



FUNDACION PARA EL DESARROLLO DE LA
ECOLOGIA

**PASTORAL SOCIAL CARITAS
COROICO**

**CONSULTORIA: ESTADO DE LA CALIDAD
ACTUAL Y APTITUD
DE USO DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA
CUENCA DEL RÍO COROICO**

Producto 4: "INFORME FINAL"

La Paz, marzo de 2020

PRODUCTO 4: ESTADO ACTUAL DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO COROICO

Contenido

I.	RESUMEN	5
II.	CARACTERISTICAS DE LA CUENCA	6
III.	OBJETIVOS	8
A.	Objetivo General.....	8
B.	Objetivos Específicos	8
IV.	METODOLOGIA.....	8
A.	Área de estudio	8
B.	Métodos utilizados para el levantamiento de información físico-química in-situ, toma de muestras de agua y otra información levantada durante el trabajo de campo.	9
C.	Toma de muestras de agua para análisis en laboratorio.....	10
a)	Criterios y consideración para la toma de muestras de agua.....	11
b)	Análisis de muestras de agua en laboratorios de SPECTROLAB	14
D.	Hidrometría y Morfoestructura.....	14
a)	Elección del tramo y transecto dentro del río	14
b)	Levantamiento de variables hidráulicas	16
c)	Índice de inestabilidad de Pfankuch.....	18
E.	Análisis estadístico.....	21
a)	Análisis de los parámetros físico-químicos y morfoestructurales	21
b)	Cálculo del caudal.....	21
V.	RESULTADOS.....	21
A.	Análisis de las características morfoestructurales de los cuerpos de agua de la Cuenca del río Coroico 25	
B.	Hidrometría de los cuerpos de agua de la Cuenca del río Coroico.	45
a)	Flujo de agua en la cuenca	45
C.	Morfoestructura de los ríos	47
D.	Análisis cuali cuantitativo físico-químico de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico	48
E.	Aptitud de uso de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico.....	60
a)	Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano - Normativa Boliviana NB-512 y Guías de la Organización Mundial de la Salud - OMS.....	61
F.	Comparación de los resultados, con los límites permisibles establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica - RMCH, NB-512 y la OMS.....	66
VI.	BIBLIOGRAFÍA	72
VII.	ANEXOS.	73

Índice de figuras

Figura 1. Proporción de los problemas existentes en la cuenca del Río Coroico.	7
Figura 2. Mapa del área de estudio, en la cuenca del río Coroico.....	8
Figura 3. Calibración del equipo multiparamétrico utilizado y medición in situ de los parámetros fisicoquímicos en el río.	10
Figura 4. Frascos de colecta. a) Frascos proporcionados para la colecta de agua por el laboratorio de SPECTROLAB; b) Frascos cónicos para colecta de agua para medición de turbidez.....	11
Figura 5. Toma de muestras de agua para análisis en laboratorio..	12
Figura 6. Análisis de turbidez en el campo.	13
Figura 7. Planilla de registro de parámetros fisicoquímicos y colecta de muestras de agua.....	13
Figura 8. Diferentes facies (características) de un río	15
Figura 9. “Plantilla descripción de la estación”, ejemplo de un punto de muestreo	16
Figura 10. Toma de datos del caudal del río, mediante un velocímetro digital.	17
Figura 11. Usos actuales de los cuerpos de agua donde se realizaron los muestreos dentro del río Coroico.	23
Figura 12. Apreciaciones de las características organolépticas de los cuerpos de agua muestreados de la cuenca del río Coroico.	24
Figura 13. Variación del flujo del caudal en 20 puntos de muestreo de la cuenca del Río Coroico.	46
Figura 14. Flujo del caudal de menor a mayor registrado en los 20 puntos de muestreo, de la cuenca del río Coroico en orden de cantidad.....	47
Figura 15. Ancho de lecho medida en metros presentada de forma ascendente, de los 20 puntos de muestreo de los ríos de la cuenca Coroico.	47
Figura 17. Índice de Píankuch, que mide la estabilidad o inestabilidad de los ríos..	48
Figura 17. Temperatura registrada en los cuerpos de agua evaluados.	56
Figura 18. Saturación de Oxígeno registrada en los cuerpos de agua evaluados	56
Figura 19. pH registrada en los cuerpos de agua evaluados..	57
Figura 20. Valores de Aceites y Grasas registrados en los cuerpos de agua evaluados	57
Figura 21. Valores de Coliformes Totales registrados en los cuerpos de agua evaluados.....	58
Figura 22. Valores de concentración de Aluminio registrados en los cuerpos de agua evaluados.....	59
Figura 23. Valores de concentración de Arsénico registrados en los cuerpos de agua evaluados	59
Figura 24. Porcentaje de cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico que podrían ser aptas para consumo humano previo tratamiento físico o químico (NACH) y cuerpos de agua que ameritan atención por algún contaminante detectado o incierto (NACH+).	70
Figura 26. Clasificación del agua por su cualidad de ser apta para el consumo humano en su estado natural, de acuerdo a los valores de referencia establecidos en la NB-512 y la OMS (2013).....	71

Índice de Tablas

Tabla 1. Puntos de muestreo en los que se tomó muestras de agua para el análisis de pesticidas	11
Tabla 2. Clasificación del sustrato en base a su talla (tamaño)	17
Tabla 3. Parámetros de descripción del índice de Píankuch, donde los valores representan el coeficiente ...	19
Tabla 4. Datos generales de los puntos de muestreo en los ecosistemas loticos de la cuenca del río Coroico.	22
Tabla 5. Datos del cálculo del caudal de 20 puntos de muestreo de la cuenca del río Coroico.	45
Tabla 6. Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso (RMCH 1995)	60
Tabla 7. Valores establecidos para cada parámetro evaluado, para identificar la Aptitud de Uso de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico de acuerdo al RMCH (1995).....	62
Tabla 8. Parámetros observados y Aptitud de uso de acuerdo al RMCH por cada punto de cuerpo de agua muestreado.....	67

Tabla 9. Aptitud de uso del agua de acuerdo al RMCH y aptitud para consumo humano (NB-512 y OMS) de los cuerpos de agua evaluados dentro de la cuenca del río Coroico. 69

Tabla 10. Puntos de muestreo donde los resultados muestran elementos especiales que sobrepasan los valores recomendados por la NB-512 y la OMS. 70

I. RESUMEN

Se ha llevado a cabo un estudio sobre el estado de la calidad actual y aptitud de uso de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico, para lo cual se han seleccionado 20 sitios de muestreo, en los que se han evaluado hasta 105 variables físico químicas, una biológica Coliformes totales y pesticidas. De las cuales 39 se mostraron representativas, 7 parámetros se tomaron in situ: pH, conductividad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación, sólidos totales disueltos, temperatura y salinidad. Por otra parte se han tomado datos de las medidas morfoestructurales dentro de un transecto transversal al río y en diferentes facies si estas se presentaban (facies: rápido, radier y poza), entre las cuales se consideró: velocidad, profundidad, sustrato, índice de Pfankuch, ancho de lecho y de cauce y se tomaron estas medidas cada 50 cm a lo largo del transecto seleccionado. Las muestras de agua han sido enviadas al laboratorio SPECTROLAB siguiendo las normas estándar definidas a nivel internacional.

Con los datos obtenidos y para la determinación de la aptitud de uso del agua (Clases) se ha tomado en cuenta la normativa boliviana del Reglamento en Materia de Contaminacion Hidrica, además de la Normativa Boliviana NB-512 y los parámetros de referencia mencionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) estos últimos para identificar si es posible el consumo de los cuerpos de agua en su estado natural .

La aplicación de la normativa en relación a los límites permisibles nos reveló que la calidad del agua está establecida en la Clase B y la NB-512 y la OMS identifican 9 puntos que ameritan atención por encontrarse elementos con concentración mayores a las recomendadas o con incertidumbre.

Con los datos morfoestructurales se ha estimado el caudal la velocidad (m/cm) * la profundidad (m) * la distancia del transecto (m) de cada punto de muestreo y de cada facie según el punto de muestreo, además se ha aplicado estadística descriptiva para la interpretación de los datos de la morfoestructura y de los físico químicos. Los resultados referentes a la morfoestructura evidenciaron que una tendencia entre los ríos - puntos de la parte alta, intermedia y baja de la cuenca en relación al ancho del lecho y del cauce y de la estabilidad o inestabilidad (medida por el índice de Pfankuch). Los ríos de la cuenca alta se caracterizan por ser más estables y encajonados con anchos de lecho y cauce menor, así como caudales menores, los ríos intermedios de manera general aumentan su ancho de lecho, cauce y el caudal son relativamente estables y finalmente los ríos de la parte baja caracterizados son los que presentan anchos d lecho y de cauce más amplios en la mayoría de los casos también mayor caudal, pero se caracterizan por su inestabilidad. Estas variables deben ser consideradas como parte del monitoreo porque son indicadoras de la capacidad expansiva de un río que puede ocasionar destrucción de zonas de cultivo, de viviendas e infraestructura como puentes y caminos, por lo cual también es recomendable ampliar los datos durante la época seca.

II. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

La cuenca del Río Coroico, se ubica entre los municipios de Coroico, Caranavi, Guanay y Teoponte y parte del territorio de los municipios de La Paz (Río Zongo), el municipio de Coripata y el municipio de La Asunta. De acuerdo al Diagnóstico Rápido Rural Participativo desarrollado en el marco del proyecto: Manejo Integral de la Cuenca Coroico, implementado por Caritas Diocesana Coroico (2019) y el levantamiento de información realizada como parte de la presente consultoría se conoce que:

La población de la cuenca corresponde a comunidades indígenas, campesinas, interculturales, afroamericanas, entre otras de menor relevancia. Dichas comunidades (82% de la población que habita en la cuenca) tienen como su principal actividad, la agropecuaria, seguido de una serie de actividades diversas relacionadas a la actividad minera, turismo, albañilería, transporte interprovincial, comunitario, entre otros. Entre los productos que mayormente se producen están: a coca, el arroz, cítricos, palta, plátano, cacao, entre otros.

Respecto a los servicios básicos, dentro de la cuenca se cuenta con señal telefónica de compañías telefónicas de ENTEL, TIGO y VIVA. Respecto a abastecimiento de electricidad, un porcentaje mayor al 50% de las familias de la cuenca, cuentan con este servicio. Respecto al agua potable, ninguna comunidad cuenta con agua potable, sin embargo, las poblaciones centrales y otras de menor tamaño cuentan con abastecimiento de agua por tuberías, que generalmente provienen de arroyos u ojos de agua que suelen estar ubicados en las partes altas de las comunidades.

Asimismo, en los últimos años varias de las comunidades, han empezado a enfrentar la reducción de la calidad y cantidad de agua para consumo humano. Esta situación es agravada por factores como el cambio climático, el inadecuado y/o inexistente manejo integral de la cuenca, el cual simplemente ha sido olvidado por los diferentes actores involucrados tanto a nivel local, departamental y nacional.

Es importante resaltar que en toda la cuenca, no se cuenta con un sistema de alcantarillado, alternativamente se estima que el 83% de la población realiza la disposición de excretas en letrinas o baños rústicos hasta construcciones de estructura de hormigón, conectado a un pozo ciego o cámara séptica que algunos casos desembocan a ríos, arroyos u otras fuentes de agua.

Los ecosistemas de la cuenca, acoge aun a gran biodiversidad de flora y fauna silvestre. Por lo que son actividades relevantes la caza y pesca, que en las zonas tropicales alcanza hasta el 85,19% de las actividades de los pobladores. Dichas actividades son reportadas por la población, como acciones para garantizar la subsistencia de las familias. Sin embargo, en los comercios de varias de las comunidades centrales se ofrecen entre su menú, diferentes preparados de pescado, animales silvestres y se pueden observar pieles, plumas, cabezas y otros derivados de fauna silvestre, evidenciando que también existe caza y pesca comercial y de aventura en la región. También es evidente que ambas actividades, caza y pesca han venido reduciéndose, esto de acuerdo a los testimonios de los mismos pobladores, que atribuyen la reducción de la fauna silvestre y los peces, posiblemente provocada por la caza y pesca indiscriminada, la ampliación de la frontera agrícola, la contaminación de los recursos acuáticos (ríos, arroyos y otros), reducción de la calidad y cantidad del agua. Dichas

afectaciones se atribuyen también a la actividad minera sobre todo en la cuenca baja (parte de Caranavi, Guanay, Teoponte), donde esta actividad se ha intensificado, ya hace varias décadas. La reducción de la biodiversidad terrestre y acuática ha llegado a reducir grandemente ciertas especies, provocando un desequilibrio en la dinámica de las poblaciones silvestres, algunas de las cuales han aumentado su población y actualmente se consideran plagas que afectan a las parcelas agrícolas de las familias de la cuenca.

Respecto a la actividad forestal, las familias reportan que solo existe un uso para fines de construcción de las viviendas, ya que existe gran reducción de las especies forestales de importancia comercial en la cuenca en general, se suma las prácticas de quema, como una tradición para la habilitación de áreas de cultivo.

Otro problema relevante es el cambio climático, en la región no solo se evidencia por el aumento de temperatura ambiente, sino también en la frecuencia e intensidad de las lluvias, puesto que en los últimos años se han presentado sequías, aparición de plagas y enfermedades, acompañados de la presencia de fuertes vientos que reducen la productividad y el daño a la infraestructura. Además, se identifica altas precipitaciones torrenciales en tiempos cortos generando inundaciones, riadas hasta derrumbes, reportan también en ocasiones se presentó granizadas ocasionalmente.

Otro problema relevante, es el manejo de los residuos sólidos, problema que todos los actores reconocen pero que poco o nada se hace para afrontarlo. Estos y otros problemas mencionados y observados en la cuenca se representan en la Figura 1.

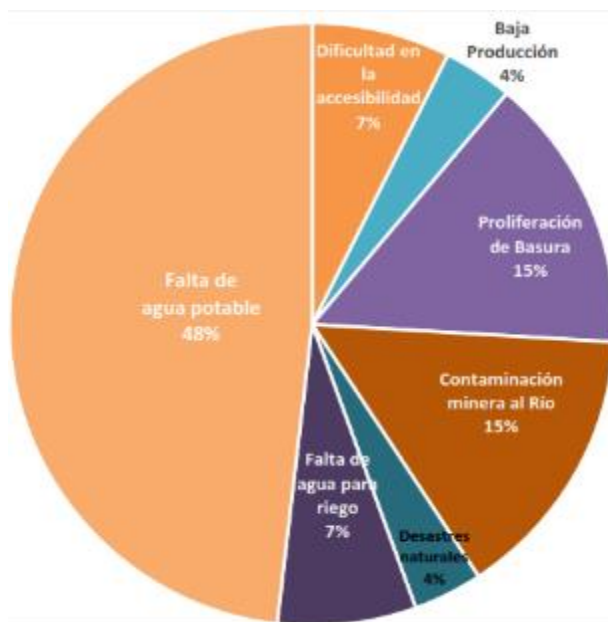


Figura 1. Proporción de los problemas existentes en la cuenca del Río Coroico. Fuente: DRRP (Caritas 2019).

El diagnóstico realizado por Caritas Coroico, así como el análisis rápido elaborado en el marco de la presente consultoría, evidencian la necesidad de la formulación de un Plan Director de la Cuenca del Río Coroico, que involucre a todos los actores correspondientes, que actúen bajo una herramienta de planificación holística e integral.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Generar información técnica validable sobre el estado actual de los cuerpos de agua de la cuenca Coroico y sus principales afluentes.

B. Objetivos Específicos

- 1) Establecer el estado actual de la calidad y cantidad de agua del Río Coroico y sus principales afluentes.
- 2) Identificar las aptitudes de uso actual asignado por las poblaciones locales a los cuerpos de agua de la cuenca

IV. METODOLOGIA

A. Área de estudio

El área de estudio comprende la Cuenca del río Coroico, que se encuentra dentro del departamento de La Paz. La cuenca incluye los municipios de Coroico, Caranavi, Guanay y parte de Teoponte, La Paz y la Asunta (Ver mapa de la Figura 2):

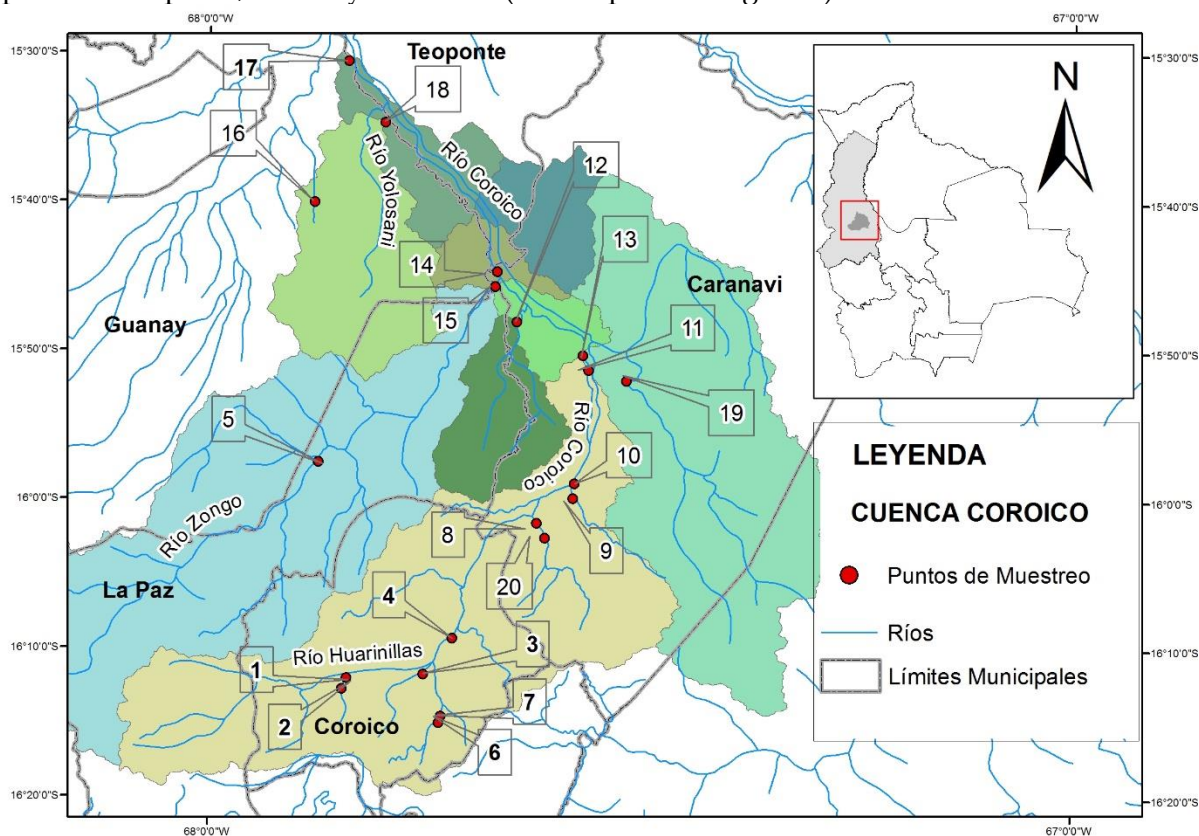


Figura 2. Mapa del área de estudio, en la cuenca del río Coroico

Respecto a la época de muestreo, de acuerdo a los datos disponibles de precipitación en la cuenca, el mes más seco es julio (aprox. 19 mm), mientras que la caída media se da en diciembre. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año, suele ser febrero con un promedio de 200mm. La temperatura generalmente varía de 15 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de 14 °C o sube a más de 36 °C (SENAMHI. 2017).

