

UNIVERSIDAD NACIONAL, COSTA RICA
SEDE REGIONAL CHOROTEGA
CAMPUS LIBERIA

**“EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DE ARENA EN LA
PARTE MEDIA Y BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE,
COSTA RICA PARA LA GENERACIÓN DE INFORMACIÓN BASE QUE
SIRVA DE INSUMO PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL DECRETO
EJECUTIVO 22813-MINAE.”**

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA HIDROLÓGICA

SUSTENTANTE:

LUIS ALEJANDRO BARBOZA VIALES
5-0422-0501

EQUIPO ASESOR:

DR. ANDREA SUAREZ SERRANO
HIDROCEC-UNA
M.SC JOHANNA ROJAS CONEJO
HIDROCEC-UNA

LIBERIA, GUANACASTE, COSTA RICA
ENERO, 2023

Integrantes Tribunal Examinador

Dra. Andrea Suárez Serrano

Tutora

Dr. José Rodrigo Rojas Morales

Lector

Ing. Julio Cortez Chavarría

Lector

M.Sc. Marlene Durán López

Directora académica, *Campus Liberia*

M.Sc. Medardo Moscoso Vidal

Representante de Decanatura, *Campus Liberia*

Agradecimientos

Primeramente, gracias a Dios por mantenerme con salud a pesar de las circunstancias sanitarias vividas.

Gracias a la Universidad Nacional por abrirme las puertas y permitirme tener experiencias inolvidables a lo largo de mi carrera como profesional.

A cada académico de esta destacada institución principalmente al personal de HIDROCEC en especial a Andrea Suarez, Johanna Rojas y Christian Golcher por darme la oportunidad de ser participe en importantes investigaciones de laboratorio y campo.

A mis compañeros Daniel Rodríguez, Christian Osegueda, Paula Vargas y Katherine Brizuela que se volvieron grandes amigos, los cuales fueron grandes guías para este proceso,

A mis padres por ser promotores de mi desarrollo y creer en mi bajo cualquier adversidad.

A mi novia por acompañarme en todo momento durante este proceso y siempre motivarme a salir adelante.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado especialmente a mis padres y a todos mis seres queridos por acompañarme en todo momento durante este proceso, principalmente mi novia por su apoyo incondicional, a mi primo Corne y a mis amigos.

Resumen

Las actividades de extracción de materiales, como arena y grava en depósitos o lechos ribereños, generan problemáticas especiales debido a la zona donde se práctica, cuenca del Río Tempisque y por la magnitud desmedida con la que se llevan a cabo dichas actividades extractivas. La vulnerabilidad ambiental, en conjunto con la poca legislación actual, hace que este tema sea una preocupación local debido a la irracionalidad con que se está explotando las zonas de extracción. Ante esto, se desarrolla una evaluación sobre las condiciones actuales de las zonas extractivas de materiales y su potencial para generar información base para que sirva como fundamentos técnicos para futuros estudios geomorfológicos de interés científico y político.

Palabras claves: Costa Rica, Río Tempisque, cuenca, extracción de arena, monitoreos, legislación, zonificaciones.

Abstract

The extraction of materials, such as sand and gravel in deposits or river beds, generates special problems due to the area where it is practiced, the Tempisque River basin, and the excessive magnitude with which these extractive activities are carried out. Environmental vulnerability, together with the lack of current legislation, makes this issue a local concern due to the irrational way in which extraction zones are being exploited. In view of this, an evaluation of the current conditions of the extractive zones and their potential to generate basic information to serve as technical foundations for future geomorphological studies of scientific and political interest is developed.

Key words: Costa Rica, Tempisque River Basin, watershed, sand mining, legal frame, legislation, zoning

Tabla de contenido

INTEGRANTES TRIBUNAL EXAMINADOR.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	4
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	12
ALCANCES.....	13
LIMITACIONES.....	13
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	13
2.1 INTRODUCCIÓN.....	13
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
2.2.1 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.....	16
2.3 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.....	17
2.4 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES.....	19
2.5 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	20
2.6 ANTECEDENTES NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE LA EXTRACCIÓN DE MATERIALES.....	20
2.6.1. <i>Antecedentes internacionales</i>	20
2.6.2 <i>Antecedentes nacionales</i>	21
2.7 CONCLUSIÓN.....	21
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	22
3.1 INTRODUCCIÓN.....	23
3.2 CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	23
3.3 EROSIÓN.....	23
3.4 SEDIMENTOS.....	24
3.5 EXTRACCIÓN DE MATERIALES.....	25
3.5.1 EXTRACCIÓN MECANIZADA.....	25
3.5.2 EXTRACCIÓN NATURAL.....	26
3.6 HIDROLOGÍA.....	26
3.7 HIDROMETRÍA.....	27
3.8 BATIMETRÍA.....	27
3.9 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. ÍDEM.....	27
3.10 CONCLUSIÓN.....	27
CAPÍTULO IV. ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD.....	28

4.1 INTRODUCCIÓN	29
4.2 ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD	29
4.2 ESTUDIO TÉCNICO-FINANCIERO.....	29
4.3 ESTUDIO LEGAL	30
4.4 ESTUDIO AMBIENTAL	32
4.5 CONCLUSIÓN.....	32
CAPÍTULO V. METODOLOGÍA.....	32
5.1 INTRODUCCIÓN.	33
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.	33
5.3 MÉTODOS Y HERRAMIENTAS.....	33
5.3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BASE.....	34
5.3.3 GIRA DE CAMPO.	35
5.3.4 MUESTREOS IN SITU.	35
5.3.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.	37
5.3.6 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.	37
5.3.6.1 GENERACIÓN DE RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	37
5.3.7 CONCLUSIONES.	38
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES	39
6.1 INTRODUCCIÓN	39
6.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL OTORGAMIENTO DE CONCESIONES	39
6.2.1 INCONGRUENCIAS EN EL PROCESO DE OTORGAMIENTO DE CONCESIONES PARA LA EXPLOTACIÓN MINERA NO METÁLICA.	39
6.2.2 SOBRE EL MERCADO DE AGREGADOS PARA CONSTRUCCIÓN.....	40
6.2.2.3 ESTUDIO DEL MERCADO	41
6.2.3 SOBRE VISITAS DE CAMPO	42
6.3 SELECCIÓN DE SITIOS DE ESTUDIO.....	43
6.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MONITOREOS REALIZADOS	44
6.4 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y BATIMÉTRICOS.....	46
6.4.1 MONITOREO FÍSICOQUÍMICO	46
6.4.2 MONITOREOS BATIMÉTRICOS	52
6.5 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS ALTERNATIVOS PARA EXTRAER RECURSOS MINERALES.....	54
6.6 PROPUESTA PARA LAS AUTORIDADES.....	55
6.7 DISCUSIÓN DE PRINCIPALES HALLAZGOS	55
6.8 DISCUSIÓN SOBRE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	57
6.9 DISCUSIÓN SOBRE EL DISEÑO METODOLÓGICO PLANTEADO.....	58
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
7.1 CONCLUSIONES	59
7.2 RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS	62
ANEXOS.....	64

Lista de Figuras

Figura 1. Zona de estudio	15
Figura 2. Finca Experimental Santa Cruz, Guanacaste.	17
Figura 3. Órdenes del suelo	18
Figura 4. Areneros en el Río Tempisque.	26
Figura 5. Presupuesto global para la elaboración del proyecto.	30
Figura 6. Métodos y herramientas metodológicas por seguir.	34
Figura 7. Determinación de información base.	35
Figura 8. Parámetros a muestrear in situ.	36
Figura 9. Incongruencias encontradas durante el proceso de otorgamiento de concesiones mineras.	40
Figura 10. Estudio de mercado de agregados de la zona.	41
Figura 11. Criterios para la selección de sitios de estudio.	43
Figura 12. Pronóstico de temperatura para el periodo de marzo del 2022.	45
Figura 13. Pronóstico de lluvia para el periodo de julio del 2022.	45
Figura 14. Resultados obtenidos del monitoreo en el puente de Guardia para el periodo de marzo y julio del 2022.	48
Figura 15. Resultados obtenidos del monitoreo en el puente de Guardia para el periodo de marzo y julio del 2022.	49
Figura 16. Resultados obtenidos de la medición de los sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos disueltos en los dos puntos de estudio (A y B) durante los dos muestreos realizados.	49
Figura 17. Sección transversal de la batimetría del punto A para el mes de marzo.	53
Figura 18. Sección transversal de la batimetría del punto A para el mes de julio	54

Lista de Cuadros

Tabla 1. Dimensiones geográficas de la cuenca.	16
Tabla 2. Marco legal	31
Tabla 3. Resultados obtenidos de los monitoreos realizados para los puntos A y B, en los periodos de marzo y Julio del 2022.	46

Abreviaturas

MINAE: Ministerio del Ambiente y Energía

HIDROCEC: Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe.

UNA: Universidad Nacional, Costa Rica

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

ACG: Área de Conservación Guanacaste

ACT: Área de Conservación Tempisque

ACA: Área de Conservación Arenal

DGM: Dirección de Geología y Minas

SIG: Sistemas de Información Geográfica

IMN: Instituto Meteorológico Nacional.

Capítulo I. Introducción del Proyecto

El capítulo tiene como objetivo la recapitulación de toda la información introductoria para el desarrollo del se expone el problema, justificación, objetivos del proyecto, los alcances y limitaciones.

1. Introducción.

La corriente de agua es capaz de transformar los paisajes y transportar en ella grandes cantidades de suelo y materiales de grano fino en forma de sedimentos. El sedimento, es el resultado de la erosión del paisaje que trasportado por los sistemas fluviales se va depositando en cuerpos de agua como océanos, lagunas, entre otros.

Los sedimentos de los ríos han sido de muy poca relevancia para su estudio en Costa Rica, debido a esto no se cuenta con metodologías oficiales que los evalúen. En este sentido, para el río más importante en la provincia de Guanacaste, el Tempisque, el cual recoge las aguas de los ríos Bebedero, el Salto, Piedras, Colorado, entre otros. Todos estos afluentes son parte importante de la vertiente del golfo de Nicoya. (Instituto Metereológico Nacional, 2011)

Por lo tanto, el estudio del transporte de sedimentos y la morfodinámica fluvial es importante para avanzar en su conocimiento y generar metodologías adecuadas para el planeamiento, diseño, proyecto, construcción, operación y mantenimiento de obras de ingeniería fluvial, cuyos propósitos son el control y/o aprovechamiento, gestión y preservación de los recursos hídricos de un territorio. En este texto se conceptualizan los procesos fundamentales de dicha interacción y se presentan distintas metodologías para su evaluación. (Basile, 2018)

Los altos niveles de sedimentación en el río dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce. Ello puede tener graves efectos en la navegación, por la reducción de la profundidad, perdida de hábitats, desplazamiento de la vegetación, afecciones en la producción de peces, entre otros. Adicionalmente existe la explotación de zonas ribereñas causadas por extracciones de materiales como arena, grava fina y el mismo recurso hídrico.

La evaluación fisicoquímica de sedimentos a lo largo del cauce del rio permitirá evidenciar las interacciones que existe entre estos y la columna de agua. La información

obtenida podrá ser utilizada como insumo en los procesos hidrológicos que afectan las descargas del río y de partículas. Los sedimentos de un ambiente acuático reflejan la calidad ambiental del agua del sistema, como también las variaciones temporales de ciertos parámetros hidrológicos y químicos.

Según (Marín, 2014) la extracción excesiva de arenas en lechos fluviales es una amenaza para los puentes, riberas y estructuras aledañas. Esta actividad también afecta el agua subterránea y el uso que le dan al río los habitantes de la localidad. La extracción de arenas y gravas en ríos causa la destrucción de hábitat acuático y ripario, a través de cambios marcados en la morfología del afluente.

Por lo tanto, el presente trabajo se enfocará en una evaluación de las actividades extractivas concurrentes en diferentes tramos de la parte media y baja del río Tempisque. Mediante análisis realizados se determinará una línea base de información que sirva como apoyo para actualizaciones futuras con respecto al Decreto Ejecutivo N. 22813- MINAE que hace referencia espacia al manejo de la extracción de materiales.

1.1 Planteamiento del problema.

Los sedimentos de los ecosistemas costeros están influenciados por las fuentes naturales o de origen antrópico, que los suministran y los movilizan. Los metales pesados y pesticidas y otros contaminantes que forman uniones químicas con las partículas de sedimento pasan de la columna de agua a los sedimentos de fondo para ser acumulados y después liberados, generalmente en formas más tóxicas o viables de ser tomados y con mayor rapidez por los organismos acuáticos.

Este problema es ocasionado por la reducción y/o al incremento de nutrientes, sedimentos y contaminantes, y a sus efectos en los patrones de movimiento y circulación de las aguas. Estas alteraciones afectan principalmente los estuarios, golfos y otros cuerpos acuáticos que tienen limitado movimiento y renovación (Escobar, 2002).

Estas afectaciones se ven aumentadas por las actividades extractivas de manera mecanizada en los tramos del río Tempisque donde se realiza de forma no planificada. Actualmente se cuenta con concesiones otorgadas, sin embargo, no existe un monitoreo del cumplimiento de estas, asimismo, existe una preocupación debido a que ya se hacen notar los impactos ambientales en los tramos de la cuenca.

Para ello, se pretende realizar una evaluación con respecto a estas actividades con el fin de generar información base por medio de estudios hidrométricos y valoraciones de la zona que sirvan como insumo para actualizaciones de futuras legislaciones. Por lo tanto, se espera un trabajo que funcione de forma paralela con las condiciones de la zona de estudio y el estado de la situación legislativa de la cuenca de tal forma que se logre evidenciar el impacto causado por las extracciones e incurrir en el planteamiento de recomendaciones basadas en una mejora continua de la cuenca.

1.2 Justificación.

Debido a la preocupación que existe en relación con las cuencas hidrográficas y la pérdida de suelos en zonas estratégicas afectadas por intervenciones antropogénicas, como la extracción de materiales en cauces de dominio público, resulta fundamental conocer la dinámica de los tipos de extracciones realizados y las condiciones en las que se realizan para determinar la sostenibilidad de las actividades. Debido a esto, se evaluarán las actividades de extracción realizadas en diferentes puntos de la cuenca media y baja del río Tempisque.

En primera instancia, se establecerá una línea base con el fin de comprender, acerca de la extracción de materiales, por medio de revisiones de bibliografías relacionadas con cuencas hidrográficas y documentación técnica, además, de planes de explotación mediante las concesiones otorgadas a lo largo de la cuenca del río Tempisque.

Por lo tanto, el presente proyecto contribuirá con la valoración de las condiciones hidrométricas de los tramos del río Tempisque donde se ubiquen las extracciones de materiales con la finalidad de la validación para la continuidad de uso según los efectos adversos causados por dichas actividades. De esta forma se identificarán sitios potenciales de extracción de arena en el mismo cauce del río Tempisque con el fin de obtener alternativas de uso extractivo según el estudio y valoración obtenida.

En tercer lugar, los sedimentos de los ríos han sido de muy bajo interés por ser investigados, por ello en Costa Rica no se cuenta con metodologías oficiales de evaluación de sedimentos. Un vivo ejemplo es el decreto ejecutivo N.º 22813-MINAE, donde su última versión es de muchos años atrás, por lo tanto, es de suma importancia renovar los datos debido a la volatilidad que ha sufrido la cuenca del río Tempisque en los últimos años.

Con base a los argumentos presentados, este trabajo tiene la función de servir como apoyo para una modificación o nueva actualización del decreto ejecutivo antes mencionado.

