amenaza tiene especial relación con la topografía del terreno, el tipo de suelos y usos del suelo ante condicionantes de clima, red hídrica, etc. El hecho es que, tal como lo consigna el tema de suelo del presente estudio, el espacio de la huella del proyecto cuenta con una topografía de terreno plana a suavemente ondulada, con pendientes superficiales que oscilan entre 0% y 8%, aunque vale reconocer que el área de influencia directa, en general, tiene a su vez relieves de ondulados a ligeramente escarpados. Conviene agregar igualmente que el polígono portuario ha sido duramente antropizado durante su historia por los usos agropecuarios, y hoy día mantiene solo una gramínea arbustiva con parches boscosos mixtos secundarios en superficie, que no han sido su mejor protección; sus alrededores sí, como es conocido cobijan manglares y canales mareales.

Si bien las conclusiones sobre el suelo estiman de importancia las limitaciones por topografía y erosión, la cierto es que, las zonas de costa que bordean el terreno frente al río Chiriquí Nuevo son las que mayor atención retienen. Se advierte que se está dando un problema de erosión regresiva singular, generando un talud progresivo que exige implementar medidas de contención y protección.

Vale recordar que este tramo incorpora geoformas de glaciares y suelos Ultisoles, en choque con la hidrodinámica de mareas y caudales del río Chiriquí Nuevo, resultando una socavación paulatina y permanente por desprendimientos de pequeños bloques de tierra, consecuencia de la transferencia de energía cinética de los flujos de agua, lo cual ocurre regularmente en las zonas cóncavas de los meandros fluviales. Al respecto cabe agregar que este fenómeno tiene casos similares en otras zonas de meandros del canal, donde existen procesos de erosión progradación locales en sus márgenes cóncavos y convexas, como parte de los movimientos de equilibrio morfogenético que ocurren en las áreas de bajas pendientes.