Durante los días de muestreo, que fue entre el 5 al 12 de diciembre del 2019, se observaron precipitaciones variadas leves, que probablemente hayan aumentado el caudal de los diferentes cuerpos de agua analizados. No se cuentan con registros libres de acceso del periodo de muestreo en la página WEB del SENAMHI.

B. Métodos utilizados para el levantamiento de información físico-química in-situ, toma de muestras de agua y otra información levantada durante el trabajo de campo.

La determinación de la calidad del agua se realizó en función a un conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, en base a los límites establecidos el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH 1995), parte de la Ley del Medio Ambiente (Ley 1333 1992). Dicha normativa establece en: Art. 4° La clasificación de los cuerpos de agua, según las clases, basada en su aptitud de uso, de acuerdo a los siguientes lineamientos generales: CLASE "A" Aguas naturales de máxima calidad. CLASE "B" Aguas de utilidad general. CLASE "C" Aguas de utilidad general, con ciertas restricciones y la CLASE "D" Aguas de calidad mínima. Estableciendo además en el Art. 5°, los límites máximos de parámetros permitidos en cuerpos de agua que se pueda utilizar como cuerpos receptores y en el Art. 6° se establecen 18 PARAMETROS BASICOS.

Por otro lado la **Normativa Boliviana NB-512**, con el fin de proteger la salud de la población, define y determina parámetros de calidad del agua, con sus respectivos niveles, basados en principios de gestión de riesgo, con la finalidad de brindar agua apta para consumo humano, tomando en cuenta la capacidad analítica de los laboratorios y las condiciones técnico-económicas de las entidades prestadoras de servicios de agua y alcantarillado - EPSA y establecer parámetros para el control y vigilancia de la calidad del agua de consumo humano.

Del mismo modo la **Organización Mundial de la Salud-OMS** con el fin de que el agua de consumo humano sea segura y no ocasione ningún riesgo significativo para la salud a lo largo de toda una vida, viene generando las "Guías para la calidad del agua de consumo humano". Estos documentos proporcionan una serie de "Valores de Referencia" para muchos elementos que suelen ser parte, de forma natural en el agua, o suelen ser añadidos a causa de diferentes tipos de actividades antrópicas que se desarrollan en el agua o sus desechos llegan a fuentes de agua.

En función a estas normativas, guías y los diferentes parámetros analizados in situ y en laboratorio, se ha identificado parte de los objetivos presente estudio.

La medición in situ de los parámetros fisicoquímicos se realizó mediante un equipo portátil multiparamétrico marca WTW modelo Multi-3630 IDS, el cual se calibro diariamente durante el trabajo de campo, midiéndose los siguientes parámetros:

1. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$),
2. pH,
3. Oxígeno Disuelto (Mg/L),
4. Saturación De Oxígeno (%),
5. Conductividad (Us/Cm),
6. Solidos Totales Disueltos (Mg/L) Y
7. Salinidad (Ds/M).

Las tres sondas fueron introducidas dentro de la columna de agua donde fue necesario 3 minutos para que se realice la estabilización de los valores y dar la lectura, es así que los valores registrados para cada parámetro corresponden al promedio de 60 datos obtenidos de forma instantánea por el equipo (Ver Figura 3). Con los valores de cada parámetro se consolido una base de datos en formato Excel (xlsx), que se anexan en formato digital al presente documento.



Figura 3. Calibración del equipo multiparamétrico utilizado y medición in situ de los parámetros fisicoquímicos en el río.

C. Toma de muestras de agua para análisis en laboratorio

La toma de muestras de agua fue realizada en base a la Norma Boliviana 496 (NB-496), que contiene los criterios y procedimientos para ello. Sin embargo, esta norma únicamente se refiere a muestras de agua potable, por lo que, también se ha considerado la "Guía para el

Fortalecimiento Institucional: Control de la Calidad de Agua” (SENASBA) donde se dan algunas indicaciones y criterios para la toma de muestras en aguas superficiales.

Los frascos de colecta, previamente tratados y esterilizados según el tipo de análisis, fueron proporcionados por el Laboratorio SPECTROLAB de Oruro (laboratorio acreditado y certificado por IBMETRO).



Figura 4. Frascos de colecta. a) Frascos proporcionados para la colecta de agua por el laboratorio de SPECTROLAB; b) Frascos cónicos para colecta de agua para medición de turbidez.

En total se realizó el muestreo de 20 puntos, donde se colecto muestras de agua en 8 frascos diferentes para cada punto (frascos para microbiología, DBO-5, DQO, fisicoquímica, solidos totales, aceites y grasas, metales, turbidez) y en 6 puntos también se colecto muestras de agua para el análisis de pesticidas que corresponden a los puntos que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Puntos de muestreo en los que se tomó muestras de agua para el análisis de pesticidas

Nro. de punto	Código del punto
1	CR_Hua_01
3	CR_Hua_02
4	CR_SBr_01
7	CR_Sju_01
8	CR_Cor_01
16	YO_Por_01

a) Criterios y consideración para la toma de muestras de agua

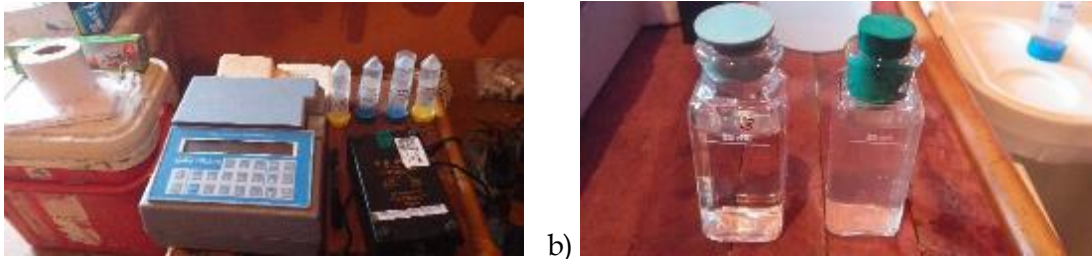
La colecta de muestras fue realizada en un área del río con corriente de agua (es decir aguas no estancadas), donde la masa de agua sea homogénea, sin turbulencia excesiva, a una distancia considerable de la orilla en lo posible en el medio del río, considerando medidas de seguridad para los técnicos involucrados. También se evitó zonas perturbadas por eventos físicos (deslizamientos). Todas las muestras fueron tomadas utilizando guantes de

nitrilo, a una profundidad de 20–30 cm. Posterior a su colecta fueron sometidas a cadena de frío a una temperatura aproximada a 4 °C, hasta la llegada a los laboratorios de SPECTROLAB en la ciudad de Oruro (Figura 5).



Figura 5. Toma de muestras de agua para análisis en laboratorio. Enjuague de frascos con agua de río previo a la colecta (dependiendo del parámetro); Almacenamiento y conservación de muestras manteniendo la cadena de frío.

La **determinación de la turbidez** en las muestras de agua fue analizada el mismo día por medio de un colorímetro HACH modelo DR2010, utilizando el método de atenuación de la radiación incidente (Attenuated Radiation Method, programa Nro. 750).



a) b)
 Figura 6. Análisis de turbidez en el campo. a) Equipo colorímetro HACH DR 2010; b) Muestra blanco con agua destilada (izquierda) y muestra de agua del río (derecha).

Toda la información de cada punto se registró en una planilla (Figura 77) y fue centralizada en una base de datos en formato Excel (xlsx). Dichas bases de datos se anexan al presente documento. El formato de la planilla está dividido en cuatro partes: Una primera (círculo negro) detalla la información del punto, donde se registra el N° de día trabajado, fecha, hora, código, ubicación y el responsable de muestreo. Una segunda parte (círculo rojo), donde se registró los datos medidos en campo (in situ). La tercera parte (círculo verde), destinada al registro de las muestras colectadas y respectivos volúmenes. Finalmente, en la se registraron las observaciones o apreciaciones del punto de muestreo. Las mediciones realizadas en campo con el equipo multiparamétricos así como las muestras.

PLANILLA DE DATOS FÍSICOQUÍMICOS Y COLECTA DE MUESTRAS

Día: 5		Punto Mro.: 9		Código: CR_Gca_01	
Fecha: 07-12-19			Hora: 11:05		
Coordenadas X: 650972		Y: 8230433			
Lugar: Fuente Puerto León, Río Quiza Calzón, comunidad Agua Milagro.					
Responsable toma de muestras: William Gustavo Lanza Aguilar					
Responsable registro de datos: Hugo Velásquez					
Verificador de CARITAS-CORONCO: Blas Mamani					
Parámetros físicoquímicos "in situ"		Colecta de muestras		Volumen colectado (ml)	
Temperatura (°C)	20.7	Muestra de Coliformes		500	
pH	5.035	Muestra de Iones		1000	
Conductividad (uS/cm)	13.6	Muestra de metales		100	
STD (mg/l)	9	Muestra de Pesticidas		NO	
Oxígeno disuelto (mg/l)	8.62	Muestra de sólidos totales		1000	
Saturación Oxígeno (%)	104.2	Muestra de Aceites y grasas		1000	
salinidad (ds/m)	0.0	Muestra de BOD5		1000	
Turbidez (FAU)	4	Muestra de DQO		100	
Observaciones:					
Río color verde claro, buena transparencia que permite observar el sustrato del fondo, se une al río Corcico en aproximadamente 10 m. Existe un puente vehicular en el área aledaña.					

Figura 7. Planilla de registro de parámetros físicoquímicos y colecta de muestras de agua.

b) Análisis de muestras de agua en laboratorios de SPECTROLAB

Para el análisis de las muestras de agua, fue necesario contar con un laboratorio especializado y acreditado por IBMETRO, cumpliendo con este requerimiento se contrató los servicios del laboratorio SPECTROLAB de Oruro según la NB/ISO/IEC 17025:2017. Este laboratorio realizó el análisis para determinar las concentraciones de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. En cambio, las muestras para el análisis de metales y pesticidas a través de SPECTROLAB Oruro, fueron enviados a SPECTROLAB-HOLANDA y SPECTROLAB CANADA (Activation Laboratories Ltd. y Eurofins Analytico B.V.) respectivamente. En Anexos se detalla los parámetros y límites de detección¹ correspondientes de cada uno de los parámetros evaluados.

D. Hidrometría y Morfoestructura

Para la descripción e identificación de las características morfo-estructurales del río, se miden los parámetros hidráulicos, que describen las condiciones asociadas a la fuerza del caudal del río tales como la velocidad, la profundidad, el ancho del cauce y del lecho. También la descripción abarca la caracterización del sustrato que presenta el tramo, el cual se conforma en asociación a la fuerza del caudal y las características físicas y geológicas del río. Las mediciones que se realizaron en los puntos de muestro definidos se detallan a continuación:

a) Elección del tramo y transecto dentro del río

Para la elección del tramo y transecto a evaluarse, en cada río se realiza una evaluación visual de las diferentes facies que presenta el río, luego se elige un tramo representativo, es decir que abarque todas las facies presentes. En este tramo se realiza las mediciones en un transecto transversal por cada facie (Figura 8).

¹ El límite de detección es definida como la mínima concentración de un analito (elemento, compuesto o ion) que puede ser detectada por un método con razonable certeza (IUPAC 1975). Es decir que por debajo del valor de límite de detección, hay un gran nivel de incertidumbre sobre la concentración real del analito. Los límites de detección son diferentes en función de la metodología utilizada para los análisis correspondientes.

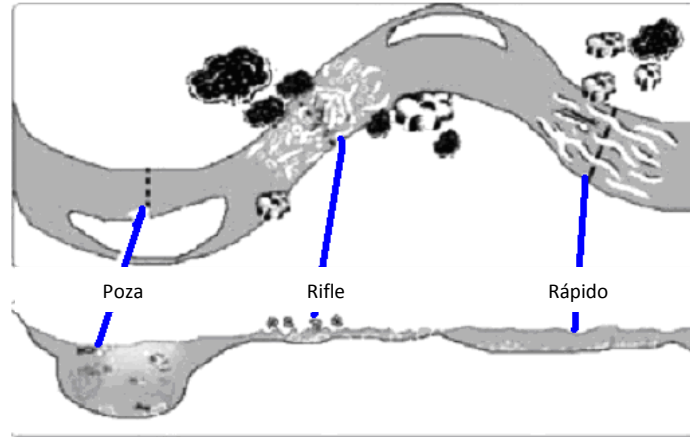


Figura 8. Diferentes facies (características) de un río

El transecto se divide en varios puntos, en cada punto se miden las variables hidráulicas: velocidad, profundidad y adicionalmente se realiza una evaluación cuantitativa del tipo de sustrato de fondo (Heino, et al., 2003). para determinar cuántos puntos de medición se realizan en cada transecto se realiza una estimación del tamaño del transecto, por ejemplo: si el río es angosto ($<10\text{m}$ de ancho de cauce) se realizan mediciones cada 50 cm, pero si el río es ancho ($>30\text{m}$ de ancho de cauce) se realizan mediciones cada 100 cm. Si el río es muy caudaloso e imposible de completar todo el transecto, las mediciones se realizan cada 50 cm, hasta donde se pueda ingresar caminando (en este caso por la época de muestreo).

Esta información esta se registra en la hoja de campo "Planilla descripción de la estación" (Ver Figura 9), donde se resaltan las características: desbordes, inundaciones, precipitaciones al momento del muestreo, en la grilla de cuadrantes (cuadro agrandado con croquis del tramo) se detalla las mediciones en el transecto (hasta donde se pudo ingresar para el registro de datos).

- En cada transecto se mide primero la profundidad de la columna de agua, empezando en una de las orillas a cero centímetros de la orilla y se va avanzando cada 50 cm, realizando la misma medida. Este procedimiento se realiza con ayuda de una varilla milimetrada.
- En cada punto del transecto se mide la velocidad del agua del río, a través de un velocímetro electrónico marca Aquamarket. Cuando la profundidad del agua supera los 30 cm, se realiza tres mediciones de velocidad, en el fondo del lecho, a mitad de la columna de agua y la tercera medida en la superficie del agua. De esta forma se puede obtener un promedio de velocidad tomando en cuenta la variabilidad de la columna de agua (Figura 10).
- Finalmente, en cada punto del transecto se evalúa la composición del sustrato del fondo, a través del tamaño del sustrato de acuerdo a la clasificación de Malavoi & Souchon (1989), (Tabla 2). Para la determinación del tamaño del sustrato se utiliza un granulometro. La base de datos correspondiente a los 20 puntos de muestreo y se presentan en anexo al presente documento.



Figura 10. Toma de datos del caudal del río, mediante un velocímetro digital.

Tabla 2. Clasificación del sustrato en base a su talla (tamaño)

CLASE DE GRANULOMETRÍA	TALLA (DIÁMETRO EN MM)	CÓDIGO
Roca	> 1024	R
Bloque	256-1024	B
Piedra Gruesa	128-256	PG
Piedra Fina	64-128	PF
Grava Gruesa	16-64	GG
Grava Fina	2-16	GF

Arena Gruesa	0,5-2	AG
Arena Fina	0,0625-0,5	AF
Limo	0,0039-0,0625	L
Arcilla	< 0,0039	A

Todos los datos obtenidos para las variables hidráulicas se registran en una hoja de campo “Planilla descripción sustrato - caudal”, con la información general del punto, información de la facie y el ancho del cauce y lecho. Las medidas son registradas para cada punto de forma independiente y ordenadas en cada fila.

c) Índice de inestabilidad de Pfankuch

La aplicación del índice proporciona información rápida de las características del río que está siendo observado, entre ellos: la pendiente de la ribera, derrumbes potenciales, barreras potenciales (restos apiñados), protección por la vegetación, capacidad del canal, constitución de las orillas, obstrucción desviación de sedimentos, erosión de las orillas, depósitos. En el lecho angulosidad de las rocas, brillo del sustrato, consolidación del sustrato, porcentaje de material estable, estabilidad de facies, estabilidad del sustrato y existencia de la vegetación acuática y algas filamentosas.

El índice de Pfankuch, fue adaptado para los ríos de origen andino (Binet 1998 y probado por Rocabado 2003). Se compone de 16 métricas que caracterizan el grado de condiciones hidrológicas inestables observadas. El índice puntúa los indicadores físicos de la estabilidad del canal al calificar tres zonas del canal y su fondo de inundación, a los cuales se le otorga un puntaje entre 1 y 4 (donde 1=estable, 2=bastante estable, 3=inestable y 4=muy inestable), cada valor es afectado por un coeficiente, dependiendo de la característica.

Las métricas de la ribera evalúan el grado en que el vigor vegetativo contribuye a la capacidad de los bancos para resistir el desprendimiento, además se añade aspereza, la cual amortigua la potencia de la corriente durante las condiciones de caudal alto que sobrepasa el banco. Las métricas del banco califican la capacidad de resistir el desprendimiento, evalúa la presencia y la orientación de obstáculos que pueden desviar el flujo hacia el banco, causando erosión del banco, indicando un depósito excesivo en los bancos laterales. Las métricas del lecho evalúan el grado de compactación del sustrato y la evidencia de arrastre y deposición de material inorgánico o sustratos de distintos tamaños.