Esto se logrará mediante la valoración las de zonas estratégicas para la realización de extracciones de minerales de manera artesanal y mecanizada en forma sostenible detallando cada una de las zonas y sus características, así como su debida justificación y recomendación con base a la extracción a realizar. Además, se propone obtener alternativas de zonas estratégicas para la extracción de materiales en forma amigable con el medio, de tal forma que sirva como análisis para determinar la necesidad de otorgar más concesiones.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la actividad extractiva de arena en la parte media y baja de la cuenca del río Tempisque, Costa Rica para la generación de información base que sirva de insumo para la actualización del Decreto Ejecutivo 22813-MINAE.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer una línea base de información existente asociada a la extracción de arena en el río Tempisque para su comprensión y análisis.
- Valorar las condiciones hidrométricas de los sitios actuales de extracción para la ratificación de la continuidad de su uso.
- Identificar sitios potenciales de extracción de arena para su valoración como alternativas de uso.
- Generar recomendaciones sobre los sitios actuales y potenciales de extracción que sirva como insumo para la actualización del Decreto Ejecutivo 22813-MINAE

1.4 Alcances y Limitaciones.

Alcances

- Se generará una línea de información para procesar y analizar datos para que sea tomados en cuenta en la actualización del Decreto Ejecutivo 22813-MINAE.
- Realizar estudios hidrométricos para determinar las condiciones de las zonas de extracción. con el fin de realizar valoraciones y recomendaciones actuales y futuras de las zonas estratégicas y otras como alternativas de uso.
- Elaborar un informe de las condiciones actuales de los puntos de extracción para contribuir con la valoración de los sitios explotados.
- Presentar un informe ante la comisión de areneros local con el fin de demostrar las condiciones actualizadas de las zonas de extracción.

Limitaciones

- La obtención de datos actualizados y el difícil acceso a las zonas estratégicas de extracción debido a las condiciones climáticas retrasan el análisis
- La falta de antecedentes sobre legislaciones en la zona de estudio, lo que complica los análisis bibliográficos basados en información.
- Zonificaciones de las zonas de extracción obsoletas.
- Brechas sociopolíticas.
- Falta de monitoreos batimétricos debido a la complejidad de los muestreos.

Capítulo II. Antecedentes

2.1 Introducción.

A lo largo de los años la cuenca del Río Tempisque ha sido el escenario de diversas actividades que han traído consigo importantes transformaciones tanto biológicas y físicas como productivas, sociales y hasta de medio de transporte. Estas evoluciones han dado lugar a una importante fertilidad agrícola y ha sido un manto para humedales. áreas de protección y los grandes asentamientos humanos distribuidos a lo largo y ancho de la cuenca.

2.2 Descripción del área de estudio.

La cuenca del Río Tempisque se ubica en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. Esta se conforma por dos importantes afluentes; la subcuenca el río Tempisque compuesta por 3 3357 km² área y bebedero con 2 047 km², en total cuenta con una extensión de 5405km² aproximadamente. Esta cuenca es la más extensa del país abarcando poco más del 50% de la provincia guanacasteca.

En cuanto a sus límites según, (Vega, 2001), Esta cuenca limita al norte con las faldas del Volcán Orosí y se extiende hacia el sur, en la margen derecha del Río Tempisque, por las filas montañosas costeras, e incluye la fila Guayabalosa y los cerros Carbonera y Vista al Mar. Posteriormente se extiende en dirección este por los cerros Cardones, Barra Honda y Copal. Para la margen izquierda de la cuenca, limita con la cordillera de Guanacaste hasta el Volcán Arenal. Donde baja en dirección Sur hasta los cerros de Santa Elena. A partir de ahí, recorre en dirección oeste por los cerros Cerco de Piedra y Pozas, hasta la desembocadura del Río Bebedero.

Históricamente esta cuenca hidrográfica se ha dedicado a distintas actividades agropecuarias que han ido variando conforme a los años. Inicialmente la actividad ganadera tuvo un auge importante durante los siglos XIX y XX, no obstante, con el desarrollo de rutas de acceso como el caso de la carretera Interamericana, se inicia un cambio hacia las actividades agrícolas (Quesada, 2019).

La agricultura siempre ha sido muy riesgosa en la zona, esto asociado al comportamiento de las precipitaciones durante la época de siembra y cosecha, por lo cual, el desarrollo de canales de irrigación ha requerido de inversión privada y gubernamental, para la mejora en las condiciones de cultivo, Diversas políticas se han desarrollado para incentivar el crecimiento de sembradíos de arroz, algodón y caña de azúcar, Sin embargo, las

fluctuaciones del mercado, así como el comportamiento de las lluvias históricamente han provocado pérdidas monetarias importantes en la zona (Peters, 2001).

A estas actividades económicas se le debe de agregar el turismo y desarrollo del sector terciario de la economía. Esto se ve reflejado en los datos de empleo recopilados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) donde el 63% de la población que habita Guanacaste labora en el sector terciario, asociado principalmente a la actividad turística que ha ido en aumento en las últimas décadas. Este dato incrementa para ciertos cantones donde existe un desarrollo urbano más importante como el caso de Liberia, donde alcanza un 78% de la población económicamente activa dedicada a actividades del sector terciario (Instituto Nacional de Estadística y Censo , 2011).

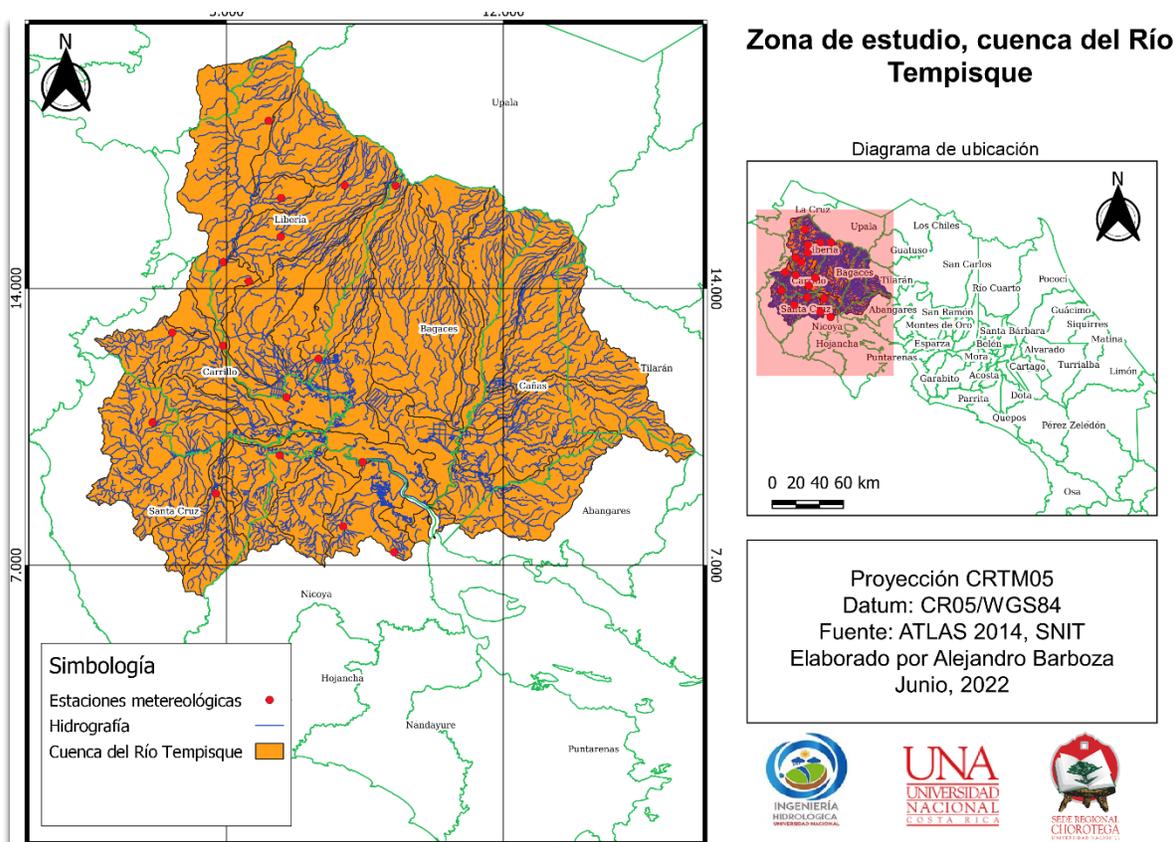


Figura 1. Zona de estudio

Fuente: Elaboración propia (2022).

La figura 1 corresponde a la representación cartográfica de la zona de estudio donde se abarca el área de la cuenca del Río Tempisque junto con las estaciones meteorológicas

presentes a lo largo y ancho. Para caracterizar los dimensionamientos de la cuenca se presenta la siguiente tabla:

Tabla 1. Dimensiones geográficas de la cuenca

Dato	Dimensión
Área	3.382,07 Km ²
Perímetro	365,41 Km
Índice de Compacidad	1,76
Factor de Forma	0,56
Altitud Máxima	1.900,00 m.s.n.m
Altitud mínima	0,00 m.s.n.m
Altitud media	169,40 m.s.n.m
Longitud del cauce	142,19 Km
Pendiente media del cauce	3,87 %
Pendiente media de la cuenca	10,29 %

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (2011).

Según (Jardí, 2006) el factor forma intenta evaluar la elongación de una cuenca de drenaje, coincidiendo con la anterior definición se estima una forma alargada lo cual otorga la característica de tener poca susceptibilidad a inundaciones. Por otra parte, (Jardí, 2006) define el índice de compacidad como la comparación del perímetro de la cuenca con la longitud o perímetro del círculo asociado. Además, cuanto mayor sea el valor que tome C, indicara un perímetro superior al que le corresponde al círculo asociado; es decir, indicará cuencas muy lobuladas. De todas formas, C toma valores entre 1 -que correspondería a una cuenca perfectamente circular- hasta un valor cercano a 2 -en que implicaría un perímetro doble .al del círculo asociado-, por lo que el campo de variabilidad del índice de forma es pequeño. Para el caso de la cuenca de estudio se encuentra un valor de 1.76, por lo tanto, se describe como una cuenca con forma ovalada con tendencia a ser oblonga.

2.2.1 Aspectos socioeconómicos.

Si bien es claro que la situación actual del manejo de agua en la GCRT no está exenta de problemas, estas condiciones posiblemente sean exacerbadas por la variación y cambio climático previstos para esta región, que apuntan a condiciones más secas y cálidas. Los productores agrícolas y pecuarios, así como distintas agencias del Gobierno, están conscientes de las predicciones climáticas y se está trabajando actualmente en estrategias para adaptarse a ellas. Por ejemplo, muchos de los productores intentan reemplazar el arroz

con caña de azúcar y piña, que requieren menos agua en su producción.



Figura 2. Finca Experimental Santa Cruz, Guanacaste.

Fuente: Periódico El País, (2017).

Por otro lado, el Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) estudian planes para construir más canales de irrigación y embalses, para responder a la creciente demanda de la agricultura y los desarrollos turísticos en la región (República de Costa Rica, 2010). Estas iniciativas están diseñadas para atender retos individuales, pero no se ha adoptado aún una visión integral de todos los asuntos. De no abordarse el problema de forma sistémica, las acciones individuales podrían resultar inefectivas y producir consecuencias no deseadas e irreversibles. Por ejemplo, el plan del Gobierno de proveer más agua para proyectos de irrigación podría desalentar a los productores a adoptar cultivos menos demandantes de agua (Murcia et al, 2012).

2.3 Características geomorfológicas

Dentro de la cuenca del Río Tempisque se encuentra una alta gama de subgrupos de suelos que forman parte en toda el área, entre ellos destacan los alfisoles, entisoles, inceptisoles, mollisoles y vertisoles y vertisoles según la figura 3.

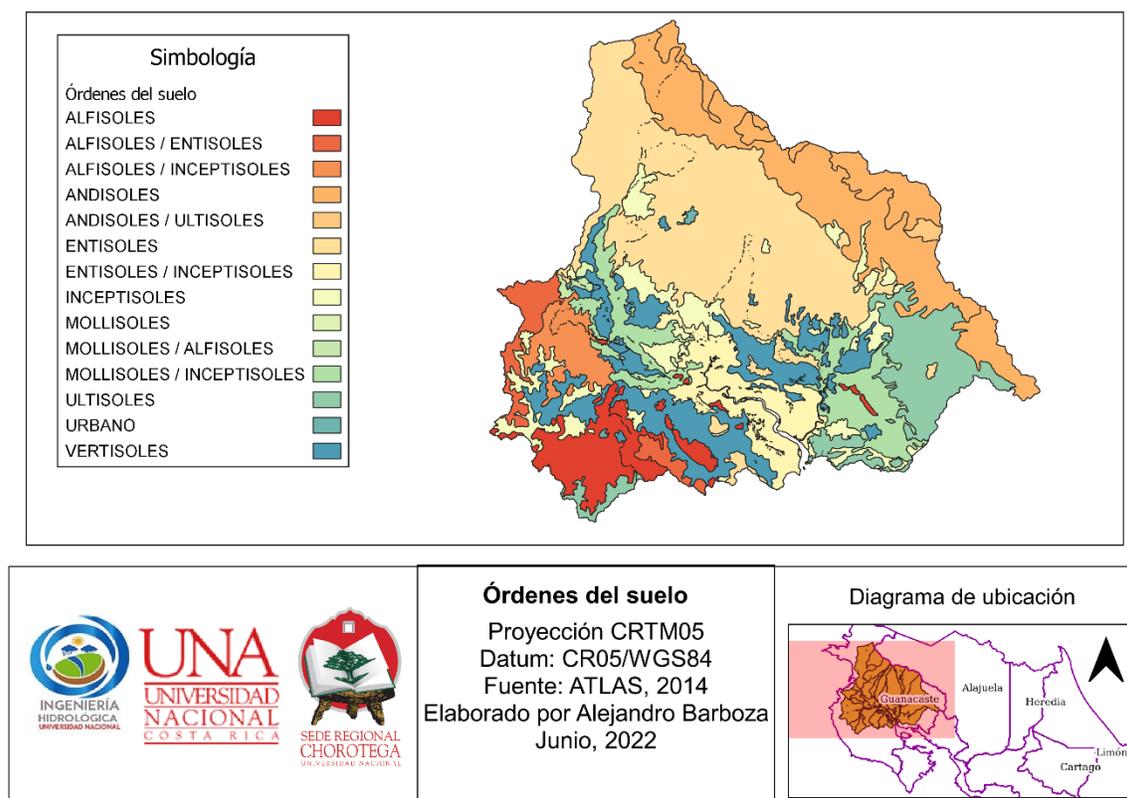


Figura 3. Órdenes del suelo

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Las variaciones de los subgrupos del suelo son relativas según la ubicación dentro de la cuenca, por lo tanto, es importante la comprensión de cada subgrupo para entender sus órdenes taxonómicos. De forma breve se resumen la descripción de cada tipo de suelo presente en la cuenca hidrográfica:

Los alfisoles son suelos húmedos de relieve plano u ondulado, profundo y se encuentran en materiales de origen volcánico como rocas básicas. Estas están localizadas en las cercanías del cantón de Santa Cruz ubicado en la margen derecha de la cuenca. Por otra parte, según (Morales, 2013), los entisoles se encuentran ubicados por toda el área de la cuenca, estos comprenden un segundo orden geográfico según la diseminación del suelo.

Esta tipología es de origen mineral de baja profundidad y desarrollo mínimo. Son de tipo común en zonas de mucha pendiente mayormente en grandes terrenos de uso ganadero. El subgrupo del suelo con mayor cobertura en la cuenca hidrográfica corresponde a los inceptisoles los cuales cuentan con un perfil más avanzado que los entisoles, pero menos que los demás órdenes. Son suelos profundos de texturas variadas y su ubicación corresponde cerca de Bagaces, Cañas, Liberia y Nicoya, así como a sitios aledaños a la margen de los ríos (Morales, 2013).