La suma de los 16 valores asignados, es el resultado del índice de inestabilidad. El índice se clasifica en una escala total del 40 al 160, donde las puntuaciones más bajas indican condiciones de canal más estables. Los valores entre 40 y 70 son canales estables, valores entre 71 - 100 se clasifican como canales bastante estables, valores entre 101 y 130 son canales inestables, y los valores más altos entre 131-160 se clasifican como canales muy inestables (Asmus, 2011; Rocabado Castro, 2003). Las evaluaciones visuales de cada punto se realizan en cada punto y se registran en una planilla “Índice de inestabilidad de ríos Pfankuch (1975)”, que es presentado en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de descripción del índice de Pfankuch, donde los valores representan el coeficiente

RIBERA	ESTABLE		BASTANTE ESTABLE		INESTABLE		MUY INESTABLE	
Pendiente de la Ribera	Pendiente <30%. En ambas riberas	2	Pend. entre 30-40% en una o ambas	4	Pend. Entre 40-50% en una o ambas.	6	Pendiente > 50 % en una o ambas riberas.	8
Potenciales derrumbes (evid., tam. y pot.)	Sin evidencia de caídas o derrumbe, pasados o potenciales.	3	Caídas y derrumbes raros y/o pequeños. Potencial a futuro	6	Mod. frecuencia y tamaño. Otros derrumbes posibles	9	Derrumbes frec. o grandes. Riesgo inminente	12
Barreras Potenciales (restos apiñados)	Ausentes en la ribera y lecho.	2	Presentes, pero la mayoría no son más que pequeñas hojas y ramas.	4	Presentes. De volumen y tamaño importantes.	6	Cantidad mediana a importante. Predominancia. Escombros apiñados	8
Protección por la vegetación	Densidad >90%. Vigor y variedad.	3	Densidad 70-90%. Pocas plantas vigorosas.	6	Densidad 50-70%. Plantas <variedad y vigor.	9	Densidad <50% plantas poco vigorosas y variadas	12
BANCOS	Más que suficiente para el caudal actual. A/P(aguas altas) ≤ 7	1	Adecuado. A/P=(8-15)	2	Apenas suficiente. Desbordes ocasional. A/P=(15-25)	3	Insuficiente. Desbordes frecuentes A/P>25	4
Capacidad Del canal								
Constitución de las orillas	>65% mat. Rocoso. Numerosas piedras angulosas >30 cm	2	40-65% rocoso >piedras entre 15-30cm	4	20-40% rocoso >piedras entre 8-15 cm	6	<20% rocoso >grava o menores, entre 2,5-8 cm.	8
Obstrucción, desviadores de sedimentos	Rocas y obstructores fuertemente incrustados sobre los bancos. Tramo de escurrimiento sin trancas ni depósitos	2	Presencia de obstructores poco incrustados que causan erosión x contracorriente	4	Obstructores y desviadores medianamente frecuentes e inestables. Cambian el lecho del agua y el colmatado de pozas	6	Obstructores y desviadores muy frecuentes, que provocan la erosión de las orillas durante todo el año. Mucho sedimento y escombros en el lecho	8
Erosión de las orillas	Débil o no aparente cortes raros y <15cm altura.	4	Orillas erosionadas al exterior de las orillas y las constricciones de las orillas erosionadas al menos 30 cm	8	Erosión significativa. Corte de las orillas entre 30-60 cm. Maraña de raíces colgantes.	12	Numerosos cortes que sobrepasan los 60 cm. Derrumbes de las orillas frecuentes	16
Depósitos	Solamente algunas playas. El lecho promedio es apenas más grande que el lecho mínimo	4	Algunas playas y algunas nuevas. Mayormente con gravas gruesas detrás de obstructores. Lecho prom./lecho mínimo < 1,5	8	Depósitos moderados de gravas y arena gruesa sobre las playas. Viejas y recientes. Rifles predominantes lecho pom./lecho mín = (1,5-2)	12	Depósitos expandidos constituidos principalmente x partículas finas. Desarrollo acelerado de playas. Lecho prom./ lecho mín > 2	16

LECHO	Esquinas angulosas y agudas. Superficies planas y rugosas	1	Esquinas y ángulos redondeados. Superficies suaves y planas	2	Esquinas y ángulos bien redondeados en 2 dimensiones	3	Esquinas y ángulos bien redondeados en todas las dimensiones. Superficies lisas	4
Angulosidad de las Rocas								
Brillo del sustrato	No brillosas. Superficies cubiertas por algas unicelulares o minerales. Muy resbaladizas	1	La mayor parte opacas. Pero pueden presentar hasta un 35% de brillo	2	Presencia poco abundante de perifiton o material fino sobre las piedras más gruesas en las pozas	3	Piedras predominantemente brillantes.	4
Consolidación del sustrato	La estructura de las piedras forma un pavimento sólido. Piedras muy incrustadas y solapadas difícil o imposible de mover con el pie.	2	Pavimento intermedio con algunos elementos muy incrustados y solapados. Se pueden desplazar algunos elementos con el pie	4	Baja diversidad en el tamaño del sustrato (homogéneo). La mayor parte de las piedras puede moverse con la punta del pie	6	No hay pavimento evidente. Sustrato homogéneo. Fácilmente móviles. Se desplazan al caminar sobre ellos.	8
Porcentaje de mat. Estables	80-100% (en superficie) de materiales estables	2	50-80% de materiales estables	4	20-50% de materiales estables	6	0-20 % de materiales estables	8
Estabilidad de las facies	No hay variabilidad interanual del desplazamiento de las facies.	4	Poca modificación de las facies entre una estación y la otra.	8	Desplazamiento de facies de una estación a la otra o modificaciones importantes.	12	Creación y desaparición de facies en las estaciones. Cambios muy importantes	16
Estabilidad del Sustrato	<5% de la superficie afectada por la erosión y deposición	6	5-30% de la superficie afectada por la erosión principalmente en los estrangulamientos y deposición en pozas	12	30-50% de la superficie afectada por la erosión y deposición. Principalmente por provocada x obstructores	18	>50% de la superficie afectada por la erosión en constante movimiento y deposición en bancos de sedientos finos o grava	24
Vegetación acuática y algas filamentosas	Abundante desarrollo, principalmente de musgo verde oscuro a lo largo de todo el año. Inclusive en rápidos	1	Frecuente algas y musgo en aguas lentas y pozas. Musgo presente en rápidos	2	Presente puntualmente, a menudo en las zonas de contra corriente. Producción estacional de algas.	3	Musgos y algas peremnes raras o ausentes. Producción a corto tiempo.	4

E. Análisis estadístico

a) Análisis de los parámetros físico-químicos y morfoestructurales

Para los análisis de físico química y morfoestructurales, se ha aplicado estadística descriptiva realizando graficas que muestren los resultados obtenidos de cada una de las variables que han sido consideradas como relevantes.

b) Cálculo del caudal

El caudal es la cantidad de fluido que pasa por una unidad de tiempo en una sección determinada. Calcular el caudal y determinar las zonas de aforo, nos proporciona datos representativos, oportunos y veraces. Los datos procesados darán información adecuada para lograr mayor eficiencia en la programación, ejecución del comportamiento y evolución de la corriente de los ambientes lóticos.

Para calcular el caudal de agua (en m³), en función de los datos obtenidos en campo, se ha utilizado la velocidad media del agua en m/s por el ancho medio en metros (transecto) y por la profundidad media también en metros.

$$\text{Caudal de agua} = 0,425 \text{ m/s} \times 1 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,255 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$\text{Caudal de agua} = 0,255 \text{ m}^3/\text{s} \times 1000 \text{ l} = 255 \text{ l/s}$$

Nota: 1 m³ =1000 l, multiplicado por esta cifra para convertir las medidas del caudal de agua en litros por segundo (l/s).²

Durante el trabajo de campo se tomaron datos del transecto (a lo largo del ancho del río) hasta donde la fuerza del caudal permitió ingresar a los técnicos, precautelando la seguridad del personal. Por lo que los datos presentados del caudal son estimaciones aproximadas.

V. RESULTADOS

Se han evaluado y muestreado 20 puntos, correspondientes a ecosistemas loticos dentro de la cuenca del río Coroico. Dichas áreas de trabajo con sus correspondientes datos generales, se presentan en la Tabla 4..

² Ejemplo (extraído de FAO. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm).

Tabla 4. Datos generales de los puntos de muestreo en los ecosistemas loticos de la cuenca del río Coroico.

Nº	PUNTO	MUNICIPIO	LUGAR	COMUNIDAD	FECHA DE EVALUACIÓN	HORA	COORDENADA X	COORDENADA Y
1	CR_Hua_01	Coroico	Río Huarinilla, a 300 mts del Chairo	Chairo	05/12/2019	9:00	624123	8208228
2	CR_Siñ_01	Coroico	Río Siñari	Chairo	05/12/2019	9:30	624495	8208131
3	CR_Hua_02	Coroico	Chitia	Chitia	05/12/2019	10:50	633523	8209016
4	CR_SBr_01	Coroico	Río Santa Bárbara	Santa Bárbara	05/12/2019	12:15	637126	8213420
5	ZO_Zon_03	Zongo	Río Zongo	Tirma	06/12/2019	10:15	621108	8235045
6	CR_Sju_01	Coroico	Río San Juan, Coroico viejo	Yolosa	06/12/2019	16:15	634881	8203748
7	CR_Yol_01	Coroico	Río Yolosa	Yolosa	06/12/2019	15:30	635031	8203812
8	CR_Cor_01	Coroico	Confluencia del río Coroico y Río choro	Choro	07/12/2019	10:15	646229	8227014
9	CR_Qca_01	Coroico	Puente Puerto León, Río Quita calzón	Agua Milagro	07/12/2019	11:40	650972	8230435
10	CR_Caj_01	Caranavi	Río Cajones, antes de llegar a Río Coroico	Cajones	07/12/2019	12:40	652282	8232565
11	CR_Cor_03	Caranavi	Puente San Isidro	Distrito Uyunense	07/12/2019	16:00	652714	8246594
12	Br_Bro_01	Caranavi	Río Bronzini		08/12/2019	9:00	645168	8252614
13	YA_Yar_01	Caranavi	Río Yara	Caranavi Urbano	08/12/2019	11:00	653226	8248178
14	CR_Cor_06	Caranavi	Alcoche	Alcoche	08/12/2019	14:20	641450	8258561
15	ZO_Zon_01	Zongo	Río Zongo tropical	Bella Vista	08/12/2019	15:15	641923	8257068
16A	YO_Por_01a	Guanay	Río Poroma	Poroma	09/12/2019	10:50	620156	8267515
16B	YO_Por_01b	Guanay	Río Poroma	Poroma	09/12/2019	12:00	620156	8267515
17	CR_Cor_09	Guanay-Teoponte	Río Coroico	Cruce Puente Coroico y Teoponte	09/12/2019	14:55	624417	8285022
18	YO_Yol_01	Guanay-Teoponte	Río Yolosani	Yolosani	10/12/2019	11:30	628946	8277414
19	YA_Tay_01	Caranavi	Río Taypiplaya	Colonia Mallasa	10/12/2019	15:25	658750	8245257
20	CR_Cho_01	Caranavi	Río Choro	Río Choro	10/12/2019	18:30	646753	8225989

En cada punto de muestreo también se ha realizado una caracterización rápida, socio-económica sobre los usos actuales del agua, identificados a través de observaciones directas y entrevistas rápidas a los pobladores, representantes comunales, personal de los municipios correspondientes entre otras personas que acompañaron las correspondientes actividades. De la indagación se conoce que los usos de los cuerpos de agua son diversos, los cuales van desde actividades económicas como la: minería, agricultura (riego u otros relacionados), pecuaria (bebedero de animales domésticos), turismo (recreación y visitas de turistas de diferente procedencia), así también sirven para el desarrollo de las actividades cotidianas como uso para consumo humano o doméstico, lavado de coches de diferentes tamaños, lavado de ropa y aseo personal. También se identificaron usos mixtos como la extracción de áridos que implica la extracción de área, grava, piedras utilizadas para construcciones familiares o comercio, se desarrollan adicionalmente actividades de pesca que suele ser para consumo de subsistencia y comercio, este último sobre todo interno. Resalta el uso de los cuerpos de agua como botadero de residuos sólidos y receptores de descargas de residuos líquidos de diferente procedencia tales como: aguas servidas domésticas, residuos de excretas, entre otros.

Finalmente, el uso de los cuerpos de agua sobre todo en la parte media y baja de la cuenca, está relacionada al transporte vía fluvial. Este uso es relevante para los pobladores de la cuenca, sobre todo en época de lluvias cuando los caminos carreteros suelen ser interrumpidos por daños causados por las lluvias y deslizamientos. De esta forma este tipo de traslados suele convertirse muy importante para la gente local. Dichas indagaciones se resumen en la Figura 11.



Figura 11. Usos actuales de los cuerpos de agua donde se realizaron los muestreos dentro del río Coroico.

Por otro lado, también se ha distinguido a los cuerpos de agua por sus características organolépticas, emitiendo una apreciación del color, olor y estado general del agua en los puntos de muestreo de los correspondientes ríos. Dicha apreciación se presenta en la Figura 12.

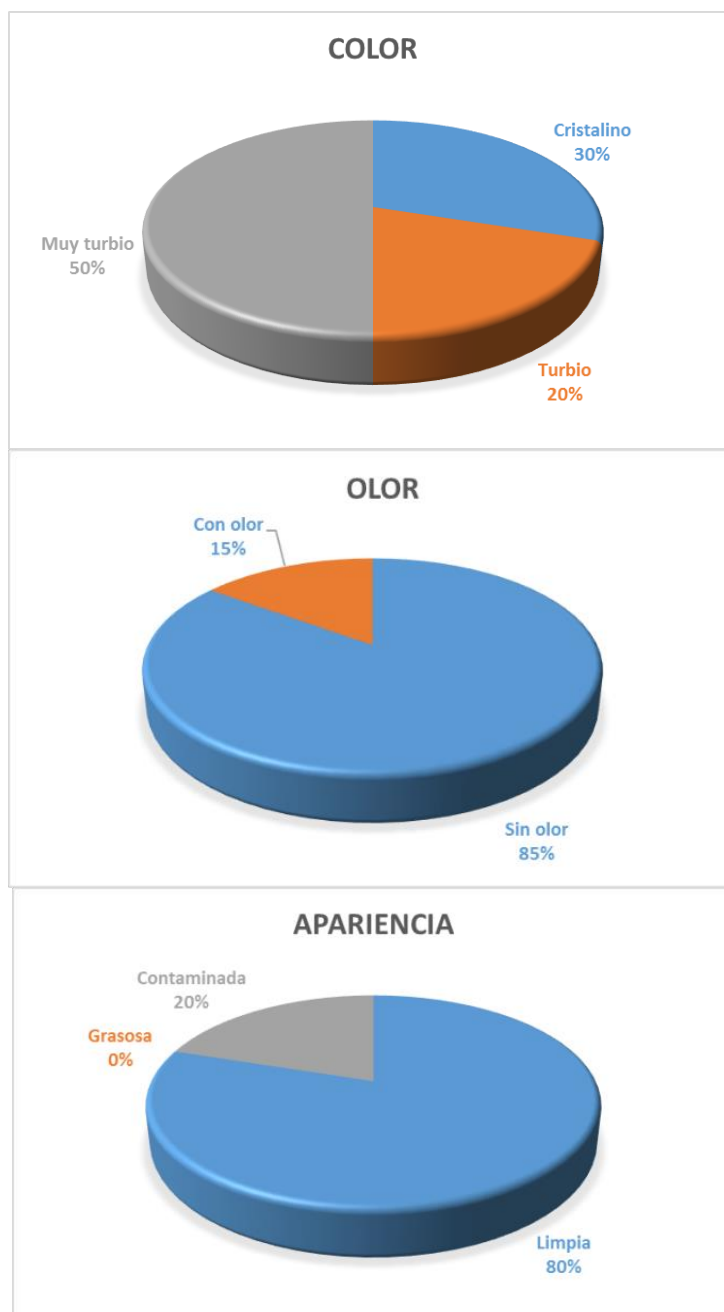


Figura 12. Apreciaciones de las características organolépticas de los cuerpos de agua muestreados de la cuenca del río Coroico.

De las figuras presentadas se resalta respecto al COLOR que el 70% de los ríos presento agua muy turbia a turbia y el restante presento cierto grado de transparencia. El OLOR la apreciación muestra que el 85% de los ríos no presentaban olor desagradable y la APARIENCIA, muestra que el 80% tiene una apariencia limpia, considérese que las características organolépticas dependerán en gran manera de la persona que realice dichas apreciaciones.

A. Análisis de las características morfoestructurales de los cuerpos de agua de la Cuenca del río Coroico

A continuación, se describen las características generales y morfoestructurales de los cuerpos de agua que han sido muestreados dentro de la cuenca del río Coroico:

Código: CR_Hua_01

PUNTO NRO: 1

- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho 17 metros aproximadamente.
- Ancho del cauce de 14 metros aproximadamente.
- Se midió un aumento del cauce del río de 3 metros aproximadamente, en ambas riberas.
- Se tomaron medidas hasta 2.5 metros, abarcando la facie rápido, que representa el 18 % de cauce, esta facie se presentaba de manera uniforme en todo el tramo. No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad.
- El caudal máximo determinado fue $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$
- Profundidad máxima medida fue de 53 cm.
- El río presenta una estructura encajonada, con la ribera del frente protegida por roca madre. Presentaba un caudal fuerte, con una sola facie uniforme. El sustrato de fondo se caracteriza por material grueso variado, lo que demuestra que en época seca los rápidos se podrían convertir en otras facies como radier.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho de 17 metros en la facie radier y 12,8 metros facie poza aproximadamente.
- Ancho del cauce de 12 metros en poza y radier aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 0.45 metros aproximadamente en total, en ambas riberas.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 3.5 metros en la facie radier, y 2 metros en la facies poza lo que implica 29 % y 17 % respectivamente del cauce total en la que se tomaron medidas de descripción y características hídricas.
- El caudal máximo determinado fue 2.1 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 75 cm. En este sector se evidenció una pendiente permitía un caudal rápido.
- El río presenta una estructura encajonada, con ambas riberas protegidas por roca madre. Presentaba un caudal fuerte y en la facie poza la profundidad aumentaba rápidamente. El sustrato de fondo se caracteriza por material variado, lo que demuestra que en época seca podrían convertirse en otras facies. En la facie radier, hay mayor variación del sustrato de fondo, el sustrato más pequeño estaba suelto, típico de una playa. Estas características demuestran que hubo un cambio reciente de facies.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho fue de 28 metros en la facie radier y de 35 metros en la facie poza.
- Ancho del cauce fue de 23 metros en la facie radier y 15 metros en la facie poza.
- Se estima el aumento del cauce del río, en 1 metro aproximadamente en total, en ambas riberas. No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad.
- Se tomaron medidas hasta 10.5 metros, abarcando la facie radier y hasta 6 metros, abarcando la facie poza que representa el 46 % y 40 % del cauce total respectivamente.
- El caudal máximo determinado fue $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$
- Profundidad máxima medida fue de 100 cm.
- El río presenta una estructura abierta, solo la ribera del frente está protegida por vegetación. Presentaba un caudal fuerte en el centro del río donde la profundidad aumentaba. En el transecto se reconocieron dos facies, caracterizadas por la velocidad de caudal y el tipo de sustrato de fondo, en la poza dominaba el sustrato fino como arena y en la facie radier dominaba el sustrato grueso como los bloques, debido a la amplitud del lecho y a la estabilidad del sustrato, este tramo no presenta evidencia de inestabilidad de riberas, manteniendo sus facies estables.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho es de 11,7 metros en la facie radier y de 9 metros en la facie poza
- Ancho del cauce del río fue de 10 metros en la facie radier y de 8,7 metros en la facie poza aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 2.5 metros en la facie radier y de 1 metro en la facie poza, en ambas riberas.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 8.5 metros, abarcando la facie poza y hasta 3 metros, abarcando la facie radier, que representa 98 % y 30 % respectivamente del total del cauce. El tramo presentaba dos tipos de facies principalmente radier y poza.
- El caudal máximo determinado fue 10.3 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 75 cm.
- El río presenta una estructura encajonada, con intervención ingenieril (muro de contención hecha de concreto), solo la ribera del frente está protegida por vegetación y roca madre. Presentaba un caudal fuerte, pero la profundidad no era tan alta. En el transecto se reconocieron dos facies, caracterizadas por el tipo de sustrato de fondo, en la poza dominaba el sustrato fino como grava y en la facie radier dominaba el sustrato grueso como las piedras, debido a la variabilidad del sustrato y a la estructura del valle, este río aumenta en profundidad, y el caudal mueve el sustrato del fondo cambiando las facies, esto también se evidencia por la inestabilidad del sustrato de fondo.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo y durante la madrugada del día de muestreo se presentaron precipitaciones moderadas, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río fue de 47,2 metros aproximadamente.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 40,2 metros aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 7 metros aproximadamente en total, en ambas riberas. No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad.
- Se tomaron medidas hasta 3.5 metros, que representa el 9 % del total del cauce, de la facie de poza, siendo esta facie uniforme a lo largo del río.
- El caudal máximo determinado fue 1.6 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 64 cm.
- El río presenta una estructura abierta, con ambas riberas desprotegidas. Presentaba un caudal fuerte, con una sola facie uniforme, donde la profundidad aumentaba rápidamente hacia el centro del río. El sustrato de fondo se caracteriza por material fino como arena, la presencia de material grueso bastante inestable en el fondo, es resultado de la fuerza de la corriente que arrastra este material. La evidencia de altura del caudal demuestra que las riberas son inestables provocando fácilmente desbordes. Presentaba un caudal fuerte con una sola facie uniforme en el transecto, donde la profundidad y la fuerza del caudal aumentaba rápidamente hacia el centro del río. El sustrato de fondo se caracterizaba por material grueso como bloques, la estabilidad del sustrato y la evidencia de la subida de altura del agua, demuestran que las riberas son estables.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo y durante la madrugada del día de muestreo se presentaron precipitaciones moderadas, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río fue cerca de 23,4 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue cerca de 20 metros.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 2 metros aproximadamente en total, en ambas riberas.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 6.5 metros que representa un 33 % del total del cauce de la facie poza.
- El caudal máximo determinado fue 1.2 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 84 cm.
- El río presenta una estructura encajonada, con ambas riberas protegidas por roca madre y vegetación. Presentaba un caudal fuerte, con una sola facie uniforme en el transecto, donde la profundidad y la fuerza del caudal aumentaba rápidamente hacia el centro del río. El sustrato de fondo se caracterizaba por material grueso como bloques, la estabilidad del sustrato y la evidencia de subida de altura del agua, demuestran que las riberas son estables.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo y durante la madrugada del día de muestreo se presentaron precipitaciones moderadas, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho cerca de 9,1 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue cerca de 6,5 metros.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 1.5 metros aproximadamente en total, en ambas riberas.
- Se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se midió 6.5 metros que abarca el 100 % del cauce de la facie rápido.
- El caudal máximo determinado fue 1.8 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 50 cm.
- El río presenta una estructura encajonada, con ambas riberas protegidas por vegetación. Presentaba un caudal intermedio, con una sola facie uniforme en el transecto, la profundidad se caracterizaba por ser baja y el sustrato de fondo se presentaba inestable, con material de tamaño intermedio, dominado por grava. Las riberas presentaban pequeños derrumbes.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río 29,6 aproximadamente.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 28 metros aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 3 metros aproximadamente en total, en ambas riberas.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 3.5 metros que representa el 13% del cauce total, Este tramo presentaba solo un tipo de facie radier.
- El caudal máximo determinado fue 2.2 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 80 cm.
- El río presenta una estructura abierta, con solo una ribera protegida por vegetación. Presentaba un caudal alto hacia el centro del río, con una sola facie uniforme en el transecto, la profundidad se caracterizaba por aumentar muy rápido en el tramo. El sustrato de fondo presentaba material de tamaño intermedio, dominado por grava. Las riberas presentaban pequeños bancos de arena, con evidencia de desborde, lo que demuestra que las riberas de un lado del río son inestables.

Fotografía del punto de muestreo



- Se estima el aumento del cauce del río, en 1 metros aproximadamente en total, en ambas riberas, a causa de las precipitaciones de los días pasados.
- Ancho máximo del lecho en la facie poza 13 metros y en la facie radier 24 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue de cerca de 10 metros en la facie poza y de 18 metros en la facie radier aproximadamente.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 5 metros en la facie poza y hasta 5.5 metros, en la facie radier, que representa el 5à % y el 31 % respectivamente del cauce total del río de estas facies. El tramo presentaba dos tipos de facies radier y poza.
- El caudal máximo determinado fue 2.5 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 76 cm.
- El río presenta una estructura encajonada, este río se caracteriza por no presentar partículas en suspensión. La ribera del frente está protegida por roca madre. Presentaba un caudal fuerte y profundidad creciente hacia el centro del río, en la facie poza la profundidad crecía rápidamente en el tramo. En el transecto se reconocieron dos facies, la poza presentaba sustrato variado, dominado por grava, lo que refleja un cambio de facie para la época seca, posiblemente a un rápido, la facie radier se caracterizaba por el tipo de sustrato de fondo dominado por piedra. Una característica de este sitio, en torno al sustrato, es la angulosidad de las piedras, que demuestra que el caudal alto no es constante.

Fotografía del punto de muestreo



- Se estima el aumento del cauce del río, en 1 metro aproximadamente en total, en ambas riberas, a causa de las precipitaciones de los días pasados. Ancho del lecho del río cerca de 9 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 7 metros aproximadamente.
- Se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 7 metros que es el 100 % del cauce de la facie radier.
- El caudal máximo determinado fue 2.1 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 58 cm.
- El río presenta una estructura encajonada, continua a una caída, se caracteriza por presentar perifiton en las superficies rocosas. Ambas riberas están protegidas por roca madre, al estar cerca de túneles y un puente, en una de las riberas se construyó un muro de contención de concreto. Presentaba un caudal fuerte, con una sola facie en el transecto. El tipo de sustrato de fondo presentaba una gran variedad de material, dominado por piedra.

Fotografía del punto de muestreo



- Se estima el aumento del cauce del río, en 1,5 metros aproximadamente en total, en ambas riberas, a causa de las precipitaciones de los días pasados.
- Ancho del lecho fue cerca 48 metros
- Ancho máximo del cauce del río fue de 40 metros aproximadamente.
- No se realizó todo el transecto, debido a la profundidad y al tipo de sedimento fino del fondo. Se tomaron medidas hasta 9 metros que representa el 23 % del cauce total de la facie poza. El tramo presentaba un solo tipo de facie poza.
- El caudal máximo determinado fue 1.8 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 82 cm.
- El río presenta una estructura abierta, se caracteriza por presentar partículas suspendidas. Ambas riberas están débilmente protegidas por vegetación. Presentaba un caudal fuerte y alta profundidad hacia el centro del río, con una sola facie en el transecto. El tipo de sustrato de fondo estaba dominado por piedra. Con evidencia del tipo de sustrato y la velocidad del caudal, se pudo determinar que en época seca hay un cambio de facies. Las riberas presentaban erosión, evidencia de riberas inestables que permiten que el río se desborde cuando el caudal sube.

Fotografía del punto de muestreo



- En los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río, afectando la turbidez y la velocidad del caudal.
- Ancho del lecho de río 47,4 aproximadamente
- Ancho máximo del cauce del río fue de 45 metros aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 4.5 metros aproximadamente en total, en ambas riberas. No se realizó todo el transecto, debido al caudal y la profundidad.
- Se tomaron medidas hasta 6 metros que representa el 13 % del total del cauce de la facie poza. El tramo presentaba solo un tipo de facie uniforme poza, con vestigios de cambio de facie reciente de radier a Poza.
- El caudal máximo determinado fue 3.2 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 60 cm.
- El río presenta una estructura abierta, se caracteriza por presentar partículas suspendidas, con evidencia de derrumbes recientes, presentes en la ribera del frente. Ambas riberas están débilmente protegidas por vegetación. Presentaba un caudal fuerte y alta profundidad hacia el centro del río, con una sola facie en el transecto. El tipo de sustrato de fondo estaba dominado por piedra. Con evidencia del tipo de sustrato y la velocidad del caudal, se pudo determinar que en época seca hay un cambio de facies. Las riberas presentaban erosión, evidencia de riberas inestables que permiten que el río se desborde cuando el caudal sube.

Fotografía del punto de muestreo



- En los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río cerca de 67 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 60 metros aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 3 metros aproximadamente en total, en ambas riberas.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 5.5 metros que representa el 9 % del cauce total del río de la facie poza. El tramo presentaba de manera uniforme poza, con vestigios de cambio de facie reciente de radier a poza.
- El caudal máximo determinado fue 2 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 84 cm.
- El río presenta una estructura abierta, con ambas riberas protegidas por vegetación con evidencia de derrumbes recientes. Presentaba un caudal fuerte y alta profundidad hacia el centro del río, con una sola facie en el transecto. El tipo de sustrato de fondo estaba dominado por piedra. Con evidencia del tipo de sustrato y la velocidad del caudal, se pudo determinar que en época seca hay un cambio de facies. Las riberas presentaban erosión, evidencia de riberas inestables que permiten que el río se desborde cuando el caudal sube. Una de las riberas tenía evidencia de que el cauce estaba subiendo recientemente, ya que las plantas terrestres estaban sumergidas.

Fotografía del punto de muestreo



- En los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río, afectando también la turbidez y arrastre de sedimentos suspendidos.
- Ancho del lecho del río 113 metros aproximadamente.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 100 metros aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 2 metros aproximadamente en total, en ambas riberas. No se realizó todo el transecto, debido a la profundidad y al tipo de sedimento fino del área de trabajo.
- Se tomaron medidas hasta 2 metros que representa el 2 % del total del cauce de la facie poza. El tramo presentaba de manera uniforme la facie de poza, con vestigios de cambio de facie de radier a Poza.
- El caudal máximo determinado fue 0.8 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 112 cm.
- El río presenta una estructura abierta, con ambas riberas protegidas por vegetación con evidencia de erosión recientes. Presentaba un caudal fuerte y alta profundidad hacia el centro del río, con una sola facie en el transecto. El tipo de sustrato de fondo estaba dominado por material fino como limo. Las riberas presentaban erosión, evidencia de riberas inestables que permiten que el río se desborde cuando el caudal sube.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río 80 metros aproximadamente.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 50 metros aproximadamente.
- Debido a la profundidad y al tipo de sedimento fino del fondo, no fue posible realizar la toma de medidas en todo el transecto.
- Se tomaron medidas hasta 12 metros que representa el 24 % del cauce total de la facie poza, única facie presente en el tramo, con vestigios de cambio de facie de poza a radier.
- El caudal máximo determinado fue 1.8 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 100 cm.
- El río presenta una estructura abierta, se caracteriza por presentar menos partículas suspendidas que el río que corría a lado (río Coroico). Ambas riberas están débilmente protegidas por vegetación, una de las riberas solo es un banco de vegetación que divide ambos ríos. Presentaba un caudal intermedio y alta profundidad hacia el centro del río, con una sola facie en el transecto. El tipo de sustrato de fondo estaba dominado por piedra. Con evidencia del tipo de sustrato, se pudo determinar que en época seca hay un cambio de facies. Las riberas presentaban erosión y depósitos de partículas grandes, evidencia de riberas inestables que permiten que el río se desborde o cambie de curso cuando el caudal sube.

Fotografía del punto de muestreo



- De acuerdo a los pobladores locales, en los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río fue cerca de 10 metros en la facie rápido, de 15,5 metros en la facie radier y de 10 metros en la facie poza.
- Ancho del cauce del río fue cerca de 9 metros en la facie rápido, de 5,5 metros en la facie radier y de 6 metros en la facie poza.
- Se estima el aumento del cauce del río, en 1 metro aproximadamente en total, en ambas riberas.
- Se logró realizar todas las mediciones de las facies de radier y rápido, que representa un 100 % del total del cauce para cada facie respectivamente. Sin embargo, debido a la profundidad y sedimento fino no se logró realizar todo el transecto en la facie Poza.
- Se tomaron medidas hasta 3 metros que representa el 50 % de la facie poza. Este tramo presentaba tres tipos diferentes de facies poza, radier y rápido.
- El caudal máximo determinado fue 2.5 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 117 cm.

Fotografía del punto de muestreo



- En los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río, aspecto que también se reflejó en la turbidez y sedimentos suspendidos.
- Ancho del lecho cerca de 67 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 59 metros aproximadamente.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad.
- Se tomaron medidas hasta 2 metros que representa el 3% del total del cauce de la facie poza. Este tramo presentaba solo un tipo de facie poza, con vestigios de un cambio de facie reciente de rápido y radier a poza.
- El caudal máximo determinado fue 0.8 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 128 cm.
- El río presenta una estructura abierta, ambas riberas protegidas por vegetación con evidencia de derrumbes recientes. Presentaba un caudal fuerte y alta profundidad cerca de la ribera, con una sola facie en el transecto. El tipo de sustrato de fondo estaba dominado por material grueso como piedra. Las riberas presentaban erosión, evidencia de riberas inestables que permiten que el río erosione las paredes y cause inestabilidad de orillas de las riberas presentaban derrumbes recientes. Presentaba un caudal intermedio y alta profundidad hacia el centro del río, con solo una facie presente en el transecto, caracterizada por presentar sustrato grueso, típico de otra facie, lo que quiere decir que el cambio de facie ocurrió hace poco tiempo y que en la época seca se presentan otras facies como rápidos y radier. Las riberas erosionadas sugieren orillas inestables, propensas a desborde del río cuando el caudal sube.

Fotografía del punto de muestreo



- Los días previos y en la madrugada del día 10 de diciembre en este sector se presentaron precipitaciones fuertes y constantes, lo que también se evidencio por inundaciones que alcanzaron unas cabañas cercanas al punto de muestreo.
- Se estima el aumento del cauce del río, en 3 metros aproximadamente en total, en ambas riberas.
- Ancho del lecho cerca de 26,1 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 22 metros aproximadamente.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad. Se tomaron medidas hasta 10.5 metros que representa el 48 % del total del cauce de la facie poza. Este tramo presentaba solo un tipo de facie poza.
- El caudal máximo determinado fue 1.7 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 100 cm.
- Este punto fue muestreado en remplazo del designado, ya que no se pudo ingresar al punto por que el camino se derrumbó. El río presenta una estructura cerrada pero no llega a ser encajonada, las riberas están constituidas por vegetación, una de las riberas presentaba derrumbes recientes. Presentaba un caudal intermedio y alta profundidad hacia el centro del río, con solo una facie presente en el transecto, caracterizada por presentar sustrato grueso, típico de otro tipo de facie, lo que quiere decir que el cambio de facie ocurrió hace poco tiempo y que en la época seca se presentan otras facies como rápidos y radier. Las riberas erosionadas sugieren orillas inestables, propensas a desborde de río cuando el caudal sube.

Fotografía del punto de muestreo



- En los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río fue cerca de 33 metros.
- Ancho máximo del cauce del río fue de 30 metros aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 1 metro aproximadamente en total, en ambas riberas.
- No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad.
- Se tomaron medidas hasta 9.5 metros que representa el 32 % del cauce total de la facie "Poza". Este tramo presentaba un solo tipo de facie poza.
- El caudal máximo determinado fue 2.4 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 87 cm.
- El río presenta una estructura abierta, las riberas están débilmente protegidas por vegetación, una de las riberas presenta una conformación de banco con vegetación, con evidencia de erosión. Presentaba un caudal fuerte y alta profundidad hacia el centro del río, con solo una facie presente en el transecto, caracterizada por presentar variedad de sustrato, dominado por sustrato grueso, como piedra. La presencia de sustrato grueso es típico de otro tipo de facie, lo que quiere decir que el cambio de facie ocurrió hace poco tiempo y que en la época seca se presentan otras facies como rápidos y radier. Las riberas erosionadas sugieren orillas inestables.

Fotografía del punto de muestreo



- En los días previos al muestreo, en este sector se presentaron precipitaciones, provocando el aumento del cauce del río.
- Ancho del lecho del río fue de 22 metros aproximadamente
- Ancho del cauce del río fue de 20 metros aproximadamente.
- Se estima el aumento del cauce del río, fue en 3 metros aproximadamente en total, en ambas riberas No se realizó todo el transecto, debido al fuerte caudal y la profundidad.
- Se tomaron medidas hasta 3.5 metros que representa el 18 % del total del cauce de la facie rápido. Este tramo presentaba un solo tipo de facie rápido.
- El caudal máximo determinado fue 2.2 m³/s
- Profundidad máxima medida fue de 80 cm.
- El río presenta una estructura encajonada, las riberas están constituidas por roca madre, el sustrato de las paredes es muy inestable y se evidencia derrumbes. Presentaba un caudal fuerte y alta profundidad hacia el centro del río, con solo una facie presente en el transecto, caracterizada por presentar dominancia de sustrato grueso, como piedra, el sustrato de fondo estaba muy inestable. Las riberas erosionadas sugieren orillas inestables.

Fotografía del punto de muestreo



B. Hidrometría de los cuerpos de agua de la Cuenca del río Coroico.

a) Flujo de agua en la cuenca

Según lo establecido se ha calculado el caudal para cada sitio de muestreo y las correspondientes facies evaluadas (el nro. de facies evaluadas dependió del acceso en el momento de muestreo). Para presentar un solo dato de caudal por punto, en el caso de los ríos en que se logró evaluar más de una facie, se calculó también el promedio de las facies (Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5).

Tabla 5. Datos del cálculo del caudal de 20 puntos de muestreo de la cuenca del río Coroico.

NRO.	PUNTO	FACIE	VEL_PROM (m/s)	PROF (m)	ANCHO DE CAUCE	CAUDAL m3/s	CAUDAL l/s	PROMEDIO
1	CR_Hua_01	Rápido	0,6	0,3	14,0	2,1	2139	2138,89
2	CR_Siñ_01	Poza	0,6	0,5	12,0	3,9	3876	3015,00
		Radier	0,6	0,3	12,0	2,2	2227	
3	CR_Hua_02	Radier	0,7	0,2	23,0	2,8	2836	2307,96
		Poza	0,1	0,4	15,0	0,8	842	
4	CR_SBr_01	Poza	1,2	0,4	8,7	4,1	4059	3686,63
		Radier	1,1	0,3	10,0	3,3	3277	
5	ZO_Zon_03	Poza	0,5	0,3	40,2	6,3	6332	6331,50
6	CR_Yol_01	Poza	0,4	0,3	20,0	2,3	2286	2285,66
7	CR_Sju_01	Rápido	0,9	0,3	5,0	1,3	1311	1310,63
8	CR_Cor_01	Rápido	1,2	0,4	28,0	14,0	13957	13957,42
9	CR_Qca_01	Poza	1,1	0,5	10,0	5,4	5407	5252,13
		Radier	0,9	0,3	18,0	4,1	4125	
10	CR_Caj_01	Radier	0,5	0,4	7,0	1,4	1367	1366,52
11	CR_Cor_03	Poza	0,8	0,4	40,0	14,4	14408	14408,27
12	Br_Bro_01	Poza	1,4	0,3	45,0	20,1	20143	20142,69
13	YA_Yar_01	Poza	1,0	0,4	60,0	27,1	27123	27123,06
14	CR_Cor_06	Poza	0,3	0,6	59,0	11,2	11182	11181,68
15	ZO_Zon_01	Poza	0,9	0,5	50,0	21,8	21842	21841,60
16	Yo_Por_01	Rápido	1,2	0,3	9,0	3,4	3355	2471,88
		Radier	1,2	0,3	5,5	2,0	2001	
		Poza	0,4	0,5	6,0	1,3	1322	
17	CR_Cor_09	Poza	0,2	0,8	59,0	9,3	9340	9340,09
18	YO_Yol_01	Poza	0,7	0,4	22,0	5,4	5418	5417,85
19	YA_Tay_01	Poza	1,2	0,5	30,0	17,1	17109	17109,40
20	CR_Cho_01	Rápido	0,9	0,6	20,0	10,6	10617	10616,67

Podemos observar que el flujo del caudal es variable en los diferentes puntos de muestreo, estos varían desde 1310,6 y 1366 l/s entre los caudales más bajos registrados y los caudales más altos van desde 21841, y 27123,1 l/s, como se puede observar en la Figura 13 a continuación.