Los molisoles corresponden a un tipo de suelo de alta fertilidad por su composición alta en nitrógeno y demás nutrientes de origen natural. Estos suelos son de alta profundidad, de distribución granular con un color opaco. Por último, se encuentran los vertisoles los cuales comúnmente se les menciona como “sonsocuites”, son de contextura sumamente arcillosa. Dada las características de la zona, estos suelos suelen expandirse y comprimirse provocando agrietamientos en los suelos en época seca. Este orden es común encontrarlo en cauces aluviales de la parte baja del río Tempisque y río Bebedero (Peters, 2001).

2.4 Características ambientales

Las áreas boscosas del área de estudio están representadas por el “bosque seco tropical de bajura y transición a húmedo” y el “bosque húmedo tropical de bajura y transición a premontano” los cuales se han visto gravemente afectados en las últimas décadas por la deforestación y los incendios forestales. La ubicación geográfica es elemento determinante ante la vulnerabilidad a igniciones que afecta directamente la diversidad biológica y al ambiente, causando efectos profundos sobre la calidad de vida de los habitantes de la zona (Alpizar et al.,1998).

Las áreas protegidas que se ubican dentro y en las proximidades de la cuenca presentan diferentes categorías de manejo forman parte de tres distintas áreas de conservación, según el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del actual Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones (MINAET); siendo estas: Área de Conservación Guanacaste (ACG), Área de Conservación Tempisque (ACT), y el Área de Conservación Arenal (ACA). Estas representan unidades muy importantes para la conservación de cuencas hidrográficas, la protección de la biodiversidad y los ecosistemas naturales, sin embargo, muchas están amenazadas por el fuego y la expansión agrícola que

ha llegado prácticamente hasta los bordes de estas. Además, existen otras privadas las cuales surgen como una alternativa de conservación y responden a la necesidad de proteger unidades naturales que el Estado no puede consolidar dado su alto costo (Alpizar et al., 1998).

2.5 Características climatológicas

En esta cuenca el rasgo típico climático es la presencia de un régimen de precipitación de tipo Pacífico, el cual se caracteriza por presentar una estación seca y otra lluviosa bien definidas. La estación seca se registra normalmente entre mediados de diciembre hasta el mes de abril y la estación lluviosa se inicia en mayo concluyendo en el mes de noviembre. Con una disminución relativa de la cantidad de precipitación en los meses de julio y agosto que se conoce con el nombre de "veranillo" y que experimentan en algunos años un déficit hídrico (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

La precipitación media anual va desde los 1500 a los 4000, marcándose una media anual en las partes altas de 1500 a 3000mm, en la parte media de la cuenca de 1500 a 2000mm y en la parte baja de 1500 a 3000. Los meses de setiembre y octubre suelen ser los más lluviosos, aproximadamente un 23% y 21%, respectivamente de la precipitación promedio anual. Los meses más secos suelen ser enero y febrero. Se registra en esta cuenca un promedio anual de 105 días con lluvia, con una estación seca de cinco a seis meses. Estos corresponden a la Estación meteorológica Liberia (Instituto Meteorológico Nacional, 2011).

2.6 Antecedentes nacionales e internacionales sobre la extracción de materiales.

2.6.1. Antecedentes internacionales

La arena que abastece en el municipio de Tuxtla Gutiérrez proviene del río Santo Domingo en su mayor parte. En una menor cantidad se trae arena del Río Grijalva y otras veces del río Suchiapa, anteriormente se tenían ayudantes que con palas cargaban un camión de arena, esta práctica en la actualidad ha sido eliminada, generalmente nos encontramos una draga que contiene una recolectora con la cual se extrae la arena, un trascabo para cribar la arena y con el mismo trascabo se carga a los camiones que parten a la ciudad de Tuxtla

Gutiérrez. En total hay 16 sitios de producción de arena a lo largo del Río Santo Domingo, las licencias para la extracción son extendidas por la CONAGUA, de las cuales se tienen volúmenes de extracción variables que van desde los 5,000 m³ hasta los 70,000 m³, teniendo un volumen promedio anual de 400,000 m³ de producción de arena por año. (Morales & Ramírez, 2008)

La producción de arena se usa principalmente para la construcción de la zona, la elaboración de concreto es uno de sus mayores usos que se da a la arena de río en la zona, también arriban camiones de empresas particulares que hacen concreto premezclado para alcanzar diferentes como Cemex y otras empresas. Otras se dedican a hacer block, viguetas y otros insumos que se les pueda añadir concreto. (Morales & Ramírez, 2008)

2.6.2 Antecedentes nacionales

Se realiza la reforma hacia el código minero, donde se propone la modificación sobre las concesiones otorgadas y para prorrogar, de forma indefinida, permitiendo que las personas concesionarias prorroguen su permiso por periodos de cinco años si así lo desean. Sin embargo, con esta reforma la sobreexplotación de los cauces de los ríos no estará bajo supervisión por el Estado y además hacen que las empresas mineras tengan la potestad de ser juez para emitir los informes técnicos que sustentarán las prórrogas de las explotaciones de los materiales a extraer. Seguidamente se adjunta la reforma al artículo 36 del Código minero extraído del Sistema Costarricense de Información Jurídica (2022).

Artículo 36- El Poder Ejecutivo podrá otorgar concesiones de explotación de materiales en cauces de dominio público por un plazo máximo de diez años, prorrogable de manera sucesiva por períodos hasta de cinco años, hasta completar un máximo de treinta años, plazo que incluye la etapa de cierre de la concesión. Lo anterior, siempre y cuando las condiciones del río lo permitan, según criterio de la Dirección de Geología y Minas (DGM) y que el concesionario haya cumplido con sus obligaciones durante el período de vigencia de la concesión. Para solicitar la prórroga, el concesionario deberá mantener al día la viabilidad ambiental. El procedimiento y los requisitos serán establecidos en el reglamento de esta ley.

2.7 Conclusión.

El capítulo II aborda la contextualización de los aspectos hidrológicos y socioeconómicos de la zona de estudio. Además, comprende los antecedentes de la actividad extractiva a nivel nacional e internacional con el fin de conocer el funcionamiento de esta. Los aspectos anteriores comprenden una línea base con relación al primer capítulo, sin embargo, es importante definir los conceptos claves para la elaboración del estudio, los cuales se expondrán en el capítulo III.

Capítulo III. Marco teórico

3.1 Introducción.

A lo largo de los años la extracción de materiales en los cauces de los ríos ha sido una actividad sumamente fundamental para obras ingenieriles, ya que estos materiales fueron utilizados en la construcción de caminos y edificaciones. Por lo tanto, a medida que los asentamientos humanos crecen, la demanda de materiales extraídos del río aumenta.

No obstante, la extracción excesiva de arenas en los lechos fluviales es una amenaza para los puentes, riberas y estructuras aledañas. Esta actividad también afecta el agua subterránea y el uso que le dan a los ríos los habitantes de la localidad. La extracción de arenas y gravas en ríos causa la destrucción de hábitat acuático y ripario, a través de cambios marcados en la morfología del afluente (Martin , 2014).

A continuación, se destacan conceptos importantes fundamentados con el proceso de realización del proyecto.

3.2 Cuencas hidrográficas

La cuenca hidrográfica se define como la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces, de tal forma que todo el escurrimiento originado dentro de la cuenca es descargado a través de una salida, ya sea exorreica o endorreica, delimitando así un área geográfica, ayudando así su gestión (ATL, 2010). El tamaño de la cuenca determina en gran medida su comportamiento hidrológico, aunque los términos hidrográficos e hidrológicos se usan indistintamente, la cuenca hidrográfica está en función del área y los escurrimientos a diferencias de las cuencas hidrológicas que son más profundas abordando hasta las aguas subterráneas (González, 2017).

3.3 Erosión.

El término erosión se puede definir de manera básica o sencillamente equivale a eliminación de material, que como consecuencia produce una pérdida de masa en un cuerpo, y por tanto una disminución de volumen o tamaño (Marqués , 1996). La erosión hídrica se genera cuando las gotas de lluvia que caen sobre un suelo tienen suficiente energía para remover partículas de este, dejándolas libres para que puedan ser transportadas por la escorrentía superficial hacia las corrientes de drenaje. En la actualidad la magnitud de la erosión hídrica se mide por medio de la pérdida de suelo. Esta pérdida es un índice medio

anual del potencial erosivo de la cuenca; se calcula por medio de fórmulas semiempíricas y se expresa en toneladas por hectárea por año (ton/ha/año) (Montes, 2009).

Según (Montes, 2009), algunos factores que actúan en la generación de la pérdida del suelo en una cuenca son los siguientes:

- i. Lluvia: Es el agente que inicia el proyecto erosivo. La magnitud de su efecto depende de su distribución temporal y espacial sobre la cuenca; y para cuantificarla es indispensable analizar las intensidades de lluvia de corta duración, su frecuencia y cobertura sobre el área de la cuenca.
- ii. Morfometría del área vertiente: Las características morfométricas de la zona potencialmente erosionable son el área, longitud de recorrido de la escorrentía y pendiente del terreno.
- iii. Suelo: es un factor que incluye textura y estructura del propio suelo al momento de comenzar las lluvias.
- iv. Cobertura vegetal; es un factor importante en la generación y transporte de la erosión pluvial, especialmente en el periodo inicial del aguacero. Depende del cultivo (cuando tal cobertura corresponde a zonas agrícola), el sistema de siembra y las prácticas de manejo.

3.4 Sedimentos.

Según la Real Academia Española, los sedimentos son materiales que, habiendo estado en suspensión en un líquido, se deposita en el fondo por su mayor peso. El movimiento de sedimentos en las corrientes y ríos presenta dos formas: transporte en suspensión y arrastre de fondo. Los sedimentos en suspensión están constituidos por partículas finas que se mantienen en suspensión por turbulencia de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad del flujo disminuye. Las partículas sólidas de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente y se designan con el nombre de arrastre de fondo. Existe un tipo intermedio de movimiento en el que las partículas se mueven dando rebotes o saltos, a veces tocando el fondo y a veces avanzando en suspensión hasta que vuelven a caer. A este movimiento se le denomina saltación y es una parte muy importante del proceso de transporte; en la corriente líquida la altura de los saltos puede ser reducida y no distinguirse

realmente del arrastre de fondo (Montes, 2009).

Los sedimentos se pueden dividir en sedimentos de fondo y sedimentos de orilla; los primeros son aquellos que permanecen siempre cubiertos por las aguas, mientras que los de orilla son los que han estado o pueden haber estado parte del tiempo sin cubrir por ésta. Los sedimentos generalmente son clasificados de la siguiente manera (Arias, 2017):

a) Sedimentos de origen clástico (Lito génico) Estos sedimentos son producto de la desintegración de rocas preexistentes y como resultado de las erupciones volcánicas. Son transportados por ríos, glaciares y viento. La nomenclatura está basada en el tamaño del grano (grava, arena, limo, arcilla). Se utilizan otros clasificadores adicionales en función del origen de los componentes clásticos, como también de su estructura y el color de los depósitos.

b) Sedimentos de origen biológico (Biogénico) Son producto de los restos de organismos, compuestos carbonatados, ópalo. y fosfato de calcio. Estos sedimentos llegan al sitio de deposición mediante precipitaciones in situ o a través de columnas de agua. Son movilizados a otros lugares mediante olas y corriente de agua. La nomenclatura está basada en el tipo de organismo y también en la composición química. Los calificadores adicionales son la estructura, el color, el tamaño, o la materia adicionada.

c) Sedimentos de origen químico (Hidro génico): Son precipitados generados a partir del agua

de mar o lago. o del agua intersticial. También son alteraciones producidas mediante reacciones químicas dentro de los depósitos de sedimentos. Su nomenclatura está basada en el origen y en la composición química. El clasificador adicional es generalmente la estructura y el color (Arias, 2017).

3.5 Extracción de materiales.

Extracción se define como el flujo anual agregado de las materias primas extraídas desde el medio ambiente y que serán utilizadas como factores de producción en algún proceso económico. Mide expresamente los flujos utilizados de biomasa, minerales metálicos y no metálicos y combustibles fósiles. Excluye las cantidades utilizadas de aire y agua.

3.5.1 Extracción mecanizada.

También conocido como extracción por medio de dragado, consiste en ingresar lo más cercano a la ribera del cauce y sacar el material por medio de maquinaria pesada tales como, cargador, tractor, draga, retrocavador, draga u otros semejantes. Posteriormente, se transportan los materiales extraídos por medio de vagonetas a sitios donde se almacenan para su venta.

3.5.2 Extracción natural.

La extracción natural o manual es realizada por areneros de la zona donde ingresan a la orilla del cauce por medio de carretas con bueyes y extraen la arena de forma manual por medio de palas y baldes como se aprecia en la figura 4.



Figura 4. Areneros en el Río Tempisque.

Fuente: La Voz de Guanacaste, (2019).

3.6 Hidrología.

Es aquella ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre y en la profundidad de esta, sus propiedades físico -

químicas, y su relación con el medio ambiente (Flores, 2018).

3.7 Hidrometría.

Es una parte de la hidrología que tiene por objetivo medir el volumen de agua que transcurre por la sección de un conducto durante un tiempo determinado. Así mismo se encarga de analizar la disponibilidad y distribución eficiente del recurso hídrico (Flores, 2018).

3.8 Batimetría.

El conocimiento de las profundidades de un cuerpo de agua tiene una gran importancia para la seguridad de la navegación y los estudios científicos en general. La batimetría es el estudio que consiste en la obtención de valores y la representación de la profundidad de los cuerpos de agua; la información batimétrica puede utilizarse para diversos fines, como ser la instalación de estructuras, construcción de muelles, dragados, piscicultura, etc. (Romero & Mejia, 2007).

3.9 Sistemas de Información Geográfica. ídem

Los SIG constituyen una integración organizada de hardware, software y datos geográficos, están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar, desplegar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. En la actualidad se han convertido en poderosas herramientas para el modelaje de datos permitiendo al usuario crear consultas interactivas y analizar la información con realidad virtual. Mediante los SIG se pueden apoyar decisiones multicriterio, las cuales constituyen conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, que ayudan a la toma de decisiones a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, con base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo con varios criterios: objetivos, metas, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad (Gómez & Barredo, 2004).

3.10 Conclusión.

El capítulo III abarcó los conceptos requeridos para el desarrollo de los capítulos anteriores. Estos conceptos son de suma importancia para el entendimiento de la elaboración del proyecto. Seguidamente se presenta el capítulo IV donde se abarcarán los estudios de

prefactibilidad con el fin de conocer la viabilidad del proyecto.

Capítulo IV. Estudios de prefactibilidad

4.1 Introducción

El siguiente capítulo procede a describir los aspectos fundamentales de las perspectivas basadas en la metodología de Sapag et al (2014). Con base al desarrollo del proyecto se seleccionan las prefactibilidades legales, técnico-financiera, sociales y económicas las cuales se abordarán seguidamente.

4.2 Estudios de prefactibilidad

La prefactibilidad profundiza en la investigación, y se basa principalmente en información de fuentes secundarias para definir, con cierta aproximación, las variables principales referidas al mercado, a las alternativas técnicas de producción y a la capacidad financiera de los inversionistas, entre otras. En términos generales, se estiman las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que demandará y generará el proyecto. Este estudio se caracteriza fundamentalmente por descartar soluciones con mayores elementos de juicio. Para ello se profundizan los aspectos señalados preliminarmente como críticos por el estudio de perfil, aunque sigue siendo una investigación basada en información secundaria, no demostrativa. Así, por ejemplo, el cálculo de las inversiones en obra física puede efectuarse con costos promedios de construcción del metro cuadrado, o la determinación de la demanda de pasajes aéreos en función de la tasa de crecimiento de la población. Ambas, sin embargo, no representan la mejor manera de medición de las variables que se desea cuantificar. De todas maneras, se da un proceso de selección de alternativas. (Sapag et al., 2014)

Basado en la metodología de Sapag se abarcan los estudios técnicos, legales, ambientales y sociales debido los objetivos del proyecto y a la temática como tal.

4.2 Estudio Técnico-Financiero

En el análisis de la viabilidad financiera de un proyecto, el estudio técnico tiene por objeto proveer información para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación pertinentes a esta área. (Sapag et al., 2014) Estos estudios cuantifican los recursos necesarios, así como la mano de obra para llevar a cabo el proyecto.

Al realizar este proyecto es necesario el uso y la adquisición de ciertos programas

para la efectiva ejecución y obtención de los datos, entre los programas destacan Microsoft Word, Excel, WinWiverII y QGIS3.

Cabe destacar que los programas pertenecientes a Microsoft son de código licencia, por lo tanto, se requiere de un monto económico para su adquisición. No obstante, se utilizará la licencia de estudiante otorgada por la Universidad Nacional para la obtención de la licencia y derechos de uso para estos programas. El software de SIG llamado QGIS3 es gratuito, por lo tanto, no requiere de insumos económicos. No obstante, se cuenta con la capacidad técnica para llevar a cabo las cartografías necesarias durante el desarrollo del proyecto.

Seguidamente, se abordan los materiales necesarios para el desarrollo de las giras de campo donde se destacan herramientas como computadora y celular previstos por el autor lo cual genera una mejor viabilidad financiera para la ejecución del proyecto.

Además, se destacan los costos directos del proyecto donde se abordan las giras de muestreo, los análisis en laboratorio, el equipo y los softwares necesarios para la ejecución de las actividades durante la ejecución del proyecto. Es importante destacar que estos costos son cubiertos por el Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC) de la Universidad Nacional.

También, se estima un valor de 5% del proyecto para cubrir gastos de imprevistos durante el desarrollo del proyecto. Este valor se calcula mediante la suma de los costos directos más los indirectos. Es importante la inclusión del impuesto del valor agregado dando lugar a un costo total del proyecto de ₡ 2.992.500, valor reflejado en la figura 5.

Tipo	Total	Observaciones
Directos	₡ 2,850,000.00	Giras de muestreo, analisis en laboratorio, equipo y software de trabajo
Otros/imprevistos	₡ 142,500.00	5%
Total	₡ 2,992,500.00	

Figura 5. Presupuesto global para la elaboración del proyecto.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.3 Estudio Legal

Se efectuó una revisión acerca de la normativa legal vigente de Costa Rica en relación con la temática establecida en este proyecto. Se elaboró un marco legal respetando el orden

jurídico nacional según la pirámide del Jurista Hans Kelsen. Esto con el fin de determinar la factibilidad legal en temas legales.

Tabla 2. Marco legal

Marco legal	Artículo	Área de referencia	Descripción breve
Constitución Política de Costa Rica	Artículo 50	Ambiente	Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.
Ley Orgánica del Ambiente	Artículo 50	Agua	El agua es de dominio público, su conservación y uso sostenible son de interés social.
Reglamento especial que regula extracción de los materiales en los cauces de dominio público. N.º 16453-MIEM	Artículo 1	Geología y minas	El presente Reglamento regula la tramitación de solicitudes tendientes a obtener concesiones para la extracción de materiales que se utilizan para la construcción (arena, piedra y grava), en los cauces de dominio público.
Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA). N°32712-MINAE	-	Ambiente	La Guía General para la elaboración de instrumentos de Evaluación de Impacto Ambiental (Guía de EIA), es una orientación básica de referencia para el equipo consultor responsable de la elaboración del instrumento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) que se desee confeccionar.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Gracias a la recopilación realizada en relación con el proyecto a realizar se determina

que no existe impedimento alguno en temas legal para la realización del estudio, por lo tanto, se considera viable.

4.4 Estudio ambiental

Pese a la naturaleza del proyecto, no habrá inconveniente u daño alguno hacia al medio ambiente. Lo contrario, según los objetivos del presente trabajo se prevé un análisis de evaluación de impactos ambientales por lo tanto se utilizará como alusión el documento de Resolución N 2373-2016- SETENA perteneciente a la Comisión Plenaria de Proyectos de Muy Bajo Impacto de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, donde según refleja el artículo 5 una lista donde se menciona actividades alusivas a proyectos.

Para este caso, se utiliza de referencia la actividad número doce la cual argumenta: “Estudios o actividades necesarios para obtener información en la elaboración de herramientas o instrumentos de evaluación ambiental”.

Según los resultados que se esperan de este proyecto, se confía en que sirva como información base que sea tomada en cuenta para futuros reglamentos o normas ambientales dentro del área de estudio y a quien interese. Por lo tanto, se confirma una viabilidad ambiental.

4.5 Conclusión

Gracias a los análisis acerca de los estudios de prefactibilidad realizados se permite concluir con una viabilidad total en todos los estudios del proyecto a realizar, por lo consiguiente, se posibilita la continuación de este. En el siguiente capítulo se desglosa la estrategia metodológica para la realización del presente proyecto.

Capítulo V. Metodología

5.1 Introducción.

El presente capítulo plantea la metodología a utilizarse durante el proyecto, por lo tanto, en esta sección se abordan los elementos enfocados en las distintas características necesarias para la evaluación de la actividad extractiva de arena y grava

5.2 Descripción de la metodología.

De acuerdo con el enfoque del proyecto y siguiendo la información base a obtener se determinan el tipo de metodología a realizar correspondiente al tipo cuantitativa, reflejada en los tipos de muestreos a realizar, así como los informes de los análisis y cualitativa traducida en la selección de los puntos de muestreo con relación a los impactos ocasionados y la percepción social-legal de la comunidad.

5.3 Métodos y herramientas.

Para la elaboración del proyecto se requiere el seguimiento de un orden cronológico respetando cada detalle. Por lo tanto, con base a la siguiente figura se plantean los pasos a seguir.

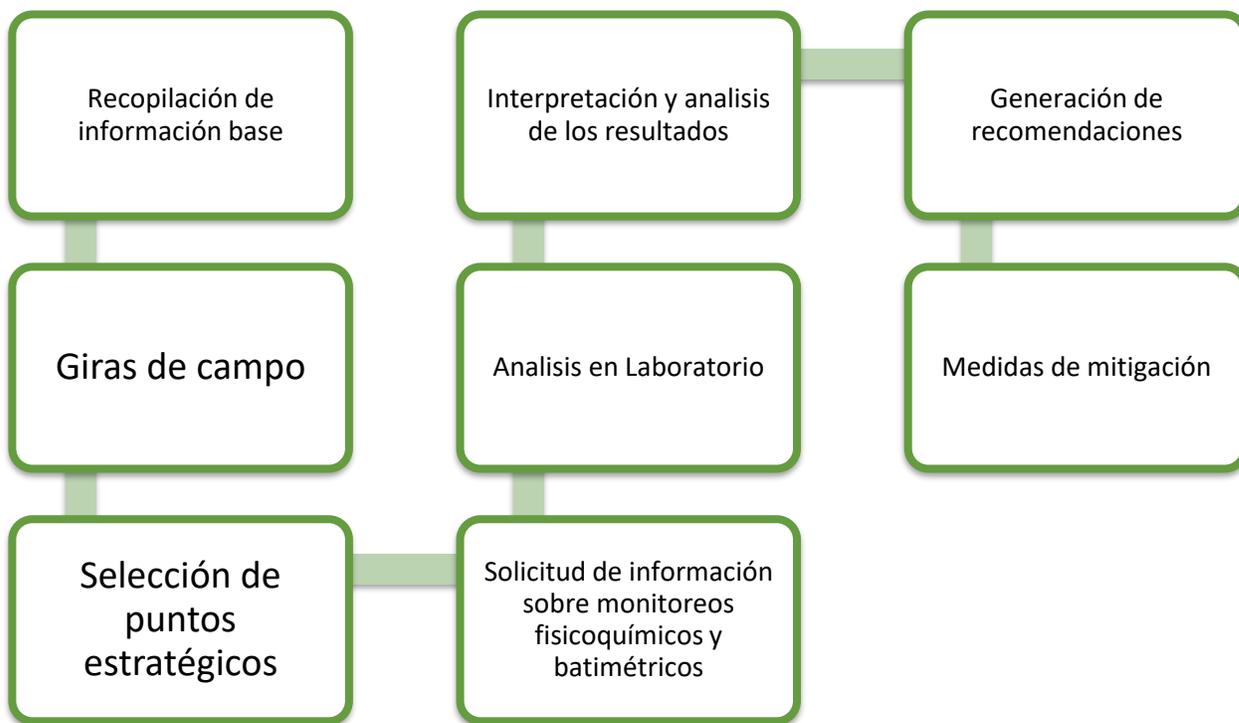


Figura 6. Métodos y herramientas metodológicas por seguir.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

5.3.2 Recopilación de información base.

La primera etapa corresponde a la consulta de oficios y documentos de zonificaciones anteriores, así como revisiones bibliográficas y consultas técnicas a actores claves sobre la extracción de materiales en cauce de los ríos específicamente en zonas donde se extrae de manera desmedida.

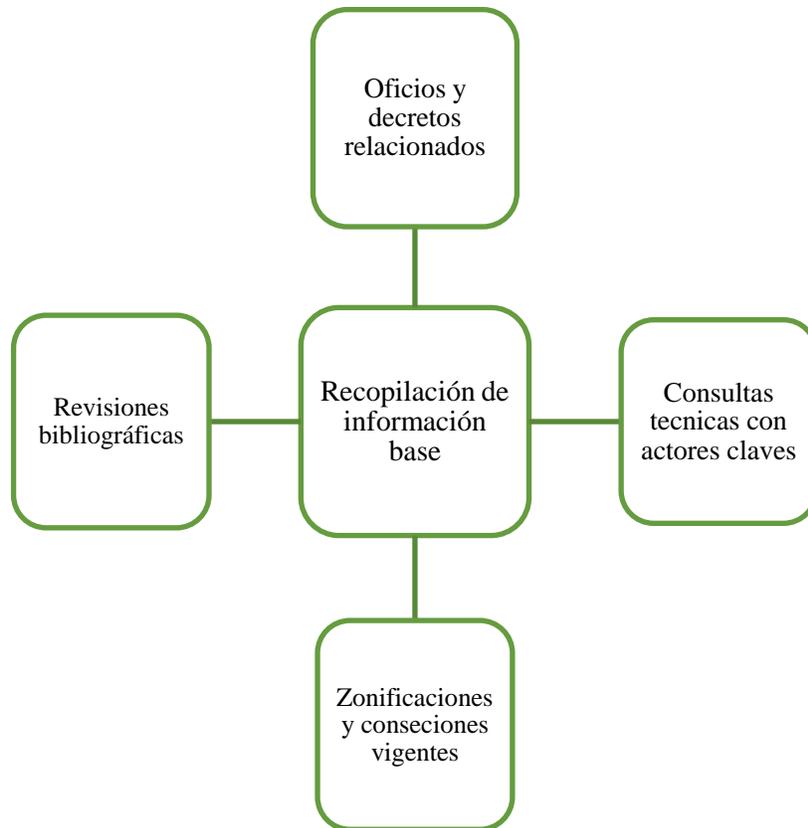


Figura 7. Determinación de información base

Fuente: Elaboración propia, 2022.

5.3.3 Gira de campo.

Se plantea una visita de campo con el fin de determinar las zonas de mayor degradación en el cauce del río producto de la extracción. Con base a los recorridos detallados a realizar, se seleccionará una serie de puntos estratégicos para realizar los muestreos respectivos. Se plantean cuatro puntos estratégicos para los analizar a realizar in situ y en laboratorios.

5.3.4 Muestreos in situ.

De forma demostrativa se plantean los parámetros a realizar in situ en la siguiente figura:

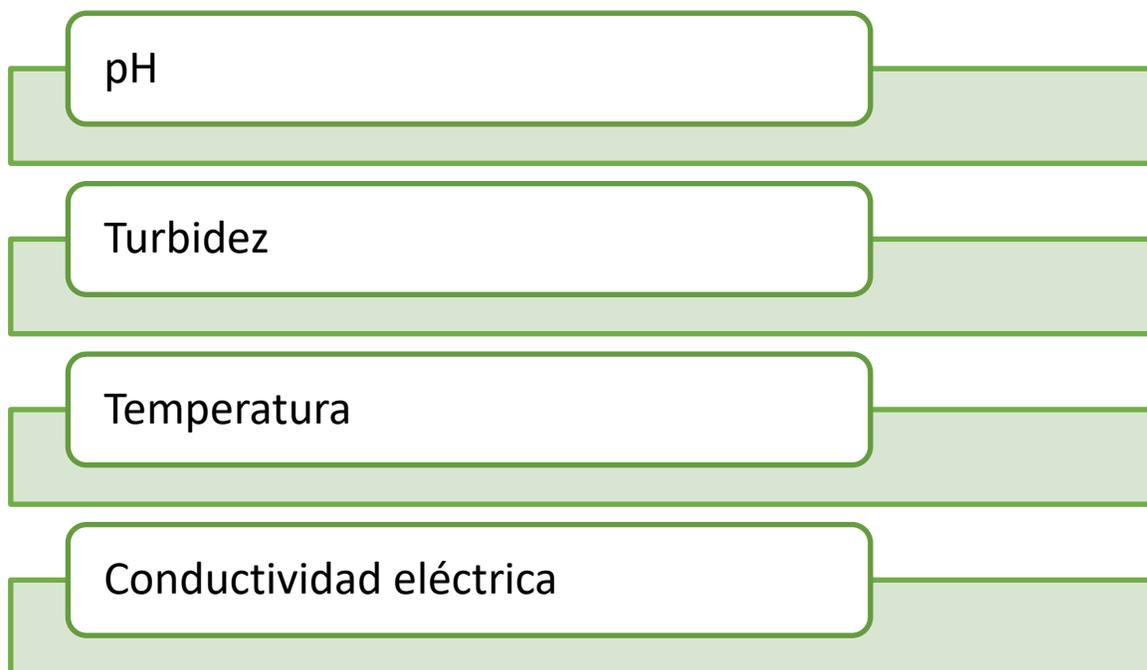


Figura 8. Parámetros a muestrear in situ.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se aplicarán los muestreos in situ a los puntos seleccionados mediante el equipo multiparámetros. Además, se prevé la recolección de muestras de sedimentos para análisis granulométricos y tamizajes.

5.3.4.1 Recolección de las muestras.

La recolección de las muestras para el tamizaje se realizará mediante una pala donde se excavará en la orilla del cauce referente al punto seleccionado para el análisis. Posteriormente se almacena en un recipiente debidamente etiquetado para la remisión al laboratorio. Este recipiente debe estar bien cerrado y precintado para minimizar las pérdidas de humedad y posibles manipulaciones que afecten las propiedades de los resultados.

También, se realizarán muestreos por medio de testigos o cores los cuales corresponden a secciones verticales comúnmente elaborados con materiales PVC.

5.3.5 Análisis fisicoquímicos.

Dentro del monitoreo fisicoquímico se establecieron los parámetros que se cuantificaron según el decreto N° 33903-MINAE-S y así poder clasificar el estado en el que se encontraba el cuerpo de agua. A partir de la clasificación de los cuerpos de agua superficial, se realiza una comparación con respecto a antiguos monitoreos realizados.