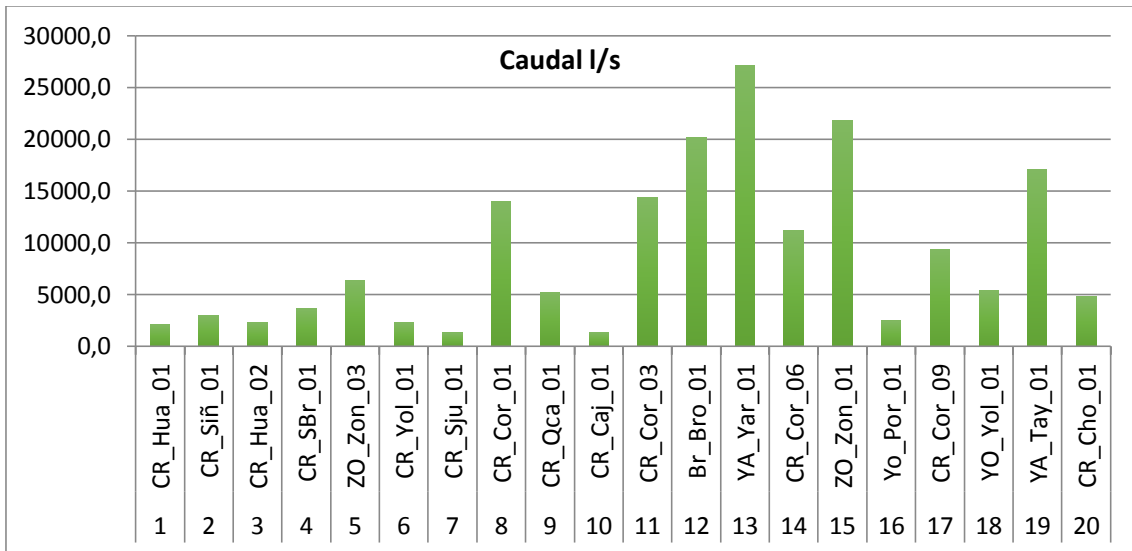


Figura 13. Variación del flujo del caudal en 20 puntos de muestreo de la cuenca del Río Coroico. Los números corresponden a cada punto de muestreo.

Se observa en la Figura 14, la variación de caudales entre los diferentes puntos de muestreo. De forma general se evidencia que los ríos de cabecera de la cuenca tienen menor caudal, a medida que se baja en la cuenca media se puede observar que el caudal va en aumento, hasta llegar a la cuenca baja donde los caudales aumentan. Es importante resaltar ciertas particularidades observadas en el caudal de los ríos, esta situación puede deberse a las condiciones temporales durante la época de muestreo, tal es el caso de las precipitaciones registradas días previos y durante algunos días del muestreo, situación que posiblemente haya aumentado el caudal. Otros factores que afectan al caudal calculado son: el lugar de muestreo, puesto que la elección del lugar fue elegida en función del acceso y seguridad de los técnicos, recordemos también que los ríos de esta región son sinuosos, trezados, encajonados principalmente, influyen adicionalmente otros factores relacionados al tipo de sustrato y la estabilidad del cauce del río.

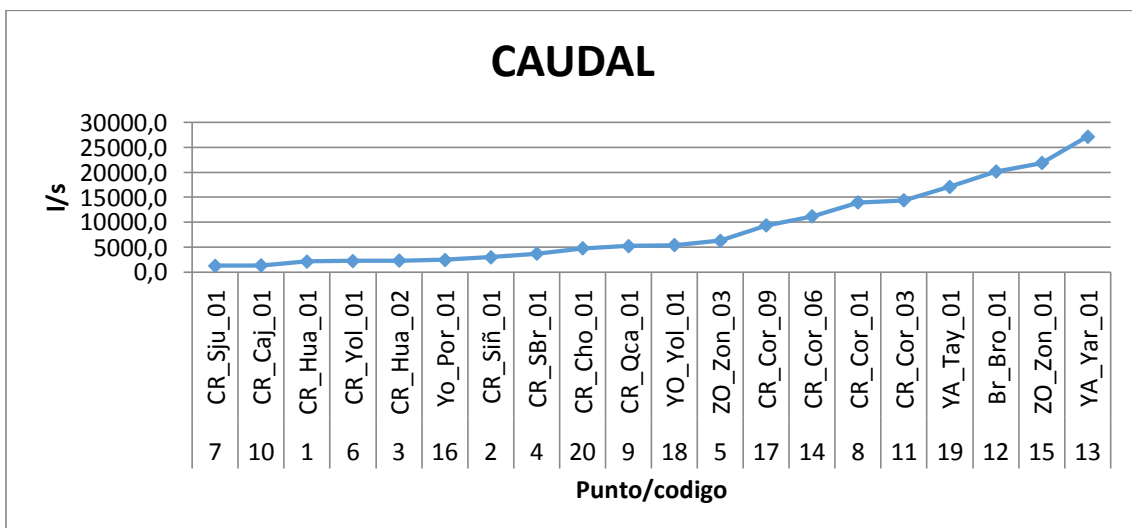


Figura 14. Flujo del caudal de menor a mayor registrado en los 20 puntos de muestreo, de la cuenca del río Coroico en orden de cantidad.

C. Morfoestructura de los ríos

El ancho del lecho del río es un indicador morfoestructural importante a considerar, nos da información de hasta donde es la capacidad de los ríos de crecer fuera del cauce, esta variable esta por lo tanto relacionada al movimiento de cauce del río. En la figura 15 podemos observar una alta variabilidad de dimensiones del lecho de los ríos de la cuenca Coroico que varían desde los 5 m hasta los 60 m de ancho, esto responde también a las características propias de los ríos, según los pisos ecológicos, los ríos de cabecera son los que tienen los anchos de lecho más estrechos, posteriormente la cuenca se va abriendo presentando anchos intermedios entre los 20 a 40 m y finalmente la parte baja ríos con mayor ancho de lecho arriba de los 41 a 60 m que fue el mayor registrado.

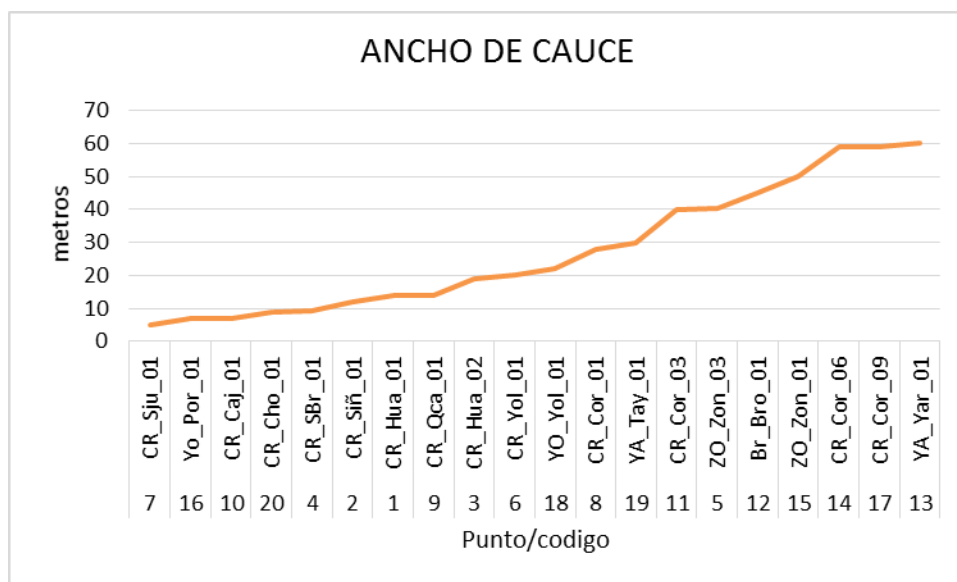


Figura 15. Ancho de lecho medida en metros presentada de forma ascendente, de los 20 puntos de muestreo de los ríos de la cuenca Coroico.

En cuanto al cauce del río otra variable importante en la morfoestructura, esta variable está directamente relacionada con el movimiento del agua (cauce) del río, sus resultados nos permiten estimar el impacto que sucede con la fuerza del caudal y como afecta a una ribera o al lecho. Así podemos establecer el grado de estabilidad de la ribera, es decir si está bien conformada y/o si es poco o bastante estable.

El índice de Pfankuch mide la estabilidad o inestabilidad de los ríos y esta depende de varios factores que han sido mencionados en la metodología. La premisa principal del índice es que las condiciones abióticas locales son coherentes con la estructura hidroecoregional, para definir una morfología del río. Su resultado es un índice que varía de 40 a 160 (suma de datos asignados, ver metodología). En la Figura 17 podemos observar que los ríos más estables se encuentran entre los valores 40 a 70, estos ríos generalmente tienen un sustrato de gran tamaño como piedra grande y bloque que difícilmente se desprenden. Los ríos con valores entre 71 y 100 son también considerados estables, pero sus riberas pueden ser susceptibles a desbordes pudiendo ser arrastrada la vegetación y la tierra o parte del sustrato del mismo río puede ser arrastrado, como piedras grandes y/o medianas.

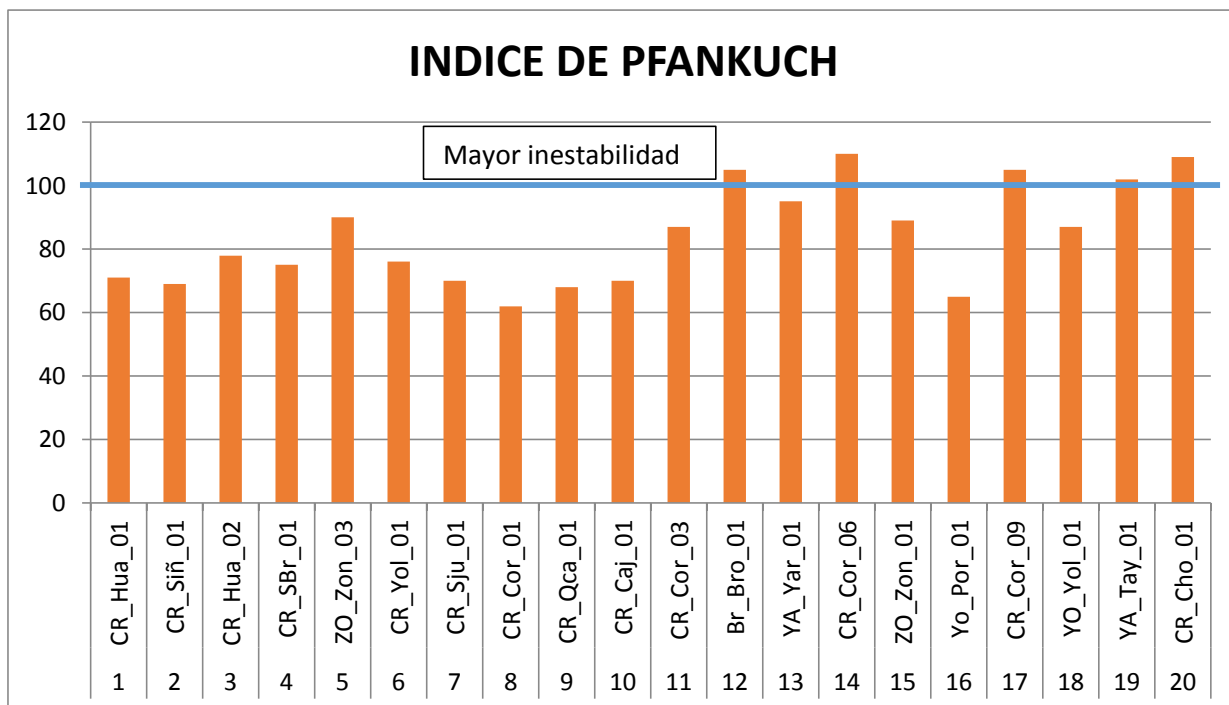


Figura 16. Índice de Pfankuch, que mide la estabilidad o inestabilidad de los ríos. Los datos corresponden a los 20 puntos de muestreo de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico.

Finalmente la línea Azul dentro de la figura, diferencia hacia arriba a los ríos más inestables, sus valores se encuentran entre 101 y 110. Estos ríos se caracterizan por desbordar arrastrar material particulado y tener bastante deposición de sedimentos pasado el periodo de lluvias.

A manera de conclusión que el ancho de lecho y el ancho del cauce son dos variables importantes a considerar durante el ciclo hidrológico o en procesos de monitoreo. El ancho de cauce es la medida por donde circula el agua, pero el ancho del lecho mide hasta donde puede subir el nivel del agua, pudiendo inundar zonas de cultivo afectando los mismos. Complementando esta información en otras épocas de muestreo se puede dar lineamientos a nivel de las comunidades para prevenir impactos por inundación o en el peor de los casos desbordes de los ríos con damnificados. Por esta razón también es importante complementar los datos del caudal en época seca y de transición.

D. Análisis cuali cuantitativo físico-químico de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico

En los siguientes cuadros se presenta el análisis cualitativo, de cada punto de muestreo en los correspondientes ríos que se trabajó. Dicho análisis se realizó en función a los resultados de las evaluaciones físico-químicas, por punto de muestreo:

El punto CR_Hua_01, presenta:	Nro. de punto 1
<ul style="list-style-type: none"> • Agua ligeramente ácida y con poca turbidez, con presencia de sólidos sedimentables y suspendidos probablemente debido al arrastre sedimentos y erosión de las riberas por el aparente aumento del cauce en los días de muestreo. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y sólidos totales. 	

- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), sin embargo, existe una cantidad muy elevada de aceites y grasas (Agua Clase D) que afecta a la calidad del agua, probablemente influenciada por las actividades registradas en la zona aledaña, tales como el lavado de ropa, lavado de autos, etc.
- El análisis microbiológico (coliformes totales), no indica contaminación bacteriológica, mostrando que podría ser apta para consumo humano, considérese que existen otros parámetros con concentraciones muy elevadas.
- Los análisis de pesticidas muestran que las concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección. Por lo tanto, de acuerdo a los valores recomendados por el RMCH, NB-512 y la OMS se encontrarían en concentraciones que no afectan a la salud humana.

El punto CR_Siñ_01, presenta:

Nro. de punto 2

- El agua con pH relativamente ácido, tal vez por la actividad minera en la zona. Existe cierto grado de turbidez y alta presencia de sólidos suspendidos probablemente debido al arrastre de sedimentos y erosión de las riberas por el aparente aumento del caudal y el cauce en los días de muestreo.
- Presenta una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y sólido total. En general, el análisis de metales muestra bajas concentraciones, sin embargo, el arsénico tiene una concentración que se encuentra en el límite permisible para el consumo humano según la NB-512 (0.01mg/l), el cual posiblemente es influenciado por las actividades mineras en la zona.
- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), sin embargo, existe alto contenido de aceites y grasas (Clase C), que puede afectar a la calidad del agua, probablemente influenciada por las actividades registradas en la zona aledaña, tales como el lavado de ropa, lavado de automóviles, aseo personal y minería.
- El análisis de coliformes totales indica presencia de contaminación microbiológica, por lo que no es recomendable para el consumo humano (NB-512), sin haber realizado algún tipo de tratamiento previo.

El punto CR_Hua_02, presenta:

Nro. de punto 3

- Agua ligeramente ácida y poco turbia, con alta presencia de sólidos suspendidos y sedimentables, probablemente debido al arrastre de sedimentos y leves deslizamientos cerca al punto, además de actividades tales como la extracción de áridos y minería en la zona.
- Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y sólidos totales.
- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), sin embargo, existe un alto contenido de aceites y grasas (Clase C) que afecta a la calidad del agua, probablemente influenciada por las actividades registradas en la zona aledaña, tales como el lavado de ropa, lavado de autos, aseo personal y minería.
- El análisis de coliformes totales indica presencia de contaminación microbiológica, por lo que no es recomendable para el consumo humano (NB-512), sin haber realizado algún tipo de tratamiento previo.
- Los análisis de pesticidas muestran que las concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección. Por lo tanto, de acuerdo a los valores recomendados por el RMCH, NB-512 y la OMS se encontrarían en concentraciones que no afectan a la salud humana.

El punto CR_SBr_01, presenta:	Nro. de punto 4
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con pH relativamente neutro y con ligera turbidez y baja presencia de solidos sedimentables y suspendidos. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y solidos totales. • No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), sin embargo, existe alto contenido de aceites y grasas (Clase C), que afecta a la calidad del agua, probablemente influenciada por las actividades registradas en la zona aledaña, tales como el lavado de ropa, lavado de automóviles, aseo personal, entre otras. • El análisis microbiológico (coliformes totales), no indica contaminación bacteriológica. • Los análisis de pesticidas muestran que las concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección. Por lo tanto, de acuerdo a los valores recomendados por el RMCH, NB-512 y la OMS se encontrarían en concentraciones que no afectan a la salud humana. 	

El punto ZO_Zon_03, presenta:	Nro. de punto 5
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con pH ácido, no apto para el consumo humano según NB-512, posiblemente por influencia de actividad minera en la zona. Existe una alta turbidez, así como solidos suspendidos y sedimentables, probablemente debido al arrastre sedimentos y leves deslizamientos, además de actividades tales como el lavado de vehículos y la minería. • Presenta una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y solido total. En general, el análisis de metales muestra bajas concentraciones, sin embargo, el aluminio tiene una concentración que se encuentra por encima de límite permisible para el consumo humano según la NB-512 (0.1mg/l). Es necesario mencionar que en condiciones de pH ácido, la concentración de iones de aluminio en el agua se incrementan, provocando muchas veces efectos tóxicos en los organismos. • No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), sin embargo, existe una alta presencia de aceites y grasas (Clase C), que puede afectar la calidad del agua, posiblemente por las actividades registradas en la zona aledaña, tales como el lavado de ropa, lavado de vehículos, aseo personal y minería etc. • El análisis de coliformes totales indica presencia de contaminación microbiológica, por lo que no es recomendable para el consumo humano (NB-512), sin haber realizado algún tipo de tratamiento previo. 	