Los parámetros ensayados en laboratorio se desarrollaron bajo la metodología de muestreo y análisis descrita en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), ajustando las cantidades y materiales según hiciera falta. Una vez, tomada las muestras en campo, estas eran almacenadas en hieleras, y transportadas lo más pronto posible al Laboratorio Físico Químico de Aguas del HIDROCEC-UNA, ubicado en Liberia, Guanacaste. En el laboratorio se llevaron a cabo los análisis de: sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables totales, sólidos totales disueltos, pH, salinidad, Temperatura, conductividad eléctrica, % de oxígeno.

5.3.6 Interpretación de los resultados.

Al recopilar toda la información base y los resultados obtenidos con base a los muestreos in situ y análisis de laboratorio se plantea una evaluación para cada punto estratégico con el fin de valorar las condiciones actuales y propiedades fisicoquímicas.

5.3.6.1 Generación de recomendaciones y medidas de mitigación

Con referencias a la zonificación anterior expuesta por (Perez, 2002) y con la base de los resultados obtenidos de todos los muestreos y recorridos se generarán las recomendaciones pertinentes a los puntos seleccionados en el presente proyecto. Por lo tanto, se abarcarán los dos tipos de extracción expuestas (artesanal y mecanizada) para generar recomendaciones geológicas e hidráulicas según las condiciones de cada punto.

Cabe destacar que el presente proyecto no realizará zonificaciones nuevas en el cauce del río, sin embargo, se realizarán nuevas recomendaciones basadas en los resultados obtenidos que sirva como una línea base para procesos técnico-legales a futuro.

Sin embargo, se plantea la generación de un informe basado en la valoración de las condiciones actuales de extracción y los sitios potenciales para extraer materiales para concesiones futuras. Este informe sería presentado a la comunidad local para generar una concientización sobre los recursos mineros como arena y grava que se explotan en los cauces del Río Tempisque.

5.3.7 Conclusiones.

El capítulo anterior expone los métodos y herramientas metodológicas a seguir durante el proyecto para obtener el cumplimiento de los objetivos propuestos. El siguiente capítulo abarcará los resultados obtenidos de la aplicación del capítulo V.

Capítulo VI. Resultados y discusiones

6.1 Introducción

En el siguiente capítulo se mostrarán los principales resultados obtenidos y discusiones tras la ejecución del marco metodológico propuesto en el capítulo anterior.

6.2. Revisión bibliográfica sobre el otorgamiento de concesiones

Los artículos 50 y 121 de la Constitución Política establecen que el Estado costarricense debe procurar el mayor bienestar a sus habitantes, mediante la organización y el estímulo de la producción y el más adecuado reparto de la riqueza. Bajo este marco se creó el Código de Minería, Ley nro. 6797, con el propósito de garantizar una explotación racional del recurso minero y un aprovisionamiento oportuno. al mercado de esta materia prima, mediante el otorgamiento de concesiones a personas físicas o jurídicas, nacionales y extranjeras. Por esta razón, la minería se considera una actividad de utilidad pública con fines de lucro (Dirección de Geología y minas, 2016).

El Estado costarricense es el propietario legítimo de los recursos minerales metálicos y no metálicos del país. No pueden otorgar concesiones en cuanto a su uso, sino que deben otorgarlas a través del marco de gestión minera. Este marco debe equilibrar las consideraciones ambientales, así como los costos y los avances tecnológicos, a fin de asegurar el equilibrio ambiental, la seguridad jurídica para los intereses generales y corporativos y la transparencia en las acciones públicas relacionadas con el otorgamiento de concesiones.

6.2.1 Incongruencias en el proceso de otorgamiento de concesiones para la explotación minera no metálica.

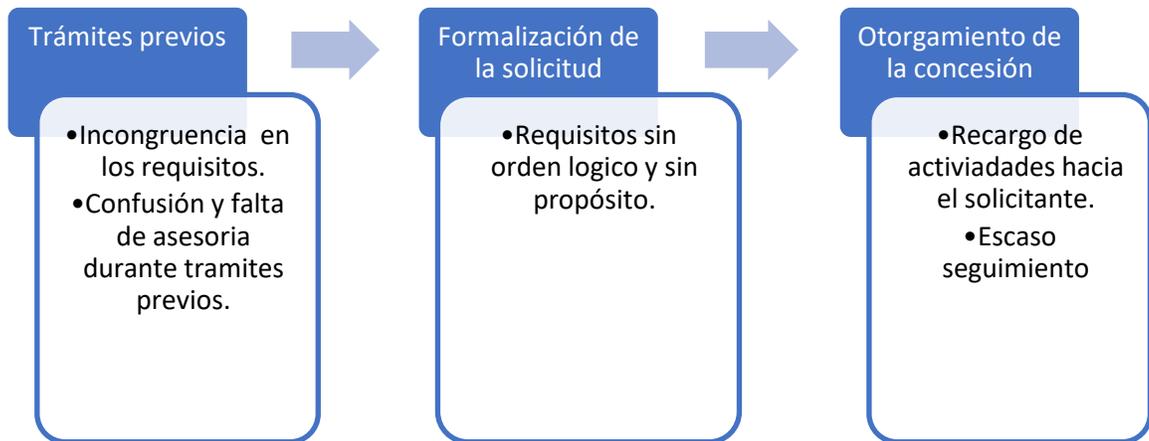


Figura 9. Incongruencias encontradas durante el proceso de otorgamiento de concesiones mineras.

Fuente: Elaboración propia basado en revisión de procesos de otorgamiento de concesiones (2022).

Según la revisión de los procesos de otorgamientos de las concesiones se distingue el incumplimiento de la Ley N 8220 sobre la protección al ciudadano del exceso de requisitos y trámites administrativos debido a la recarga que se le confiere al peticionario donde se le solicitan requisitos como los que se mencionan en la figura 9. Detalladamente, durante el proceso de trámite previo, el cual consiste en la reserva temporal del área de interés a tramitar, se determina que es inconsciente la solicitud de la certificación que acredite que dicha área de interés no se encuentre dentro de un área protegida. Lo anterior, hace hincapié a que este tipo de requisito se puede corroborar directamente con el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

6.2.2 Sobre el mercado de agregados para construcción.

Mediante entrevistas y giras de campo se realizó un breve estudio de mercado para dimensionar de manera general la situación actual del mercado arenoso de la zona de Carrillo, Guanacaste.

6.2.2.1 Análisis del mercado

Además de ser uno de los sectores más representativos y dinámicos de la economía y

el desarrollo de una región en potencial de desarrollo infraestructural como Guanacaste, el sector de la construcción es un importante consumidor de materiales y generador de residuos. Cada año las cifras del consumo de cemento, como su fabricación y productos de hormigón aumentan exponencialmente debido a la alta necesidad de expansión de las construcciones de viviendas y obras de infraestructura. Dadas las expectativas de crecimiento de la construcción en la provincia de Guanacaste, en especial en el cantón de Carrillo, la estimación de la demanda de materiales es necesaria para la planeación adecuada tanto en el sector minero como en la cadena de suministro de materiales.

6.2.2.3 Estudio del mercado

Con base a los resultados obtenidos de las entrevistas a cada uno de los actores del mercado local de agregados que se pudieron contactar se obtiene el movimiento del mercado para el periodo actual (ver figura 10).

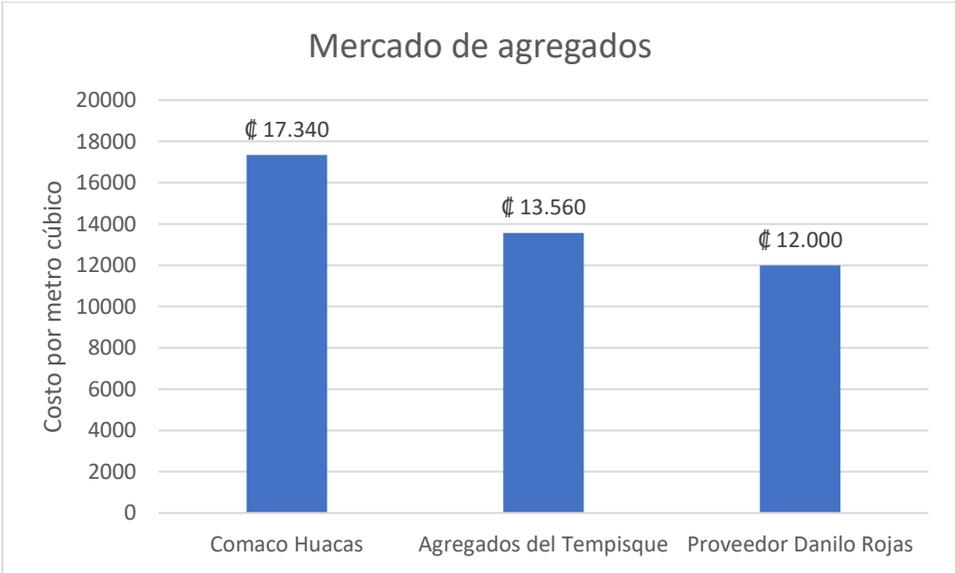


Figura 10. Estudio de mercado de agregados de la zona.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Según lo entrevistado, cada uno de estas empresas o proveedores poseen concesiones de extracción de arena del río, sin embargo, ninguno de los involucrados quiso dar aclaraciones sobre datos importantes como el volumen de extracción diario, el mecanismo que utilizan para la extracción del material y como lo transportan. Por lo tanto, se genera una

limitación importante con respecto a acceso a información con credibilidad por parte de las empresas relacionados a los agregados para el sector constructivo de la zona.

No obstante, según se visualiza en la figura 10, la empresa COMACO, ubicada en Huacas de Santa Cruz, posee los precios más altos del mercado. La razón se otorga debido a la cercanía del polo turístico del cantón de Santa Cruz donde los precios del mercado son mayores con respecto a otras zonas de la región.

6.2.3 Sobre visitas de campo

a) Entrevistas

Se realiza una entrevista de forma presencial en las oficinas de Asociación de Areneros Artesanales del Valle del Tempisque, ubicados en Carrillo, Guanacaste, el día 25 de octubre del 2022 con la señora Dunia López Lara, presidenta actual de la Asociación, donde se le plantean tres puntos de interés; los conflictos legales para el proceso de otorgamiento de concesiones para extracción artesanal, la capacidad de la extracción artesanal y su movimiento en el mercado local y la opinión como representante de la asociación de areneros más grande de la zona acerca del impacto ambiental causado por las extracciones desmedidas en el Río Tempisque.

Durante la entrevista, López destacó la incompetencia y frustración que siente al vivir rechazo de los trámites realizados para solicitar las concesiones y las renovaciones pertinentes por parte del MINAE como ente encargado del otorgamiento de permisos para la extracción de la arena del Tempisque. Se menciona que existe un conflicto de “intereses” a la hora de otorgar concesiones donde se benefician ciertas empresas de agregados de la zona y no se toman en cuenta los areneros artesanales locales que dependen totalmente de esta actividad.

En este contexto, las prioridades del Ministerio de Geología y Minas para las grandes empresas vuelven a colocarse no en el trabajo organizado e histórico de las comunidades locales, sino a favor de la minería a gran escala, más que prácticas que puedan convivir con el medio ambiente y compartir los beneficios.

Puntualizando las disconformidades con respecto a la concesión actual que poseen, se destacan las desigualdades de volumen de arena permisible entre los areneros artesanales y otras empresas que poseen concesiones para extraer material de forma mecanizada. López resalta que es injusto que los areneros artesanales solo tienen el derecho de extraer 10 metros

cúbicos diarios de arena mientras otras empresas poseen permisos de extracción de hasta más de 300 metros cúbicos diarios. Quiere decir que otras empresas extraen 30 veces más de lo que DGM le permite a la propia Asociación de Areneros Artesanales del Valle del Tempisque Según Dunia, esta situación es la que está agravando la calidad en las márgenes del río Tempisque ya que la extracción mecanizada que están utilizando es sumamente invasiva.

6.3 Selección de sitios de estudio

Para la selección de las zonas de estudio se considera la cantidad y calidad de la información existente en puntos estratégicos según se muestra en la figura 11, donde se pueda comparar las condiciones fisicoquímicas y batimétricas de la parte baja cuenca de estudio. Por lo tanto, el primer punto de estudio corresponde al puente de Guardia sobre el Río Tempisque en el distrito de Nacascolo, seguidamente se selecciona el segundo punto ubicado en el sector de Hacienda Tempisque, Carrillo.

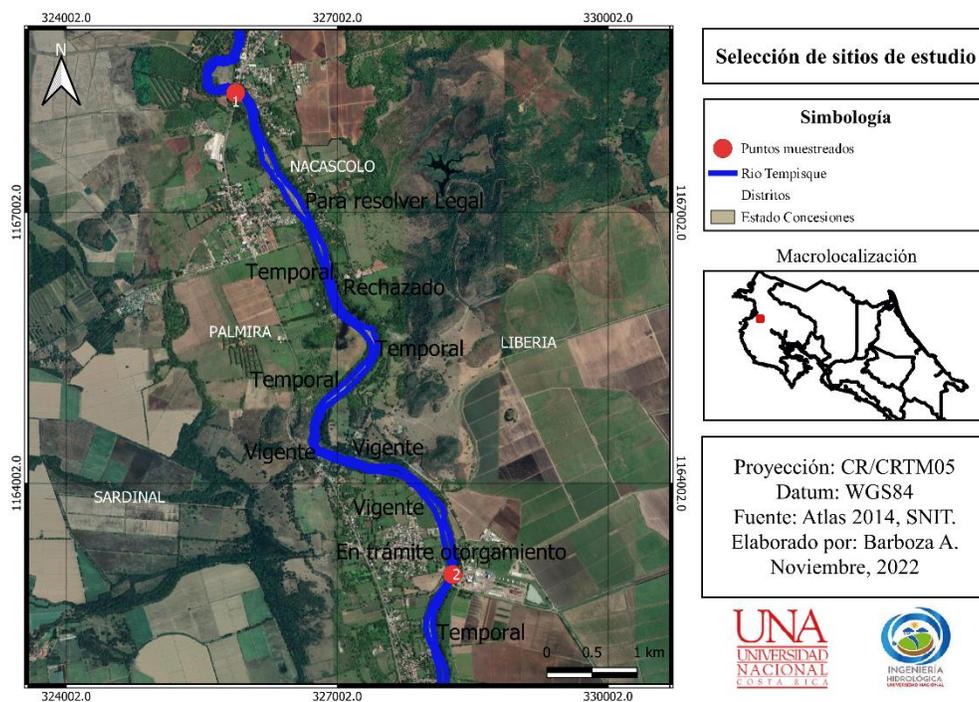


Figura 11. Criterios para la selección de sitios de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El mapa cartográfico anterior se realizó basado en las capas del catastro minero obtenidas del Sistema Nacional de Información Territorial bajo el nodo de la Dirección de Geología y Minas, y el Registro Minero conforme según sus competencias según Reglamento del código de Minería, Ley N° 6797, Artículo 7, donde se pone a disposición del público los polígonos que representan las solicitudes de reservas de área y expedientes de concesiones ya otorgadas, para los diversos tipos de explotación minera posibles en Costa Rica.

En la figura 11, se detalla el estado de las concesiones cercanas a los sitios de estudio seleccionados, donde según la Dirección de Geología y minas, Únicamente los expedientes cuyo estado es “VIGENTE” tienen permiso para extraer material. Por lo tanto, los estados “TEMPORALES” entre otros, son áreas solicitadas y en trámite de obtener una concesión por lo que es un área aproximada para fines de tramitología.