El punto CR_Yol_01, presenta:	Nro. de punto 6
<ul style="list-style-type: none"> • Agua levemente ácida (Clase A). Existe alta turbidez, con leve presencia de solidos suspendidos probablemente debido al arrastre sedimentos y erosión de las riberas por el aparente aumento del cauce en los días de muestreo. • Presenta una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y solidos totales. En general, el análisis de metales muestra bajas concentraciones, sin embargo, el aluminio tiene una concentración que se encuentra por encima de límite permisible para el consumo humano según la NB-512 (0.1mg/l). Es necesario mencionar que en condiciones de 	

pH ácido, la concentración de iones de aluminio en el agua se incrementan, provocando muchas veces efectos tóxicos en los organismos.

- El DQO indica bajo grado contaminación orgánica (Clase B), además un reducido contenido de aceites y grasas (debajo del límite de detección), que afecta a la calidad del agua, posiblemente provocados por actividades como el turismo, lavado de ropa vehículos y aseo personal.
- El análisis microbiológico (coliformes totales), indica una alta contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512, en su estado natural

El punto CR_Sju_01, presenta:	Nro. de punto 7
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con un pH relativamente básico, una muy alta turbidez y elevada presencia de sólidos sedimentables y suspendidos, probablemente debido al arrastre sedimentos y erosión de las riberas por el aparente aumento del cauce en los días de muestreo. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una baja conductividad eléctrica y sólidos totales. • El DQO y DBO-5 indica cierto grado contaminación orgánica (Clase B), posiblemente provocados por actividades como el turismo, pecuaria, lavado de ropa vehículos, aseo personal en zonas aledañas. • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica una alta contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en su estado natural. Es probable que dicha contaminación sea provocado por la actividad pecuaria y un manejo inapropiado del turismo, detectada en la zona. • Los análisis de pesticidas muestran que las concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección. Por lo tanto, de acuerdo a los valores recomendados por el RMCH, NB-512 y la OMS se encontrarían en concentraciones que no afectan a la salud humana. 	

El punto CR_Cor_01, presenta:	Nro. de punto 8
<ul style="list-style-type: none"> • Agua ligeramente ácida, con turbidez muy alta y elevada presencia de sólidos suspendidos, probablemente debido al arrastre sedimentos y erosión de las riberas por el aparente aumento del cauce en los días de muestreo. También puede estar influenciado por actividades aledañas a la zona, tales como la extracción de áridos y botadero de basura. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que se refleja en una baja conductividad eléctrica y sólidos totales. • No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y tampoco concentraciones detectables de aceites y grasas. • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. Es probable que dicha contaminación sea provocado por la actividad pecuaria y presencia de botaderos de basura en el sector. 	

El punto CR_Qca_01, presenta:	Nro. de punto 9
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con un pH muy ácido (Clase D), una baja turbidez y de sólidos sedimentables y suspendidos. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una baja conductividad eléctrica y sólidos totales. 	

- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y tampoco concentraciones detectables de aceites y grasas (por debajo del límite de detección).
- El análisis microbiológico (coliformes totales), indica un grado importante de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en su estado natural, sin previamente realizar algún tipo de tratamiento. Es probable que dicha contaminación sea provocado por un manejo inapropiado del turismo.
- Los análisis de pesticidas muestran que las concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección. Por lo tanto, de acuerdo a los valores recomendados por el RMCH, NB-512 y la OMS se encontrarían en concentraciones que no afectan a la salud humana.

ASEI punto CR_Caj_01, presenta:	Nro. de punto 10
<ul style="list-style-type: none"> • Agua muy acida (Clase D), por lo que no es apto para consumo humano según la NB-512, probablemente exista alguna actividad que este influyendo río arriba, posiblemente la minería. Existe cierta turbidez (Clase B) y baja concentración de solidos sedimentables y presencia de solidos suspendidos. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y solidos totales. • No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), ni tampoco presencia importante de aceites y grasas (por debajo del límite de detección). • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apta para consumo humano son previo tratamiento. 	

El punto CR_Cor_03, presenta:	Nro. de punto 11
<ul style="list-style-type: none"> • Agua ligeramente ácida y alta turbidez, sólidos sedimentables y solidos suspendidos (Clase D), probablemente debido al arrastre sedimentos y erosión de las riberas por el aparente aumento del cauce en los días de muestreo. • Existe una baja concentración de iones (NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻), excepto los Sulfatos, también los metales en baja concentración, lo que también se refleja en una baja conductividad eléctrica y solidos totales. <p>No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y tampoco concentraciones detectables de aceites y grasas (por debajo del límite de detección).</p> <ul style="list-style-type: none"> • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en su estado natural, sin previo tratamiento. Es probable que dicha contaminación sea provocado por descargas de aguas residuales de los centros poblados cercanos al sector. 	

El punto BR_Bro_01, presenta:	Nro. de punto 12
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con un pH muy acido, alta turbidez, solidos sedimentables y solidos suspendidos (Clase D). • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una baja conductividad eléctrica y solidos totales. • No se evidencia contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y tampoco concentraciones detectables de aceites y grasas (por debajo del límite de detección). 	

- El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. Es probable que dicha contaminación provenga de las comunidades cercanas y la interacción antrópica general.

El punto YA_Yar_01, presenta:

Nro. de punto 13

- Agua con un pH casi neutro, con turbidez, solidos sedimentables y solidos suspendidos con altas concentraciones (Clase D).
- Existe una baja concentración de iones (NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) excepto los Sulfatos. Concentraciones bajas de metales, excepto el Magnesio y el Calcio que aumentan su concentración en este punto. Conductividad eléctrica baja, pero la mayor registrada entre todos los puntos de muestreo, al igual que los sólidos totales.
- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y tampoco de aceites y grasas (por debajo del límite de detección).
- El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia importante de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en su estado natural. Es probable que dicha contaminación se origine de los desechos sólidos y líquidos que provienen de la población urbana de Caranavi, muy cercana al punto de muestreo. Asimismo, se evidencio residuos de diferente índole y usos diversos.

El punto CR_Cor_06, presenta:

Nro. de punto 14

- Agua con un pH levemente acida, alta turbidez, siendo el valor más alto de todos los puntos de muestreo, al igual que los sólidos sedimentables y suspendidos (Clase D).
- Existe una baja concentración de iones (NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻), excepto los sulfatos. Los metales en general en bajas concentraciones, sin embargo el sodio, magnesio, silicio y calcio que muestran concentraciones mayores en relación a otros puntos de muestreo. Bajo valor de conductividad eléctrica y los sólidos totales están presenten en concentraciones bajas, empero de los valores más altos registrados en la cuenca.
- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y tampoco de aceites y grasas (por debajo del límite de detección).
- El análisis microbiológico (coliformes totales), indica un grado importante de contaminación bacteriológica, entre los más altos de la cuenca, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. Es probable que dicha contaminación sea provocado por la comunidad asentada cerca y las interacciones que realizan diferentes pobladores en el lugar, además de la actividad minera.

El punto ZO_Zon_01, presenta:

Nro. de punto 15

- Agua con un pH ligeramente acida. Turbidez, solidos sedimentables y suspendidos en altas concentraciones (Clase D).
- Existe una baja concentración de iones ((NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻), excepto los Sulfatos, los metales en baja concentración, excepto el aluminio y el calcio, baja conductividad eléctrica y moderada cantidad de solidos totales.
- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y tampoco concentraciones detectables de aceites y grasas (por debajo del límite de detección).

- El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. Es probable que dicha contaminación sea provocado por las actividades antrópicas cercanas.

El punto YO_Por_01, presenta:	Nro. de punto 16
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con un pH muy ácido (Clase D), una baja turbidez y de sólidos sedimentables. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻), excepto el Nitrógeno Total que muestra la concentración más alta de todos los puntos muestreados. Se observa una baja conductividad eléctrica y sólidos totales. • No se evidencia contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y alta concentración de aceites y grasas (Clase D). • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. Es probable que dicha contaminación sea provocado por un manejo inapropiado del turismo. • Los análisis de pesticidas muestran que las concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección. De acuerdo a los valores recomendados por el RMCH, NB-512 y la OMS se encontrarían en concentraciones que no afectan a la salud humana. 	

El punto CR_Cor_09, presenta:	Nro. de punto 17
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con un pH casi neutro, alta turbidez, sólidos sedimentables y suspendidos (Clase D). • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una escasa conductividad eléctrica y sólidos totales. Concentraciones bajas de metales, excepto el magnesio y el calcio que aumentan su concentración en este punto. • No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y existe presencia importante de aceites y grasas (Clase D), muy probablemente procedentes de las actividades que se realizan en alrededores como la minería y también los residuos sólidos que se observan en cercanías. • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. 	

El punto YO_Yol_01, presenta:	Nro. de punto 18
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con un pH levemente ácido, turbidez y de sólidos sedimentables altos (Clase C) y sólidos suspendidos presentes. • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una baja conductividad eléctrica y sólidos totales. • No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), empero existe una alta concentración de aceites y grasas (Clase D). • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. Es probable que dicha contaminación sea provocada por las actividades antrópicas que se desarrollan en los alrededores. 	

El punto YA_Tay_01, presenta:	Nro. de punto 19
--------------------------------------	------------------

- Agua con un pH es casi neutro. Turbidez, sólidos sedimentables y suspendidos en alta concentración (Clase D), probablemente debido al arrastre sedimentos y erosión de las riberas por el aparente aumento del cauce en los días de muestreo.
- Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, excepto el calcio, magnesio, silicio, que elevan su concentración en este punto. La conductividad eléctrica y sólidos totales son bajos.
- No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5) y existe presencia importante de aceites y grasas (Clase D).
- El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural.

El punto CR_Cho_01, presenta:	Nro. de punto 20
<ul style="list-style-type: none"> • Agua con un pH ligeramente ácido, una baja turbidez y de sólidos sedimentables en cantidad moderada (Clase B). • Existe una baja concentración de iones (SO₄, NO₃⁻, CN⁻, PO₄, Cl⁻) y metales, lo que también se refleja en una baja conductividad eléctrica y sólidos totales. • No se evidencia con certeza contaminación orgánica (DQO, DBO-5), pero existe una alta concentración de aceites y grasas (Clase D). • El análisis microbiológico (coliformes totales), indica presencia de contaminación bacteriológica, por lo que no es apto para el consumo humano según la NB-512 en estado natural. Es probable que dicha contaminación sea provocado por los asentamientos humanos que se encuentran en las cercanías y las actividades turísticas que se desarrollan en la zona. 	

A continuación, se presenta la caracterización cuantitativa de la calidad del agua en función a los resultados de los análisis físico químicos y los parámetros con mayor relevancia o característicos de la cuenca del río Coroico.

La **Temperatura** registrada en los puntos de muestreo, la menor se presentó en el punto que se encuentra en la comunidad del Chairo del municipio de Coroico 1: CR_Hua_01 con 16,3 °C. La mayor temperatura se registró en el punto que se encuentra en la comunidad de Colonia Mallasa del municipio de Caranavi 19: YA_Tay_01 con 24,2 °C (Figura 17).

Las temperaturas son referenciales en función de los pisos ecológicos y aunque para este muestreo la variación es +/- 5, es necesario considerar esta variable durante el monitoreo el ciclo hidrológico, por tener influencia en la hidrogeoquímica de los ríos (presencia de aniones, cationes o transformaciones químicas de nitratos a nitritos o de mercurio a metil mercurio).

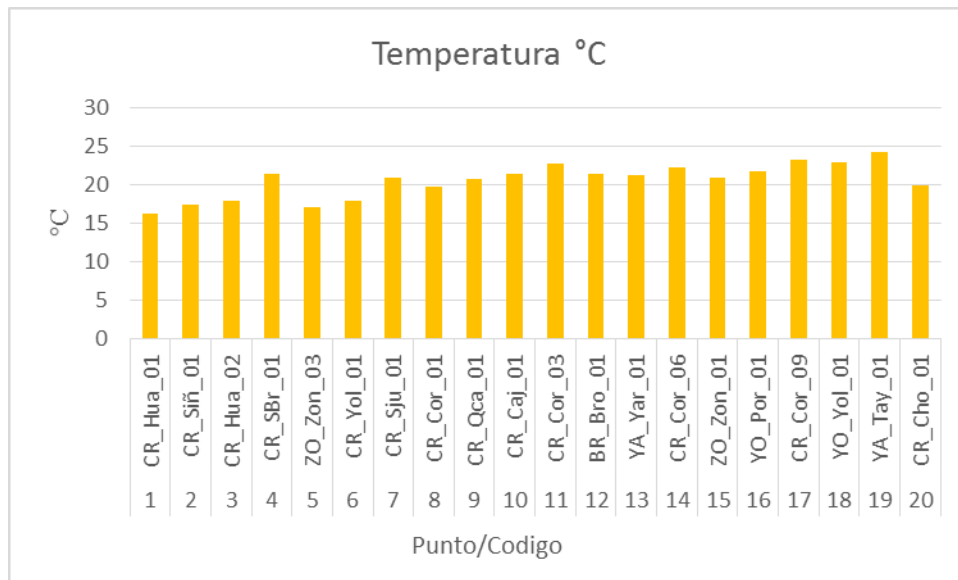


Figura 17. Temperatura registrada en los cuerpos de agua evaluados.

La **Saturación de Oxígeno**, registrada en los puntos de muestreo, la menor se presentó en el punto 12: BR_Bro_01 con 99,9% que se encuentra en el río Bronzini, en territorio limítrofe de los municipios de La Paz y Caranavi. El mayor valor se registró en el punto 20: CR_Cho_01 con 105,5% que se encuentra en la comunidad del Choro del municipio del Coroico (Figura 18).

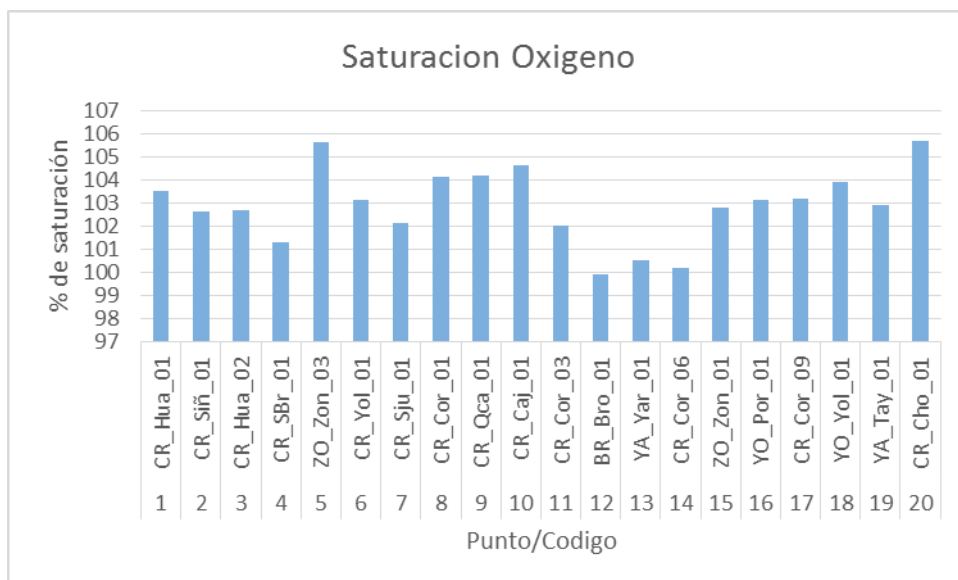


Figura 18. Saturación de Oxigeno registrada en los cuerpos de agua evaluados

El pH, registrada en los puntos de muestreo, el menor valor se presentó en el punto 12: BR_Bro_01 con 4,64 (ácido) que se encuentra en la comunidad que se encuentra en el río Bronzini, en territorio limítrofe de los municipios de La Paz y Caranavi. El mayor valor se registró en el punto 7: CR_Sju_01 con 7.42 (ligeramente básico) que se encuentra en el río San Juan, parte de la comunidad Coroico Viejo, del municipio del Coroico. Nótese

también en la siguiente figura que varios de los puntos de muestreo se encuentran por debajo del rango recomendado.

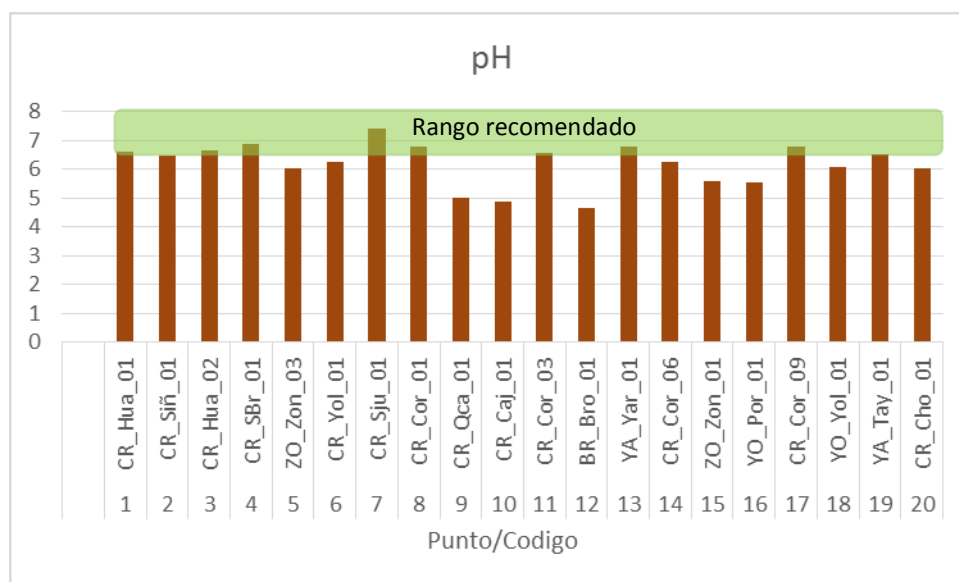


Figura 19. pH registrada en los cuerpos de agua evaluados. Considerar la barra verde que establece los rangos recomendados por la NB-512 y la OMS.

En los Aceite y Grasas registrados en los puntos de muestreo, el menor valor se presentó en los puntos 6: CR_Yol_01, 7: CR_Sju_01, 8: CR_Cor_01, 9: CR_Qca_01, 10: CR_Caj_01, 11: CR_Cor_03, 12: BR_Bro_01, 13: YA_Yar_01, 14: CR_Cor_06 y 15: ZO_Zon_01 con un valor >0.3 mg/l. (límite de detección del método). El mayor valor se registró en el punto 18: YO_Yol_01 con un valor de 1.1 mg/l. Nótese que el valor recomendado es "0" (Figura 20).

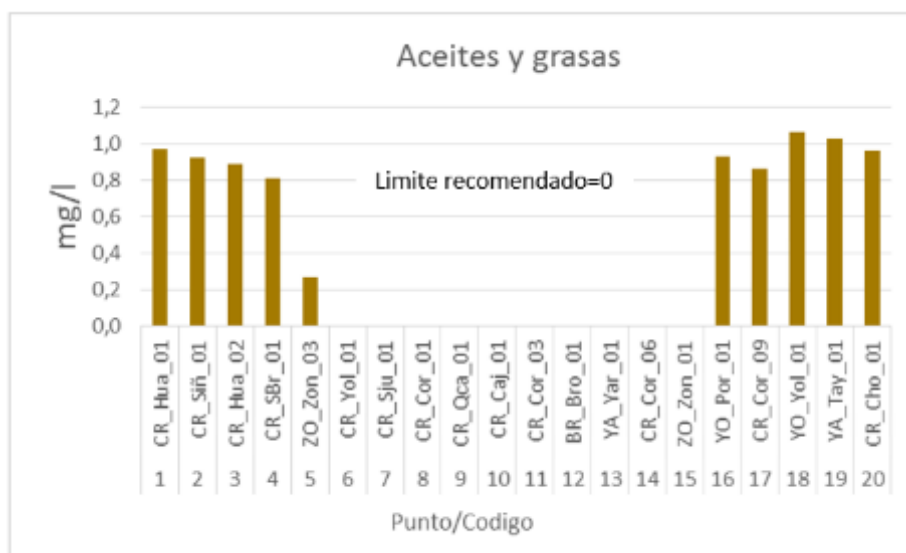


Figura 20. Valores de Aceites y Grasas registrados en los cuerpos de agua evaluados

En los Coliformes Totales registrados en los puntos de muestreo, el menor valor se presentó en los puntos 1:CR_Hua_01 y 4:CR_SBr_01 con un valor "0" UFC/100 ml. El mayor valor se registró en el punto 7:CR_Sju_01 con un valor de 220 UFC/100 ml. Nótese que el valor recomendado es "0". Aunque el límite recomendado es "0", como se han

obtenido concentraciones arriba de 100 UFC/100 ml, sería recomendable realizar análisis de coliformes fecales, las cuales son si son un indicador del estado de salud del cuerpo de agua y de los pobladores que hacen uso del mismo (Figura 21).

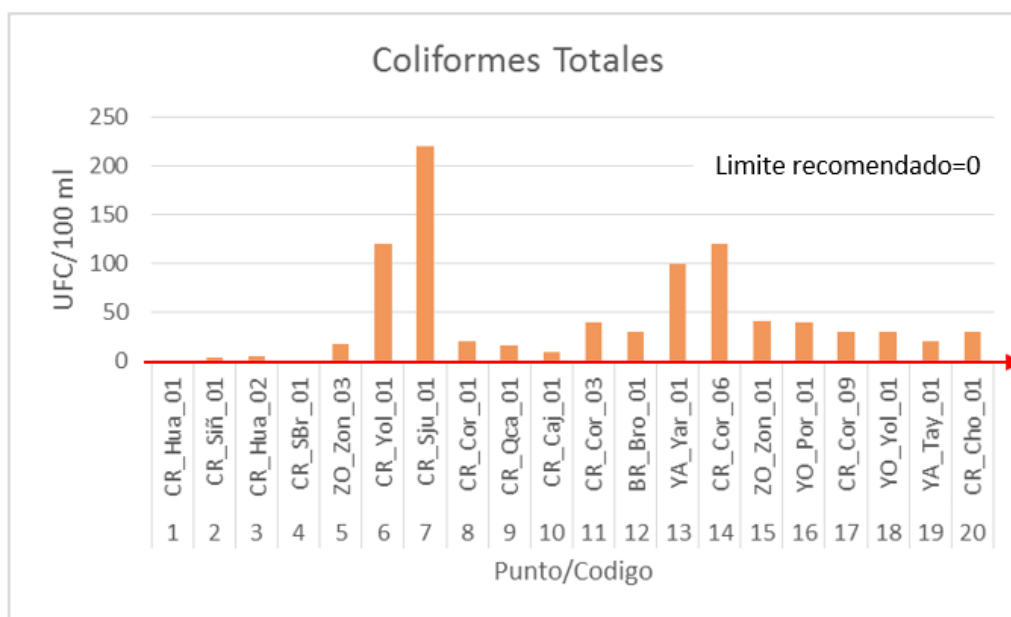


Figura 21. Valores de Coliformes Totales registrados en los cuerpos de agua evaluados

Complementariamente se han realizado análisis de los elementos químicos que se han presentado en concentración por encima de los límites o valores de referencia recomendados. Tal es el caso del Aluminio que se presenta en concentraciones mayores en los puntos 5: ZO_Zon_03, 6: Cr_yol_01 y 15:ZO_Zon_01. El resto de los cuerpos de agua, presentan valores menores. Este elemento no era considerado tóxico para la salud humana, sin embargo la OMS (2011) menciona que hay una posible relación de este elemento con la enfermedad de Alzheimer. En las zonas tropicales este elemento se encuentra de forma natural en la naturaleza, pero generalmente oxidado quedando sobre la superficie del suelo dando un aspecto brillante³.

³ Disponible en: <http://amazoniaforestal.blogspot.com/2011/09/influencia-de-los-suelos-en-los-bosques.html>

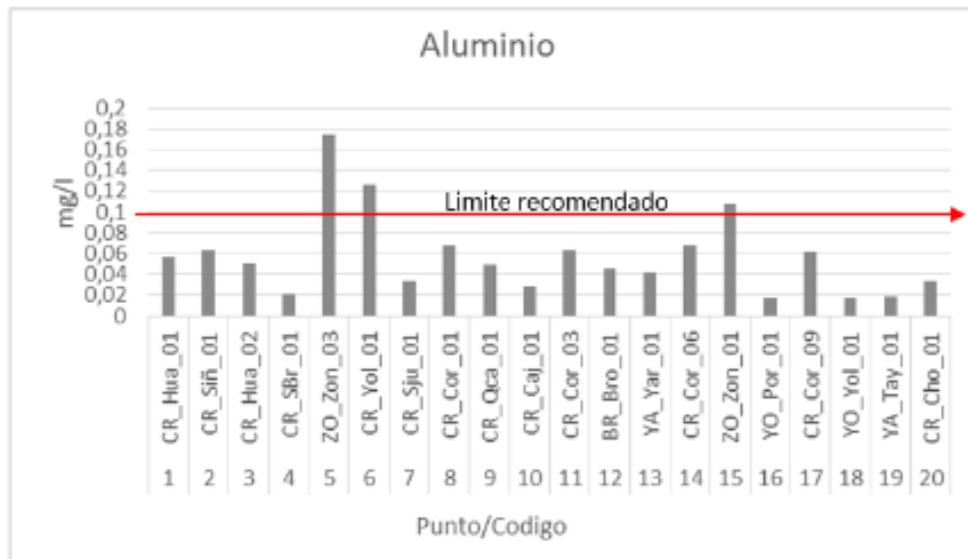


Figura 22. Valores de concentración de Aluminio registrados en los cuerpos de agua evaluados

En el caso del Arsénico se presenta en concentraciones mayores a los recomendados en el punto 2: CR_Siñ_01. El resto de los cuerpos de agua, presentan valores muy por debajo de lo recomendado. Otro elemento natural de la corteza terrestre ampliamente distribuido en el medio ambiente, sin embargo exposición al arsénico inorgánico (la más tóxica) en el agua o en el aire, puede causar varios efectos sobre la salud, como es la irritación del estómago e intestinos, disminución de glóbulos blancos y rojos, cambios en la piel. Este elemento sobrepasa el límite recomendado en tres puntos de muestreo. Para confirmar los efectos en la salud humana podrían realizarse estudios paralelos en seres humanos, en sembradíos si es que el agua es utilizada para el riego y en organismos acuáticos (Figura 23).

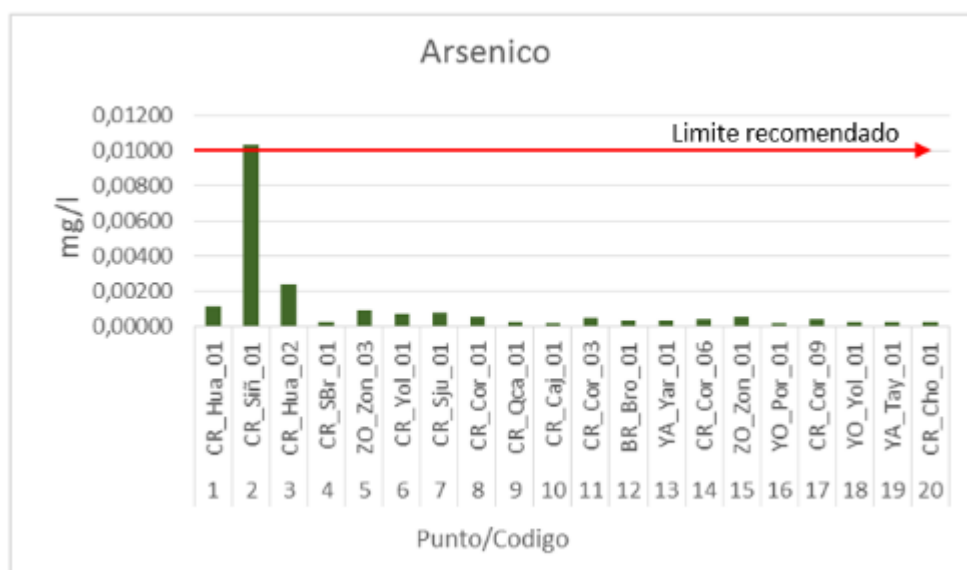


Figura 23. Valores de concentración de Arsénico registrados en los cuerpos de agua evaluados

E. Aptitud de uso de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico

Para identificar la "Aptitud de uso" de los cuerpos de agua de la cuenca, se tomaron como referencia los parámetros y valores establecidos en las normativas bolivianas: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, la Normativa Boliviana - NB-512 y la OMS.

Recordemos que el vigente RMCH clasifica a los Cuerpos de Aguas, basados en su aptitud de uso, estableciendo e las siguientes clases: CLASE "A", CLASE "B", CLASE "C" y CLASE "D". Dicho Reglamento también especifica:

Art. 7° En la clasificación de los cuerpos de aguas se permitirá que hasta veinte de los parámetros especificados en el Cuadro N° A-1 superen los valores máximos admisibles indicados para la clase de agua que corresponde asignar al cuerpo, con las siguientes limitaciones:

1° Ninguno de los veinte parámetros puede pertenecer a los PARAMETROS BASICOS del Art. 6°.

2° El exceso no puede ser mayor al 50% del valor máximo admisible del parámetro.

Art. 36° En caso de que un cuerpo de agua o sección de un cauce receptor tenga uno o más parámetros con valores mayores a los establecidos según su clase, la Instancia Ambiental Dependiente del Prefecto deberá investigar y determinar los factores que originan esta elevación, para la adopción de las acciones que mejor convengan, con ajuste a lo establecido en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental.

ARTICULO 37° En los casos en que un cuerpo de agua tenga varias aptitudes de uso, los valores de los límites máximos permisibles para los parámetros indicados en el Anexo A se fijarán de acuerdo con la aptitud de uso más restrictiva del cuerpo de agua.

ARTICULO 38° Una vez que el MDSMA haya fijado la Clase de un determinado cuerpo de agua, en función de su aptitud de uso, ésta se mantendrá por un mínimo de cinco años.

ARTICULO 40° A efecto de controlar los escurrimientos de áreas agrícolas y la contaminación de los cuerpos receptores, los REPRESENTANTES LEGALES deberán informar al Prefecto los siguientes aspectos:

- a. cantidad, tipos y clases de fertilizantes y herbicidas utilizados, así como los calendarios de los ciclos de producción y la periodicidad del uso de fertilizantes y plaguicidas;
- b. los sistemas de riego y de drenaje utilizados;
- c. efectos de los escurrimientos sobre los cuerpos receptores.

A continuación se presentan las categorías de clasificación de cuerpos de agua establecidos en el RMCH (1995), Reglamento que es parte de la Ley de Medio Ambiente 1333 (1992).

Tabla 6. Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso (RMCH 1995)

ORDEN	USOS	CLASE "A"	CLASE "B"	CLASE "C"	CLASE "D"
1	Para abastecimiento doméstico de agua potable después de:				
	a) Sólo una desinfección y ningún tratamiento	SI	NO	NO	NO
	b) Tratamiento solamente físico y desinfección.	No necesario	SI	NO	NO
	c) Tratamiento físico - químico completo: coagulación,	No necesario	No necesario	SI	NO

	floculación, filtración y desinfección.				
	d) Almacenamiento prolongado o pre sedimentación, seguidos de tratamiento al igual que c).	No necesario	No necesario	No necesario	SI
2	Para recreación de contacto primario: natación, esquí, inmersión.	SI	SI	SI	NO
3	Para protección de los recursos hidrobiológicos.	SI	SI	SI	NO
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cáscara delgada, que sean ingeridas crudas sin remoción de ella.	SI	SI	NO	NO
5	Para abastecimiento industrial.	SI	SI	SI	SI
6	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana.	SI	SI	SI	NO
7	Para abrevadero de animales	NO (*)	SI	SI	NO
8	Para la navegación (**)	NO (**)	SI	SI	SI

(***) No aplicable a acuíferos

(SI) Es aplicable, puede tener todos los usos indicados en las clases correspondientes

(*) No en represas usadas para abastecimiento de agua potable.

(**) No a navegación a motor.

a) Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano - Normativa Boliviana NB-512 y Guías de la Organización Mundial de la Salud - OMS

La NB-512 establece un "Valor máximo aceptable" para distintos parámetros. De acuerdo a las guías disponibles en la OMS (2011), los criterios utilizados para decidir si se establece un valor de referencia que representa normalmente la concentración de un componente que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida (OMS 2011), son los siguientes: Existen pruebas verosímiles de la presencia de la sustancia química en el agua de consumo, junto con pruebas de su toxicidad real o potencial; Existe preocupación internacional significativa por la sustancia; Se está considerando la inclusión de la sustancia, o bien ya está incluida, en el plan de evaluación de plaguicidas, WHOPES, de la OMS, un programa de aprobación de la aplicación directa de plaguicidas al agua de consumo para el control de insectos vectores de enfermedades.

Los parámetros y sus respectivos rangos de concentración y/o valores establecidos para cada normativa y la OMS, se presentan en la Tabla a continuación:

Tabla 7. Valores establecidos para cada parámetro evaluado, para identificar la Aptitud de Uso de los cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico de acuerdo al RMCH (1995).

PARÁMETRO	UNIDAD	BOLIVIA					OMS
		RMCH				NB 512	
		A	B	C	D		
Temperatura	°C	(+/-) 3°C de receptor	(+/-) 3°C de receptor	(+/-) 3°C de receptor	(+/-) 3°C de receptor		NPR
Conductividad	uS/cm					1500	
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/l	1000	1000	1500	1500	1000	NPR. Mayor a 600 mg/l aceptable
Oxígeno disuelto	mg/l						NPR
Saturación Oxígeno	%	<80 %	<70%	<60%	<50%		
pH		6,0-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,5-9,0	NPR. Valor optimo 6,5 a 8.
Turbidez	NTU	<10	<50	<100	<200	5	NPR. Menor que 0,1 UNT, turbidez alta (>50 UNT).
Sólidos Sedimentables	ml/l	<10mg/l	<30 mg/l - <0,1ml/l	<50mg/l - <1ml/l	<100mg/l - < 1ml/l		
Sólidos Suspendidos	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
DQO	mg/l	<5	<10	<40	<60		
DBO-5	mg/l	<2	<5	<20	<30		
Cloruro	mg/l	250	300	400	500	250	NPR. 250 mg/l pueden conferir al agua un sabor perceptible
Sulfatos (SO4)	mg/l	300	400	400	400	400	NPR. mayor a 200 mg/l
Nitratos (NO3)	mg/l	20	50	50	50	45	50
Cianuro libre (CN-)	mg/l	0,0	0,1	0,2	0,2	0,07	0,07
Fosfato (PO4)	mg/l	0,40	0,50	1,00	1,00		

PARÁMETRO	UNIDAD	BOLIVIA					OMS
		RMCH				NB 512	
		A	B	C	D		
Nitrógeno Total	mg/l	5,0	12,0	12,0	12,0		
Aceites y grasas	mg/l	Ausente	Ausente	0,3	1,0		
Coliformes Totales	UFC/100 ml					<1 UFC	0,000
Sodio (Na)	mg/l	200	200	200	200	200	NPR. 200 mg/l inaceptable
Litio (Li)	mg/l	2,5	2,5	2,5	5		
Berilio (Be)	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001		NPR
Magnesio (Mg)	mg/l					150	
Aluminio (Al)	mg/l	0,2	0,5	1	1	0,1	0,1
Potasio (K)	mg/l						NPR muy debajo para peligro
Calcio (Ca)	mg/l	200	300,0	300	400	200	100 Bq/l y Dureza
Vanadio (V)	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1		100 Bq/l
Cromo (Cr)	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Manganeso (Mn)	mg/l	0,5	1	1	1	0,1	NPR. 0,1 inaceptable, mayor a 0,4 efectos en la salud
Hierro (Fe)	mg/l	0,3	0,3	1,0	1,0	0,3	NPR
Cobalto (Co)	mg/l	0,1	0,2	0,2	0,2		100, 1000 Bq/l
Níquel (Ni)	mg/l	0,05	0,05	0,5	0,5	0,05	0,07
Cobre (Cu)	mg/l	0,05	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0
Zinc (Zn)	mg/l	0,2	0,2	5,0	5,0	5,0	NPR. mayores que 3 mg/l puede resultar inaceptable
Arsénico (As)	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,1	0,01	0,01
Selenio (Se)	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,04

PARÁMETRO	UNIDAD	BOLIVIA					OMS
		RMCH				NB 512	
		A	B	C	D		
Molibdeno (Mo)	mg/l						0,07
Plata (Ag)	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05		NPR. 0,1 mg/l en 70 años NPR
Cadmio (Cd)	mg/l	0,005	0,005	0,005	0,005	0,003	0,003
Estaño (Sn)	mg/l	2,0	2,0	2,0	2,0		NPR. No peligroso para la salud
Antimonio (Sb)	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Bario (Ba)	mg/l	1,0	1,0	2,0	5,0	0,7	1,3
Mercurio (Hg)	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006
Plomo (Pb)	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,1	0,01	0,01
Uranio (U)	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02		0,030
4,4-DDT	ug/l	1,0	1,0	1,0	1,0	0,001	
DDX (Suma)	ug/l						1,0
Aldrín	ug/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Dieldrín	ug/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
Endrín	ug/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	0,60	0,60
Drinas (Suma)	ug/l						0,60
gama-HCH	ug/l						2,0
α-Endosulfan	ug/l	70	70	70	70		NPR. 0,006 mg/kg de peso corporal
Clordanos (Suma)	ug/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Heptacloro	ug/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	NPR

PARÁMETRO	UNIDAD	BOLIVIA					OMS
		RMCH				NB 512	
		A	B	C	D		
Heptacloroepoxido	ug/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	NPR. 0,1 mg/l. aparecen en concentraciones mucho menores que las que producen efectos tóxicos.
Hexaclorobutadieno	ug/l					0,6	0,6

*Casillas vacías: no existe un valor establecido

**NPR: No se emite Valor de Referencia; NPR con algún texto: No se emite Valor de Referencia, pero se da un valor aceptable.