6.3.1 Descripción de los monitoreos realizados

El primer muestreo se realiza en época de verano específicamente en el día 01 de marzo del 2022 en el primer punto correspondiente al puente de Guardia y el segundo punto localizado en Hacienda Tempisque, esto para valorar la incidencia de las extracciones durante esta época del año. El segundo muestreo se realiza el día 13 de julio del año 2022. Se eligieron estos puntos del año para comparar la incidencia de las extracciones de arena en su temporada de mayor explotación como es el verano (ver figura 12), seguidamente se seleccionan los muestreos realizados en el mes de julio para comparar y evaluar las condiciones de los parámetros de interés entre la época de mayor extracción y el mes donde la actividad extractiva se reduce por la época de invierno.

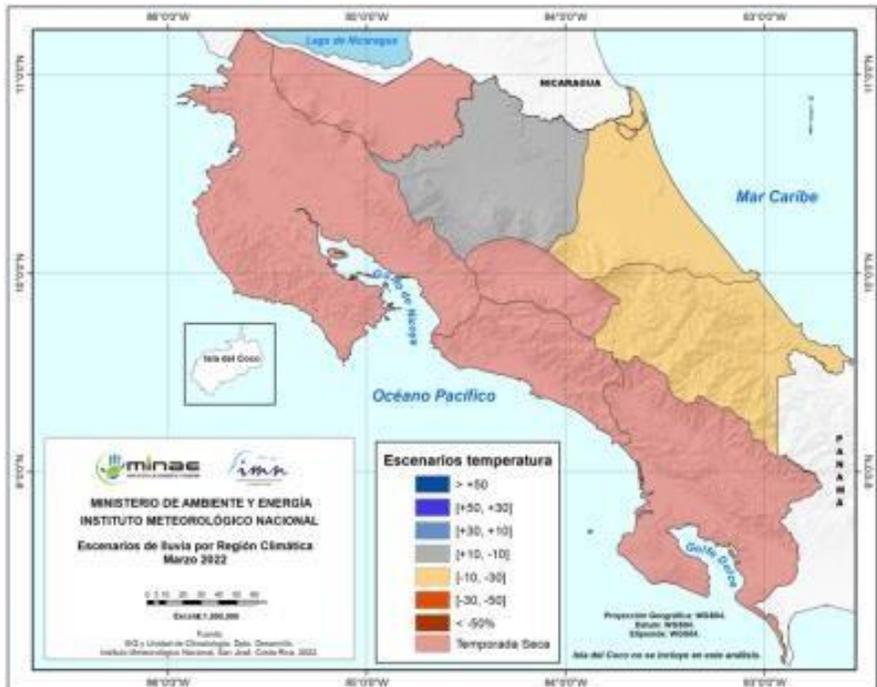


Figura 12. Pronóstico de temperatura para el periodo de marzo del 2022.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2022.

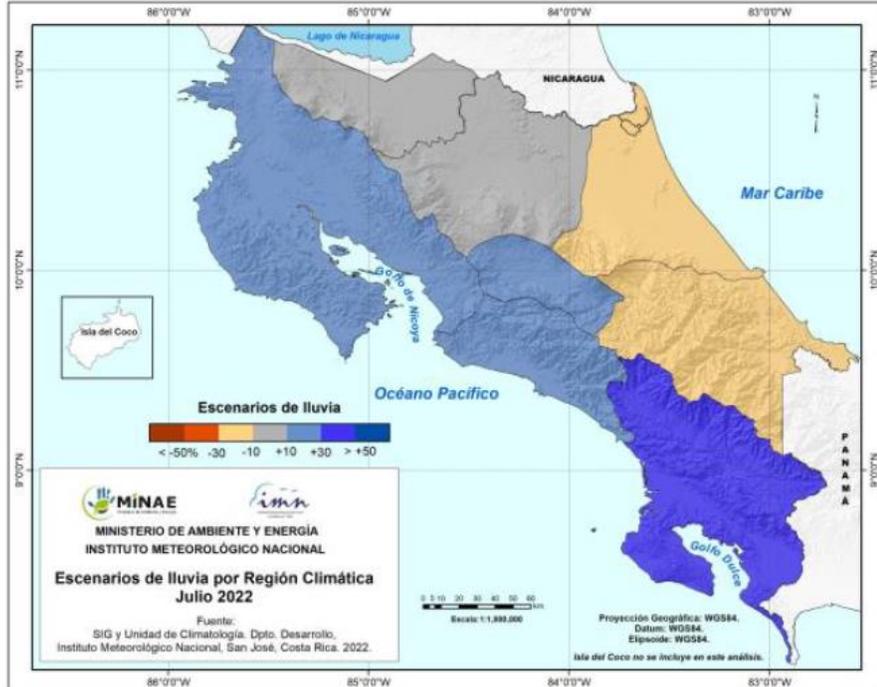


Figura 13. Pronóstico de lluvia para el periodo de julio del 2022.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2022.

Se demuestra la meteorología concurrente a los muestreos realizados, esto para evidenciar las condiciones de los puntos seleccionados con relación al impacto causado por la extracción de arena en plena temporada y posterior a la misma.

6.4 Resultados de los análisis fisicoquímicos y batimétricos

Para los resultados, se utilizan muestreos fisicoquímicos previos por parte de HIDROCEC, además, datos registrados por el equipo Aforador de corriente acústico Doppler (ADCP por sus siglas en inglés), ver anexo #1, por parte de Dirección de aguas en los mismos puntos de estudio antes descritos. Una vez obtenidos estos datos, se procede a analizarlos y procesarlos en el software Win RiverII con la finalidad de obtener los resultados relacionados a los puntos seleccionados para el estudio.

6.4.1 Monitoreo fisicoquímico

Seguidamente se detallan los muestreos realizados (ver tabla 3), para los dos puntos de estudio donde se obtienen los valores para cada parámetro analizados, sin embargo, los parámetros de mayor relevancia corresponden a los sólidos totales disueltos (STD), sólidos sedimentables totales y sólidos suspendidos totales.

Tabla 3. Resultados obtenidos de los monitoreos realizados para los puntos A y B, en

los periodos de marzo y Julio del 2022.

Parámetros	Sitio			
	Puente de Guardia		Hacienda Tempisque	
	Marzo (01/03/2022)	Julio (13/07/2022)	Marzo (01/03/2022)	Julio (13/07/2022)
pH	7.89	7.43	7.54	7.05
CE (µs/cm)	256	153.7	253.7	222.2
T (C°)	28.4	28.1	28.5	29.1
OD (mg/L)	8.11	8.05	6.44	3.95
% O	104.9	103.5	83.7	51.3
Salinidad	0.175	0.127	0.174	0.159
STD (mg/L)	126.2	76.26	125.2	109.3
Turbiedad NTU	9	15.65	13	52
Sólidos sedimentables totales (mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.10
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	7.36	10.09	10.52	40.63

Fuente: Elaboración propia, 2022.

La relación de cada uno de los parámetros examinados entre los puntos y las fechas en las que se muestrearon son de suma importancia ambiental debido a la correlación entre cada uno.

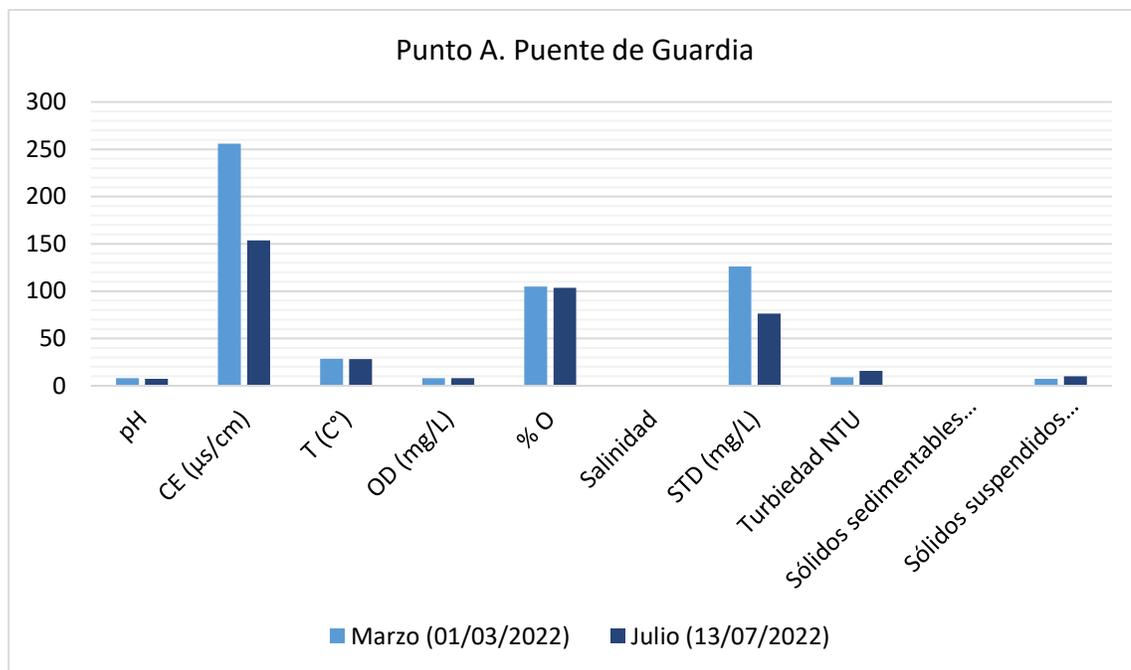


Figura 14. Resultados obtenidos del monitoreo en el puente de Guardia para el periodo de marzo y julio del 2022.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anteriormente, se resalta que, a pesar del enfoque de este estudio, no se le puede restar a los demás parámetros examinados. Por lo tanto, se detallarán de manera general cada uno para la comprensión de las condiciones fisicoquímicas para cada fecha y sitio muestreado. Para el caso del punto A, se determina una variación ligera del pH desde el mes de marzo al mes de julio debido al aumento de la precipitación en la zona. Con respecto, al oxígeno disuelto y el % O en el punto A, no se encuentra una perturbación alguna, según se observa en la figura 14, estos valores tienen una tendencia constante.

Con relación a la turbiedad, es el grado de opacidad en el agua debido a la presencia de material particulado en suspensión. La concentración de sustancias determina la transparencia del agua debido a que limita el paso de luz. Algunas actividades como: construcciones de carreteras, canteras, minería; dejan el suelo expuesto a la erosión, permitiendo que por escorrentía se altere este parámetro en ríos (Pérez & Restrepo, 2008). Estos valores de turbiedad en este punto no reflejan incidencia alguna por parte de la extracción de arena debido a que aguas arriba del punto A no se encuentran concesiones vigentes cercanas. Sin embargo, la variación que existe puede ser causada por el aumento del caudal y la remoción de lo tierra producto de la lluvia.

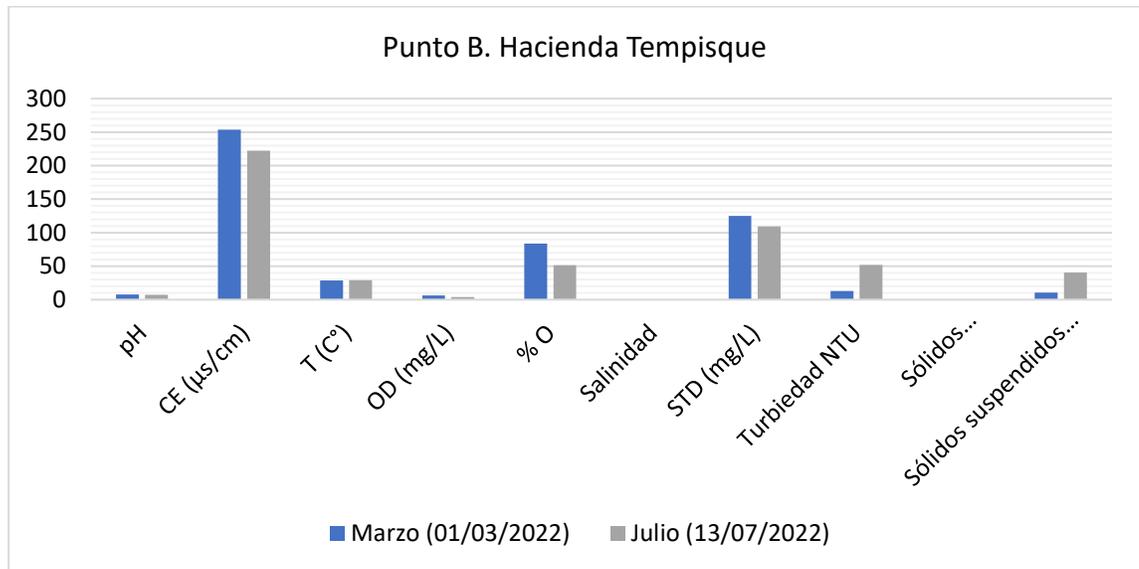
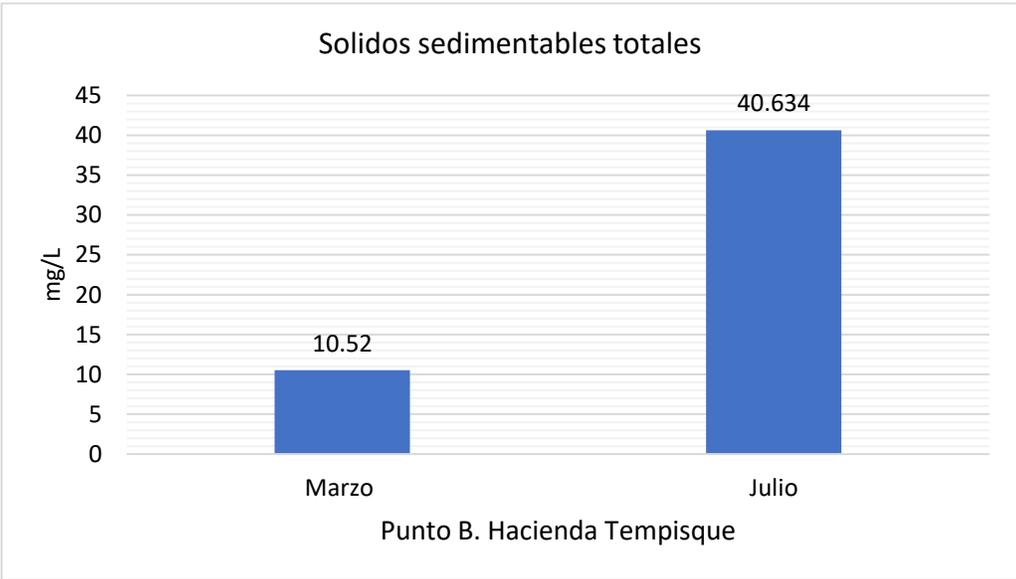


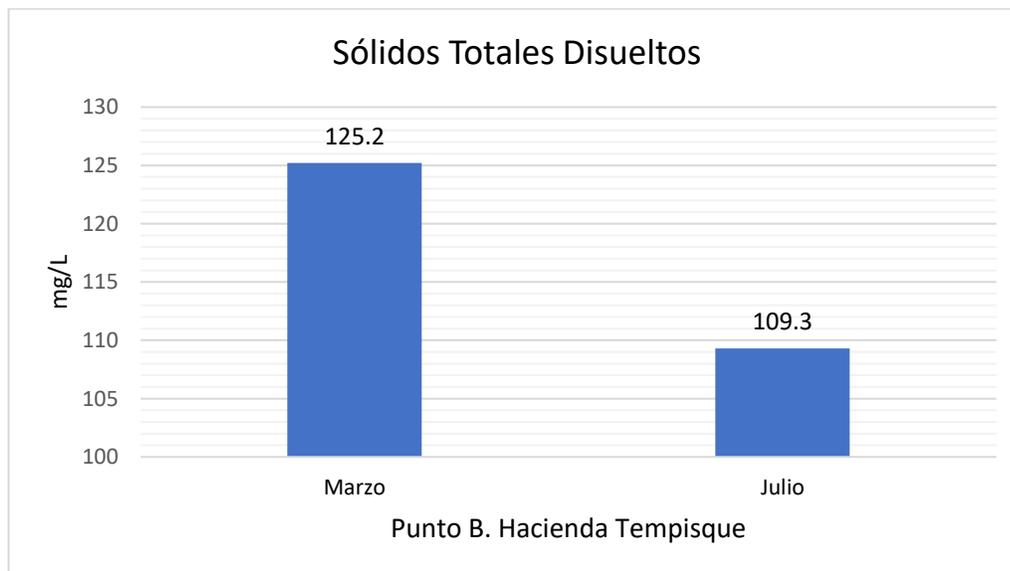
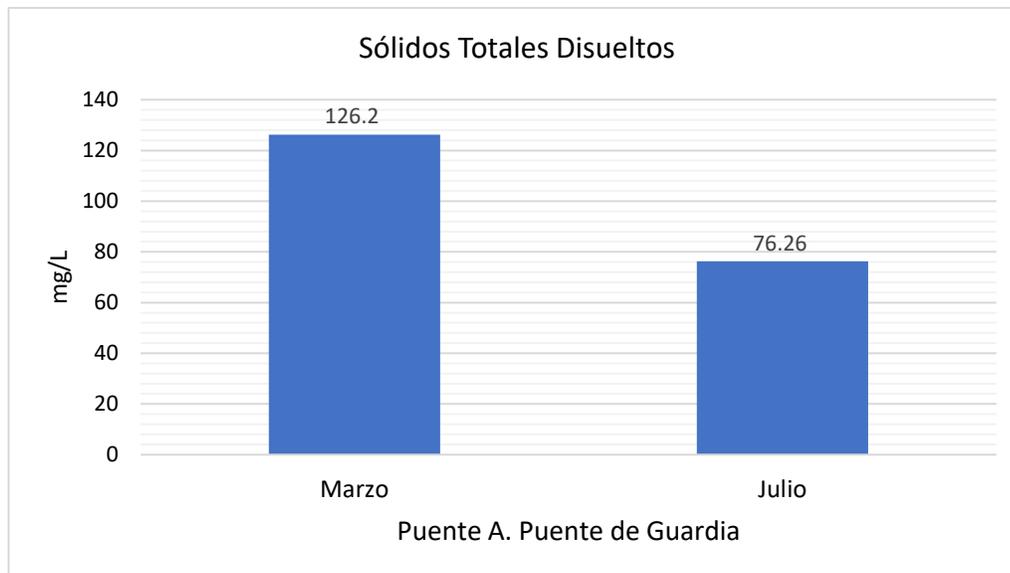
Figura 15. Resultados obtenidos del monitoreo en el puente de Guardia para el periodo de marzo y julio del 2022.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para el análisis en el punto B según se visualiza en la figura 15, acerca del pH, suceden situaciones adversas donde el pH desciende un valor de 0.49. También la turbiedad, se ve sumamente alterada donde escala de un valor de 13 NTU en el mes de marzo a un valor de 52 NTU para el mes de julio respectivamente. Muchos factores podrían estar incidiendo en este punto, sin embargo, se correlaciona esta situación con la misma hipótesis del punto A donde producto del incremento de las lluvias, la remoción de sedimentos y el transporte de partículas en suspensión hacen que se reduzca la transparencia en el agua. Además, este aumento de turbidez también se ve ligado a vertimientos industriales producto de ingenios azucareros cerca de la zona.

Figura 16. Resultados obtenidos de la medición de los sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos disueltos en los dos puntos de estudio (A y B) durante los dos muestreos realizados.





Fuente: Elaboración propia, 2022.

Seguidamente se realizan las comparaciones con los parámetros más destacados debido a la relación directa que poseen con los sedimentos del cauce, así como la incidencia que sustentan los posibles impactos ambientales en la calidad del agua del río y sus márgenes.

En primera instancia, es importante recalcar la relación conductividad eléctrica-sólidos totales disueltos ya que estos parámetros insinúan una relación significativa con el transporte de sales disueltas, como las que se utilizan como fertilizantes en tierras de cultivo, que son transportadas por canales a los ríos con escorrentía superficial. El valor de STD fue

admisible para todos los puntos y los diferentes muestreos, sin embargo, no se puede omitir las variaciones entre cada punto y entre cada muestreo realizado.

Al utilizar el punto A como referencia base para compararlo con el punto B, se obtienen una serie de acotaciones con respecto a las variaciones de los parámetros examinados. Para el caso de los sólidos totales disueltos en el primer muestro, estos aumentan considerablemente en el segundo muestreo realizado el 07 de julio del año 2022, sin embargo, parte de esto ocurre producto de las precipitaciones y el arrastre de sedimento desde aguas arriba hacia aguas abajo. Además, los SDT también están ligados a posibles contaminaciones de aguas residuales debido a las actividades agrícolas realizadas en los márgenes del río Tempisque. Cabe destacar que uno de los problemas al obtener valores altos de STD son el aumento de la turbidez, consecuente al desencadenamiento de afectaciones en la producción de oxígeno disuelto del río debido a la reducción de la actividad fotosintética de los organismos acuáticos

Correspondiente al primer muestreo se comprueba el incremento de los sólidos como partículas suspendidas en la lámina de agua del río donde se obtiene un valor de 7.36 mg/L en el punto A y posteriormente se obtiene un valor de 10.52 mg/L en el punto B correspondiente a Hacienda Tempisque. Esto genera indicios de la explotación de las márgenes del río entre ambos puntos seleccionados derivado de la extracción desmedida de los recursos mineros, pues es evidente que estas actividades extractivas generan grandes movimientos de tierra en el cauce del río lo que genera una alta cantidad de partículas en suspensión.

6.4.2 Monitoreos batimétricos

La información proporcionada por Dirección de Aguas corresponde a datos de perfiles de las secciones transversales, así como información geomorfológica de los puntos de estudio donde mediante el software de toma y procesamiento de datos WinRiver II se realizaron los análisis y discusiones correspondientes.

Como primer resultado se obtiene la medición batimétrica en el primer punto

realizado en el mes de marzo, donde claramente se aprecian velocidades muy bajas en el cauce producto de la época de verano en la zona (ver figura 17). No obstante, se encuentra una profundidad máxima del río de 3.07 metros y un área de la sección transversal de ese punto de 87,07 m².

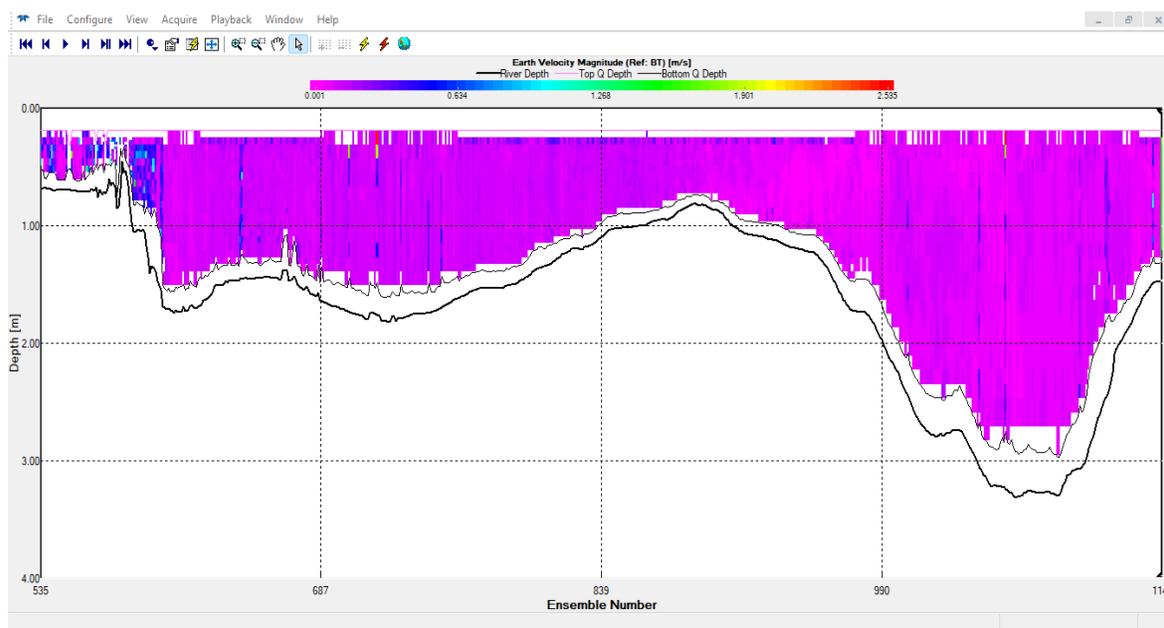


Figura 17. Sección transversal de la batimetría del punto A para el mes de marzo.

Fuente: Dirección de aguas, 2022.

La figura 18, corresponde al perfil transversal de punto A realizada el día 14 del mes de julio, donde se destacan una profundidad máxima de 3,89 metros y un área transversal 146.06 m². Se destacan las profundidades en las márgenes tanto izquierda como derecha, lo que resulta importante para el análisis acerca de los bancos de arena en el lecho del río para dimensionar la capacidad de extracción en la época de mayor explotación como es a inicios de año en pleno verano y en el mes de julio donde las actividades extractivas han reducido mayoritariamente debido a la transición de la época lluviosa.

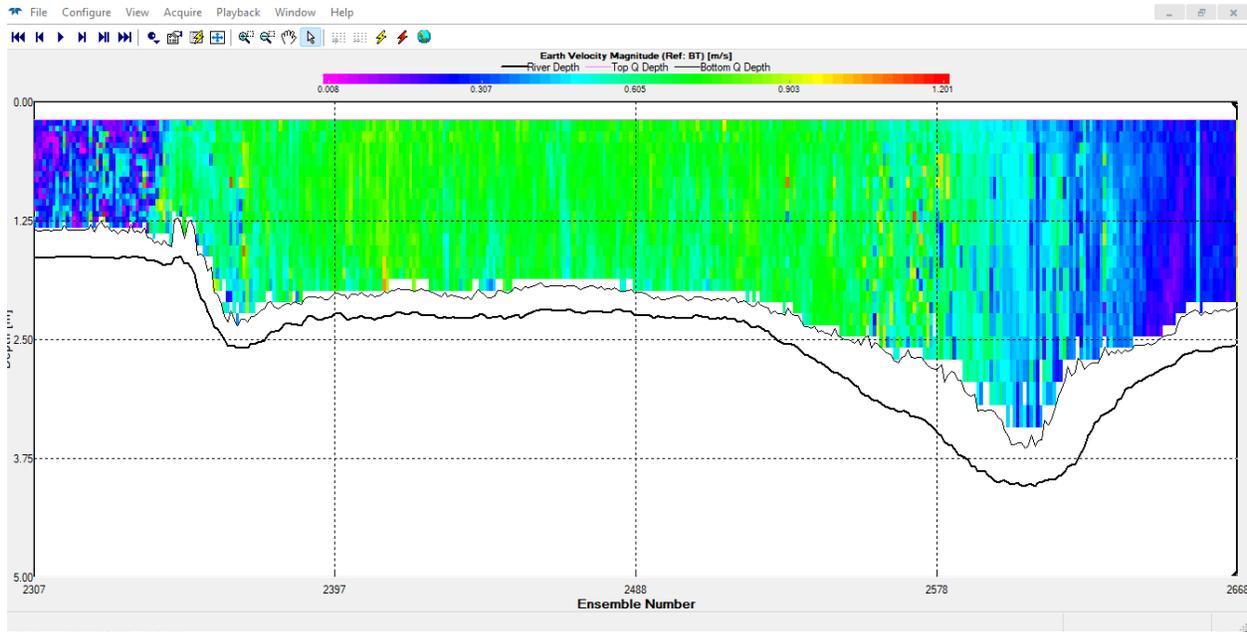


Figura 18. Sección transversal de la batimetría del punto A para el mes de julio

Fuente: Dirección de Aguas, 2022.

En relación entre la figura 17 y figura 18, se determina la incidencia que tiene la transición de las épocas de verano a invierno donde se denota el crecimiento de la columna de agua, así como el área total de la sección transversal. Esto es importante ya que se puede determinar que existe una lenta recuperación de los bancos de arena, sin embargo, cabe resaltar que la mayor incidencia de la recuperación de estos bancos ocurre durante las crecidas, es decir, cuando el cauce del río aumenta bruscamente producto de altas concentraciones de precipitación aguas arriba.

6.5 Criterios para la selección de sitios alternativos para extraer recursos minerales.

Basado en zonificaciones anteriores y bajo criterio de los “stakeholders” se determina que la concienciación por parte de las personas concesionarias es fundamental para la conservación de los sitios de extracción, ya que ellos determinan el volumen que desean extraer respetando o no los límites establecidos por la concesión otorgada. Es aquí donde la ética ambiental conlleva a una gran práctica, sin embargo, es claro que existen intereses económicos y políticos de por medio, lo que debilita el estado de la situación y se agravan

los daños ambientales producidos por las desmedidas extracciones.

6.6 Propuesta para las autoridades

Se ha planteado la necesidad de revisar y reestructurar el proceso de concesión de la minería no metálica y su marco legal en respuesta a la presión cambiante sobre los recursos minerales y hacia la agilización del proceso y una mayor certeza para el uso sostenible. Lo anterior se debe aplicar bajo un armonizado entorno social circundante.

Las concesiones mineras rara vez son monitoreadas, por lo que es imposible conocer el estado de las operaciones y los beneficios económicos y sociales que brindan, esto representa una grave amenaza para los recursos minerales, ya que se desconocen con exactitud los volúmenes de extracción, el estado de los cauces de dominio público ante la concentración de concesiones en el río Tempisque y la razonabilidad de los rendimientos económicos generados.

Para lograr mejoras en el proceso de concesiones mineras es importante depender totalmente del fortalecimiento por parte de Dirección de Geología y Minas e incluir este tema de actualidad en la agenda nacional el cual se ha visto omitido en las prioridades del Plan Nacional de Desarrollo anteriores.

6.7 Discusión de principales hallazgos

6.7.1 A partir de la revisión de literatura realizada acerca de los procesos de otorgamiento de concesiones para materiales no metálicos, se evidencian las trabas existentes a nivel administrativo donde se encuentran vacíos en los procesos y/o requisitos de los tramites, La obligación que recae en el interesado de tramitar la publicación de la resolución de otorgamiento la comprobación a la Dirección de Geología y minas así como la solicitud de la inscripción a Registro Nacional no tiene razonamiento alguno. Esto debido a que, por naturaleza de estas acciones, se manifiesta que deberían ser propios de la DGM ya que esta institución posee el poder del otorgamiento, control y fiscalización de los recursos mineros.

Apegándose a Ley N°8220, la cual hace énfasis en la simplificación y eliminación de los excesos de trámites, está clara la incongruencia durante los procesos de trámite de las concesiones donde carecen de un análisis de reestructuración interno sobre el proceso de otorgamiento de concesiones de recursos mineros donde el enfoque debería en función de principios como celeridad, eficacia y simplicidad.

6.7.2 Las visitas de campo realizadas permitieron abrir un panorama de la situación de años atrás y la actualidad sobre la lucha en la tramitología legal de las concesiones y los conflictos de intereses que existen sobre la cuenca del Río Tempisque donde se evidencia el poder que poseen grandes magnates empresarios de la zona sobre pequeños grupos de personas trabajadoras. Estos conflictos de intereses han traído consigo afectaciones económicas, así como un fenómeno de extinción producto de las desigualdades en costos de producción y abusos sobre muchas familias que dependen de la actividad de extracción de materiales

6.7.3 La elección de los puntos a estudiar fue basada bajo un criterio de cercanías a concesiones con estado de vigencia para corroborar de forma científica los impactos de la extracción de materiales en cierto tramo del Río Tempisque. Además, se toma en cuenta la disponibilidad y el acceso a los datos existentes de los muestreos, así como la calidad de estos. También, se considera analizar tres muestreos distribuidos a lo largo del año para comparar las condiciones o las afectaciones de los tramos seleccionados ya que los periodos de extracción varían a lo largo del año, es decir, el periodo pico de extracción ocurre en los primeros meses del año, posterior a esa época, se entra a un tiempo de veda.

Los parámetros destacados para el estudio corresponden a todos los ligados a los sedimentos de ríos donde se destaca los sólidos sedimentables totales, sólidos suspendidos totales y los sólidos totales disueltos. También, se realizaron otros parámetros fisicoquímicos como los que se presentan en la tabla #, los cuales no se les resta importancia ya que también se relacionan con la calidad de agua del río, sin embargo, para efectos del proyecto se hace un mayor énfasis en los parámetros antes mencionado debido a la relación pertinente con la extracción de arena.

6.7.4 A partir de los análisis fisicoquímicos realizados se comparan los puntos seleccionados para determinar las alteraciones que persisten, según la figura 15, los sólidos suspendidos totales tienen a aumentar de la primera medición a la segunda en el punto A debido al inicio de la época de invierno, por lo tanto, el arrastre de sedimentos en el río aumenta, sin embargo, se encuentra que el punto B, teniendo en cuenta el fenómeno de transición de verano a invierno, los SST tienden a incrementar aún más, lo cual evidencia la extracción desmedida de materiales en ese tramo.

Esta evidencia se considera debido a que los SST hacen referencia al material

particulado que está en suspensión en el cuerpo de agua superficial, entonces, el dragado o movimientos bruscos en los lechos del río van a estar ligados al aumento de partículas en suspensión.

Con respecto a los Sólidos totales disueltos como el punto A se utiliza como referencia base, se procede a analizar la ocurrencia en el punto B, correspondiendo a Hacienda Tempisque donde se obtiene una reducción desde en los periodos de muestreo, es decir, en el primer muestro del punto B se obtuvo un valor de STD de 152,2 mg/L y para el segundo muestreo en ese punto se obtuvo un valor de 109,3 mg/L lo que se considera como una reducción de los sólidos. Los STD están ligados a la composición de partículas con sales y minerales por lo tanto es evidente que existe una pérdida en estas concentraciones.

6.8 Discusión sobre los objetivos planteados

Primeramente, se recopilaron informaciones bibliográficas tales como oficios, decretos, tesis, artículos y demás relacionados a temas de concesiones para extracción de arena de río, así como los impactos y consecuencias de la sobreexplotación de esta práctica. Sin embargo, la información encontrada es de forma muy generalizada y no específica para cuencas hidrográficas.

Un aspecto encontrado y que sirvió de referencia fueron audiencias realizadas para realizar modificaciones en el reglamento actual para el otorgamiento de concesiones de extracciones de recursos mineros, lo que se complementan con las inquietudes declaradas por los “stakeholders” del proyecto.

Con relación al segundo objetivo planteado, se logra valorar las condiciones actuales de los puntos seleccionados para los análisis realizados a los monitoreos existentes en los sitios de interés. Los márgenes de tiempo seleccionados fueron del año 2022 debido a la disponibilidad de datos existentes, aun así, se logró evidenciar el impacto que recae dentro de los puntos del cauce seleccionados.

Con respecto al tercer objetivo, basado en criterios técnicos propios y sobre literatura investigada se establece que la labor de la selección de otros sitios de extracción corresponde a las personas físicas o jurídicas que realicen los procesos de otorgamiento de concesiones, así como el ente de Dirección de Geología y Minas. Sin embargo, se establecieron criterios de priorización para el seguimiento de las concesiones de explotación minera no metálica,

basados en los riesgos de la actividad según los ámbitos económico, social y ambiental; y con base en ello elaborar la programación de las inspecciones de campo y su debida diligencia.

Por último, el cuarto objetivo planteado se basó en la generación de recomendaciones sobre los sitios actuales, el cual se cumple basado en los resultados obtenidos de los análisis sobre los monitoreos fisicoquímicos y batimétricos realizados. De tal forma, se pudo establecer comparaciones sobre los perfiles transversales y resultados fisicoquímicos de los puntos de estudio en dos diferentes periodos del año.

6.9 Discusión sobre el diseño metodológico planteado

El diseño metodológico planteado para el cumplimiento de los objetivos fue dividido en tramos para su mejor comprensión y realización, la primera parte se basó en la revisión del marco jurídico-legal de los trámites para el otorgamiento de concesiones para recursos mineros por parte de los entes correspondientes. Esta metodología amplió la noción por parte de los solicitantes de otorgamientos y renovaciones para concesiones y la alta incongruencia que existe durante el proceso.

Seguidamente, se realizaron los análisis a los monitoreos realizados para la obtención de los resultados esperados que sirvieron para evaluar las actividades extractivas del río Tempisque. Sin embargo, para reforzar esta metodología y la estimación de los datos se pueden implementar más monitoreos batimétricos en diferentes puntos donde ocurran explotaciones desmedidas de los bancos de arena producto de grandes cantidades de volumen de arena concesionado.

Capítulo VII. Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se exponen las conclusiones derivadas de los hallazgos analizados en el capítulo anterior, con base a ello, se proponen las recomendaciones pertinentes para los procesos de otorgamiento para concesiones para la extracción de arena, así como los impactos evaluados productos de la extracción de arena evidenciados por los análisis fisicoquímicos y batimétricos realizados.

7.1 Conclusiones

La revisión bibliográfica y los análisis en los procesos de otorgamiento de las concesiones de recursos minerales no metálicos lograron determinar el déficit en la estructuración de las instituciones relacionadas con el control y fiscalización de los recursos mineros del país. No obstante, la Dirección de Geología y Minas cuyo objetivo fomenta el desarrollo de la minería nacional, tiene que plantearse una auto evaluación y reestructuración sobre los procesos de otorgamiento de concesiones de extracción de materiales apegado a su marco jurídico y regulatorio que haga hincapié a la presión sobre los recursos mineros y la sostenibilidad que se está perdiendo año tras año debido a la explotación desmedida de los recursos mineros.

Además, es importante analizar la brecha entre el marco jurídico de la minería nacional junto con otros reglamentos de recursos para agilizar los procesos y fomentar la simplicidad, eficacia y celeridad durante el proceso de trámite previo y otorgamiento. De esta forma se recomienda a la Dirección de Geología y Minas realizar una revisión de los procesos para evitar propiciar inseguridades jurídicas, reprocesos y atrasos en las gestiones administrativas.

Existe poco seguimiento de las concesiones mineras, lo que imposibilita determinar el estado de la actividad en el país y los beneficios económicos y sociales que representa. Esto representa una amenaza para los recursos desarrollados debido a la tasa de extracción desconocida, el estado del acceso al dominio público debido a la concentración de concesiones en ciertos ríos y la justificación de los retornos económicos generados.

Los análisis de laboratorios realizados permitieron evidenciar los daños

fisicoquímicos que ocurren durante el año producto de la extracción minera exenta de control en los tramos de estudio, por lo tanto, se han generado implicaciones ambientales mostradas en los parámetros ligados a la sedimentación del río que reflejan los daños en las condiciones ambientales del río donde se presentan cambios abruptos en la geomorfología de las márgenes donde se encuentran asentadas las extracciones mineras.

Este impacto causado, ha repercutido en la dependencia de “llenas” o inundaciones por parte de pequeños grupos de areneros artesanales, puesto a que la cantidad o la capacidad de los bancos de arena ha llegado a un punto de relación por el transporte de sedimentos a gran escala cuando ocurren estos fenómenos. Es decir, grupos de areneros artesanales ven las inundaciones como una puerta de oportunidades para sustentar el trabajo del día a día.

7.2 Recomendaciones

Recomendaciones según los hallazgos principales encontrados

- Con respecto al proceso incongruente de otorgamientos para la extracción de recursos minerales, se recomienda principalmente reorganizar el proceso de otorgamiento de concesiones mineras no metálicas para complementar mejoras en al menos las siguientes áreas: secuencia lógica de actividades, puntos de control de calidad, eficiencia, eficacia, sistema legal integral, simplificación de trámites, racionalización de plazos y estándares de requisitos básicos. Además, se debe mejorar y reestructurar el sistema de información automatizado para administrar las concesiones mineras desde el ingreso de la solicitud hasta el seguimiento y cierre de la concesión, lo que permite a los administradores procesar las solicitudes de concesión minera y verificar el estado del proceso.
- También, perfeccionar y renovar la información del Catastro Nacional Minero, de forma que garantice razonablemente la calidad de dicha información, así como la actualización de los nodos de las capas del Sistema Nacional de Coordinación de la Información Territorial (SNIT). Y no menos importante, hay que destacar los criterios de priorización para el seguimiento de las concesiones de explotación minera no metálica, basados en los riesgos de la actividad según ámbitos ambientales como los que se demostraron en los análisis de resultados.

Con relación a la evaluación de la situación actual de las zonas de extracción de minerales,

se recomienda realizar monitoreos lo más próximo posible para realizar una base de datos que sirva como referencia antes de que inicie la época de mayor explotación de los bancos de arena en los distintos tramos del río Tempisque en el sector de los distritos de Palmira, Paso Tempisque y Filadelfia. Esto con la finalidad de evaluar de forma general los parámetros batimétricos y no solo ciertos puntos en específico.

A partir de los resultados obtenidos, se pudo instituir el punto A correspondiente al puente de Guardia como un buen punto de control ya que es una zona donde no se realizan concesiones determinantes aguas arriba, por lo tanto, sirve de forma óptima como un puesto de control base para la comparación con los demás monitoreos que se realicen a futuro. Cabe destacar, se debe tener una percepción amplia sobre los resultados obtenidos ya que ese tramo del río ha estado en constante contaminación por parte de desechos agrícolas y orgánicos por fuentes antropológicas. Es decir, se debe saber diferenciar los parámetros que afecten la geomorfología del cauce y los que se relacionan con las fuentes de contaminación por agentes externos.

Debido al enfoque del presente proyecto se omitieron más no se minimizaron los demás parámetros monitoreados los cuales se pudieron observar que existe un aumento de la contaminación orgánica. Por lo tanto, es importante la cuantificación de las zonas que posean sistemas de tratamiento de aguas residuales para amplificar e identificar posibles fuentes de contaminación hacia el río.

Por último, una limitante importante fueron las condiciones climáticas y la disposición del equipo ADCP, por ello es importante retomar estos monitoreos ya que son sumamente importantes para la cuenca hidrográfica como tal además de que sirve como un gran insumo para proyectos ingenieriles relacionados al ejercicio profesional de un hidrólogo.

Referencias

- Alpizar, E., Bolaños, R., Bravo, J., Canessa, G., & Echeverría, J. (1998). *Plan de acción para la cuenca del Río Tempisque, zonas de vida, biodiversidad, áreas protegidas y humedales*. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica: Volumen II.
- Arias, M. (2017). *Evaluación de la composición fisicoquímica de sedimentos de fondo en el Río Tempisque*. Universidad Técnica Nacional.
- ATL. (2010). Cuencas hidrográficas. Obtenido de http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=2728:cuencas-hidrologicasique-son-ipor-quesonimportantes&catid=119:investigacion-y-agua&Itemid=462
- Basile, P. (2018). *Transporte de Sedimentos y Morfodinámica de Ríos Aluviales*. Rosario: Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. *CEPAL*, 5.
- Flores, F. (2018). *HIDROMETRÍA*. Perú: Universidad José Carlos Mariátegui, Facultad de Ingeniería y Arquitectura .
- Gómez, D. M., & Barredo, C. J. (2004). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación territorial. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744669002.pdf>
- González, E. (2017). Geoquímica de elementos mayores y traza en sedimentos de la cuenca hidrográfica Las Bramonas, Baja California Sur, México.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2011). Estudio de las cuencas hidrográficas de Costa Rica. 362.

- Instituto Nacional de Estadística y Censo . (2011). Características Sociales y Demográficas. Obtenido de https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/estadisticas/resultados/replaccenso2011-10.pdf.pdf
- Jardí, M. (2006). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*.
- Marín, L. C. (2014). La extracción de arena y minerales de río como factor determinante del ambiente .
- Marqués , M. (1996). Concepto de erosión, El. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 4(3), 198-202.
- Martin , L. C. (2014). La extracción de area y minerales de río como factor contaminante del ambiente.
- Montes, Z. (2009). *Efecto de regulación de cuerpos de agua en la producción de sedimentos en cuencas hidrográficas*. Santiago de Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Mora, D. C., & Hurtado, J. M. (2004). *Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbdiro*. Bogotá.
- Morales, R. (2013). Metodología de análisis del riesgo por contaminación de agroquímicos: cuenca del Río San Blas, Costa Rica. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v22n1/art07v22n1.pdf>
- Murcia, C., Muñoz, R., & Sosa, M. (2012). Modelaje integrado de cambio climático y socioeconómico en el manejo sostenible del recurso hídrico en la cuenca Arenal-Tempisque: Una propuesta multidisciplinaria. *Revista de Ciencias Ambientales*, 43(1), 47-62. doi:<https://doi.org/10.15359/rca.43-1.5>
- Perez, W. (2002). Estudio de revisión de la zonificación del río Tempisque (Decreto No. 22813-MIRENEM), sobre extracción de minerales. *Ministerio de Ambiente y Energía*.
- Peters, G. (2001). La Cuenca del Tempisque: Una perspectiva Histórica. *La Cuenca del Río Tempisque: Perspectivas para un manejo Integrado*, 1-2.
- Quesada, L. E. (2019). *Respuesta de la hidrología superficial de la cuenca del río Tempique a la variabilidad climática y cambio de cobertura de la tierra*.

- República de Costa Rica. (2010). Gobierno presenta proyecto para garantizar abastecimiento de agua en Guanacaste por los próximos 50 años. Obtenido de <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2020/07/plan-propone-71-proyectos-hidricos-en-guanacaste/>
- Sapag, R., Sapag, N., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Vega, J. M. (2001). Características de la cuenca del Río Tempisque. *La Cuenca del Río Tempisque: Perspectivas para un manejo Integrado*, 32-33.

Anexos

Anexo 1. Inducción del equipo ADCP por parte de profesionales de Dirección de Aguas en uno de los monitoreos realizados en el 2021.



Fuente: Fotografía tomada por el autor, 2021.

Anexo 2. Diagrama de Gantt del proyecto.

Cronograma de actividades																									
	Julio					Agosto					Septiembre					Octubre					Noviembre				
	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	
Recopilación de información base																									
Reunión con personal de HIDROCEC																									
Análisis de zonificaciones anteriores																									
Estudio de mercado de agregados																									
Reconocimiento de la zona de estudio																									
Giras de campo																									
Reuniones con actores claves																									
Selección de puntos estratégicos																									
Gira de muestreo																									
Análisis en Laboratorio																									
Interpretación y análisis de los resultados																									
Valoración de las condiciones batimétricas																									
Validación de sitios de extracción alternativos																									
Generación de recomendaciones y medidas de mitigación																									
Redacción de borrador Cap 6 y 7																									
Integración de capítulos																									

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Anexo 3. Gira de campo al refugio de vida silvestre Cipancí para el monitoreo del río Tempisque.