F. Comparación de los resultados, con los límites permisibles establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica - RMCH, NB-512 y la OMS.

De acuerdo a los análisis realizados, se ha determinado en función a los parámetros, concentraciones, valores y pautas emitidas en el RMCH, que todos los puntos evaluados dentro de la cuenca del río Coroico, corresponden a la **CLASE "B"**, las cuales se consideran aptas para:

- Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.
- Aptas para recreación de contacto primario: natación, esquí, inmersión.
- Para protección de los recursos hidrobiológicos.
- Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cáscara delgada, que sean ingeridas crudas sin remoción de ella.
- Para abastecimiento industrial.
- Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana.
- Para abrevadero de animales y
- Para la navegación

Cabe aclarar que de acuerdo al RMCH, en todos los puntos de muestreo existen parámetros, que por sus valores, clasifican a los cuerpos de agua muestreados en las Clases A, B, C y D, sin embargo la mayoría de dichos parámetros no se encuentran en el grupo de los parámetros principales establecidos en el RMCH, excepto el DBO-5, que de acuerdo a los límites de detección reportados por SPECTROLAB, para todos los casos se reporta un el valor ">5". Por lo que considerando el Art. 37° del RMCH, que indica: "En los casos en que un cuerpo de agua tenga varias aptitudes de uso, los valores de los límites máximos permisibles para los parámetros indicados en el Anexo A se fijarán de acuerdo con la **aptitud de uso más restrictiva del cuerpo de agua**". Así como lo estipulado en el Art. 7°, que indica que: "..., en la clasificación de los cuerpos de aguas se permitirá que hasta veinte de los parámetros especificados, superen los valores máximos admisibles indicados para la clase de agua que corresponde asignar al cuerpo, con las siguientes limitaciones: 1° **Ninguno de los parámetros puede pertenecer a los PARAMETROS BASICOS...**". Razones por lo cual todos los ríos evaluados corresponden a la CLASE "B". Dicha conclusión así como los parámetros observados, es decir aquellos que se presentan en concentraciones o valores por encima o debajo de lo recomendado en las Clases B, C y D, se mencionan por cada punto de muestreo en la Tabla 8. Respecto al análisis de los resultados, comparando los valores de referencia establecidos en la NB-512 y la OMS, los cuales discriminan al agua en lo que para el presente estudio se indica como "Apto para consumo humano en su estado natural (APCH)", se han clasificado a los ríos muestreados en APCH y No Apta para consumo Humano en su estado natural-NAPCH. Los resultados indican tanto para la NB-512, como para la OMS que ninguno de los cuerpos de agua muestreados son Aptos para consumo Humano en su estado natural. Es decir que no deberían de consumirse por los humanos, sin haberse sometido previamente a algún tipo de tratamiento físico o químico. Adicionalmente considerando el objetivo de estos dos parámetros, se ha identificado adicionalmente parámetros que por su valor sobrepasan la concentración recomendada. Dicha categorización se presenta en la Tabla 9:

Tabla 8. Parámetros observados y Aptitud de uso de acuerdo al RMCH por cada punto de cuerpo de agua muestreado.

PUNTO N°	CÓDIGO	RMCH-PARÁMETROS OBSERVADOS			CONCLUSION	NB512		OMS	
		B	C	D		CONCLUSION	Parámetros observados	CONCLUSION	Parámetros observados
1*	CR_Hua_01	Turbidez, DBO-5	Sol sedm.	Sol sus, AyG	B	NACH	Turbidez	NACH+	Turbidez y Drinas
2	CR_Siñ_01	Turbidez, DBO-5	Sol sedm, AyG	Sol sus	B	NACH+	pH, Turbidez, Coliformes, Arsénico	NACH+	Turbidez, Coliformes, pH y Arsénico
3*	CR_Hua_02	Turbidez, DBO-5	Sol sedm, AyG	Sol sus	B	NACH	Turbidez, Coliformes	NACH+	Turbidez y Drinas
4*	CR_SBr_01	Turbidez, DBO-5	Sol sedm, AyG	Sol sus	B	NACH	Turbidez	NACH+	Turbidez y Drinas
5	ZO_Zon_03	DBO-5	AyG	Turbidez, Sol sedm, Sol sus	B	NACH+	pH, Turbidez, Coliformes, Aluminio	NACH+	Turbidez, Coliformes, pH y Aluminio
6	CR_Yol_01	DQO, DBO-5		Turbidez, Sol sus	B	NACH+	pH, Turbidez, Coliformes, Aluminio	NACH+	Turbidez, Coliformes, pH y Aluminio
7*	CR_Sju_01	DQO, DBO-5	Sol sedm	Turbidez, Sol sedm, Sol sus, Sodio	B	NACH	pH, Coliformes, sodio	NACH+	Coliformes, Turbidez y Drinas
8*	CR_Cor_01	DBO-5	Sol sedm	Turbidez, Sol sus	B	NACH	Turbidez, Coliformes	NACH	Turbidez y coliformes
9	CR_Qca_01	DBO-5, Sol sedm		pH, Sol sus	B	NACH	pH, Coliformes	NACH	Coliformes, Turbidez y pH
10	CR_Caj_01	DBO-5, Turbidez		pH, Sol sus	B	NACH	pH, Turbidez, Coliformes	NACH	coliformes, Turbidez y pH
11	CR_Cor_03	DBO-5		Turbidez, Sol sedm, Sol Sus	B	NACH	Turbidez, Coliformes	NACH	Coliformes, Turbidez
12	BR_Bro_01	DBO-5		pH, Turbidez, Sol sedm, Sol Sus	B	NACH	pH, Turbidez, Coliformes	NACH	Coliformes, Turbidez y pH
13	YA_Yar_01	DBO-5		Turbidez, Sol sedm, Sol Sus	B	NACH	Turbidez, Coliformes	NACH	coliformes, Turbidez

PUNTO N°	CÓDIGO	RMCH-PARÁMETROS OBSERVADOS			CONCLUSION	NB512		OMS	
		B	C	D		CONCLUSION	Parámetros observados	CONCLUSION	Parámetros observados
14	CR_Cor_06	DBO-5		Turbidez, Sol sedm, Sol Sus	B	NACH	pH, Turbidez, Coliformes	NACH	coliformes, Turbidez, pH
15	ZO_Zon_01	DBO-5		pH, Turbidez, Sol sedm, Sol Sus	B	NACH	pH, Turbidez, Coliformes	NACH+	coliformes, Turbidez, pH, Aluminio
16*	YO_Por_01	Sol sedm, DBO-5, Nitrógeno tot,		pH, Sol Sus, AyG	B	NACH	pH, Coliformes	NACH+	Coliformes, pH y Turbidez y Drinas
17	CR_Cor_09	DBO-5		Turbidez, Sol sedm, Sol Sus	B	NACH	Turbidez, Coliformes	NACH	Coliformes y Turbidez
18	YO_Yol_01	DBO-5	Turbidez, Sol sedm	Sol Sus, AyG	B	NACH	pH, turbidez, AyG	NACH	Coliformes, Turbidez, pH
19	YA_Tay_01	DBO-5		Turbidez, Sol sedm, Sol Sus, AyG	B	NACH	turbidez, Coliformes	NACH	Coliformes y Turbidez
20	CR_Cho_01	Turbidez y Sol sedm.		Sol sus, AyG	B	NACH	pH, Turbidez, Coliformes	NACH	Coliformes y Turbidez

*Puntos de muestreo en los que se evaluó la presencia de pesticidas órgano-clorados.

** Parámetros que de acuerdo a su concentración o valor reportado en cada punto de muestreo, producen una variación de la Aptitud de Uso del agua. De acuerdo al RMCH si dichos parámetros corresponden a alguno de los principales establecidos, son relevantes para determinar la Aptitud de Uso de cada punto de muestreo, expresada en la tabla como: "Conclusión". Abreviaciones: Sol sedm= Sólidos sedimentables, Sol sus= Sólidos suspendidos, AyG= Aceites y grasas, Coliformes= coliformes totales, Drinas= Suma de Drinas pesticidas órgano-clorados. NACH: No Apto para Consumo Humano de forma natural; NACH+: No Apto para Consumo Humano de forma natural y contiene algún contaminante químico que amerita atención

Tabla 9. Aptitud de uso del agua de acuerdo al RMCH y aptitud para consumo humano (NB-512 y OMS) de los cuerpos de agua evaluados dentro de la cuenca del río Coroico.

NRO. DE PUNTO	CÓDIGO	RMCH	NB-512 (Aptitud para consumo humano)	OMS (Aptitud para consumo humano)
1*	CR_Hua_01	B	NACH	NACH+
2	CR_Siñ_01	B	NACH+	NACH+
3*	CR_Hua_02	B	NACH	NACH+
4*	CR_SBr_01	B	NACH	NACH+
5	ZO_Zon_03	B	NACH+	NACH+
6	CR_Yol_01	B	NACH+	NACH+
7*	CR_Sju_01	B	NACH	NACH+
8*	CR_Cor_01	B	NACH	NACH
9	CR_Qca_01	B	NACH	NACH
10	CR_Caj_01	B	NACH	NACH
11	CR_Cor_03	B	NACH	NACH
12	BR_Bro_01	B	NACH	NACH
13	YA_Yar_01	B	NACH	NACH
14	CR_Cor_06	B	NACH	NACH
15	ZO_Zon_01	B	NACH	NACH+
16*	YO_Por_01	B	NACH	NACH+
17	CR_Cor_09	B	NACH	NACH
18	YO_Yol_01	B	NACH	NACH
19	YA_Tay_01	B	NACH	NACH
20	CR_Cho_01	B	NACH	NACH

*Puntos de muestreo en los que se evaluó la presencia de pesticidas órgano-clorados.

NACH: No Apto para Consumo Humano de forma natural.

NACH+: No Apto para Consumo Humano de forma natural y contiene algún contaminante químico que amerita atención.

En resumen de acuerdo al RMCH todos los ríos corresponden a Clase B y de acuerdo a la NB-512 y las guías de la OMS, todos los ríos “No son Aptos para Consumo humano en su estado natural”, es decir que requieren algún tipo de tratamiento físico o químico para previo a su consumo. También es importante resaltar que existen puntos de muestreo con concentraciones por encima de los valores recomendados o valores inciertos por lo que con fines de precautelar la salud pública de los pobladores locales, es recomendable que se consideren Monitoreos periódicos especialmente en estas áreas. Los parámetros con incertidumbre corresponden de la suma de los pesticidas órgano-clorados de la clase de las Drinas dentro de los cuales se encuentran el Aldrín, Dieldrín, Endrín, para los cuales se reportan límites de detección “<0.02 y <0.04” y su suma no debería ser “<0.06”. Los puntos con esta observación son; 1:CR_Hua_01 del río Huarinilla, dentro de la comunidad del Chairó; el punto 3:CR_Hua_02 río Huarinilla, en el sector de la comunidad de Chitia, punto 4:CR_SBr_01 río Santa Bárbara, comunidad del mismo nombre; 7:CR_Sju_01 río San Juan en la comunidad de Coroico viejo, todos dentro del municipio de Coroico y el punto 16:YO_Por_01 río Poroma dentro del municipio de Guanay. Mientras que los puntos que presentan concentraciones de aluminio por encima de los recomendados son: 5:ZO_Zon_03 río Zongo, dentro de la

comunidad de Tirma y 6:CR_Yol_01 río Yolosa en inmediación de la comunidad del mismo nombre. Para el arsénico el punto 2:CR_Siñ_01 del río Siñari en el sector de la comunidad del Chairo. Dichas observaciones se presentan en la Tabla 10, a continuación:

Tabla 10. Puntos de muestreo donde los resultados muestran elementos especiales que sobrepasan los valores recomendados por la NB-512 y la OMS.

NRO. DE PUNTO	CÓDIGO	NB-512	ELEMENTOS OBSERVADOS	OMS	ELEMENTOS OBSERVADOS
1*	CR_Hua_01	No		No+	Suma de Drinas
3*	CR_Hua_02	No		No+	Suma de Drinas
4*	CR_SBr_01	No		No+	Suma de Drinas
7*	CR_Sju_01	No		No+	Suma de Drinas
16*	YO_Por_01	No		No+	Suma de Drinas
5	ZO_Zon_03	No+	Aluminio	No+	Aluminio
6	CR_Yol_01	No+	Aluminio	No+	Aluminio
15	ZO_Zon_01	No		No+	Aluminio
2	CR_Siñ_01	No+	Arsénico	No+	Arsénico

*Corresponden a puntos de muestreo donde se analizó pesticidas órgano-clorados.

** No: No Apta para consumo Humano y No+: No apto para consumo humano y se detectó al menos un elemento que amerita atención.

De forma general el agua de la cuenca del río Coroico es Clase B, el total de los cuerpos de agua no son aptos para consumo en su estado natural, el 55% de los cuerpos de agua donde se realizaron los muestreos, pueden someterse a algún tipo de purificación física o química si se desea usarlo para consumo humano. Empero el restante 45% debe ser monitoreados con especial periodicidad, para corroborar la presencia de los contaminantes identificados (Ver Tabla 10), de esta manera proponer medidas específicas de manejo de estos cuerpos de agua (Figura 24).

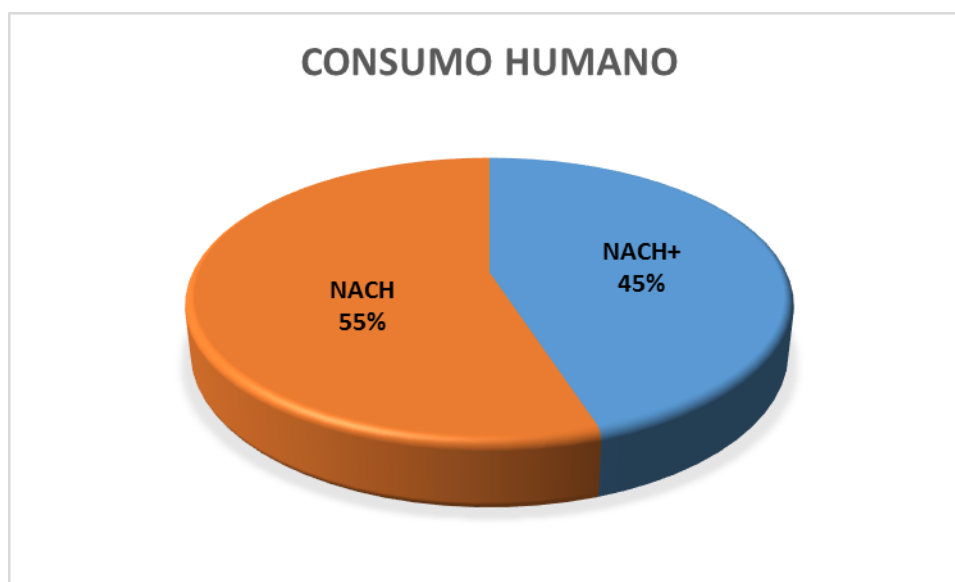


Figura 24. Porcentaje de cuerpos de agua de la cuenca del río Coroico que podrían ser aptas para consumo humano previo tratamiento físico o químico (NACH) y cuerpos de agua que ameritan atención por algún contaminante detectado o incierto (NACH+).

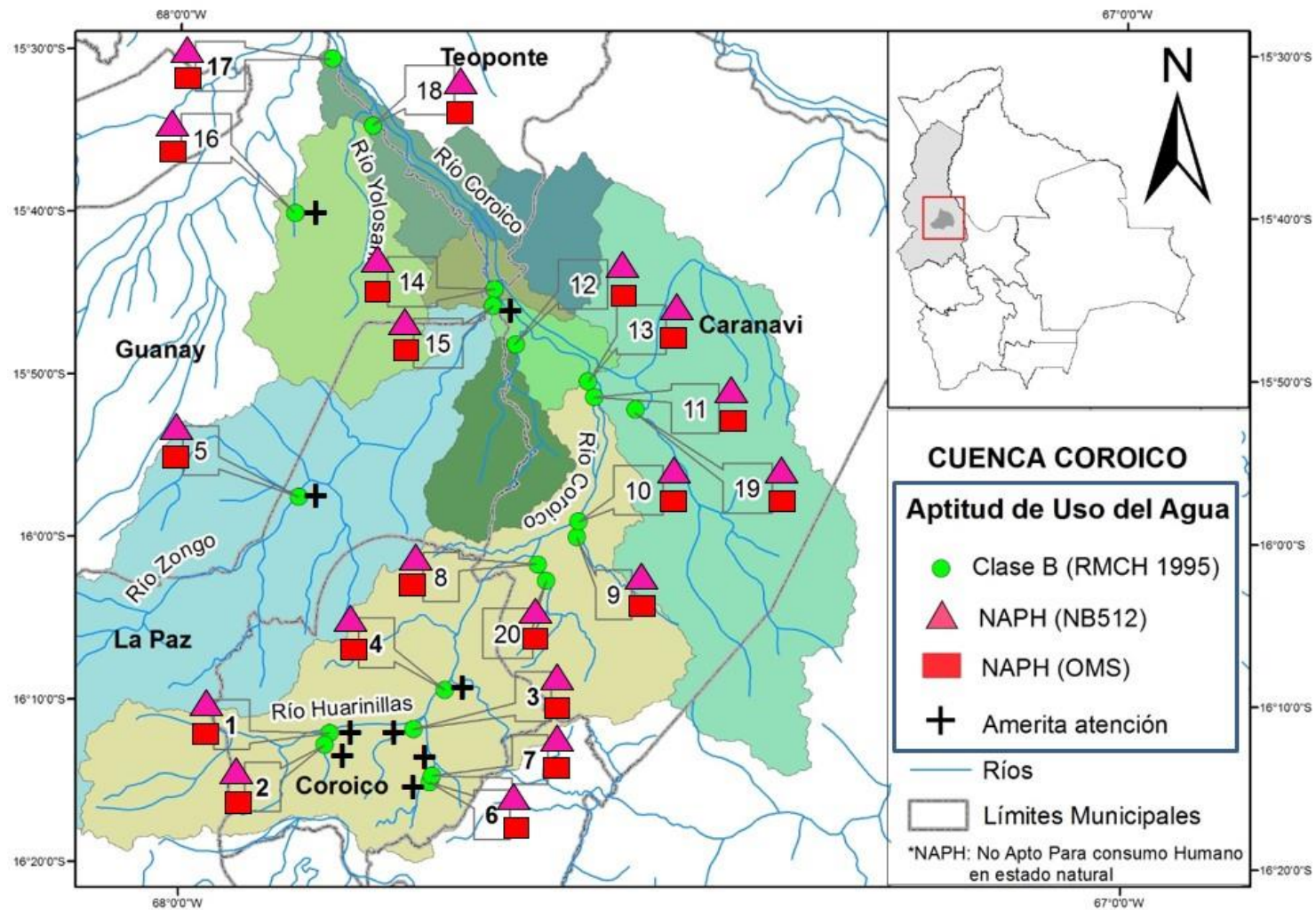


Figura 25. Clasificación del agua por su calidad de ser apta para el consumo humano en su estado natural, de acuerdo a los valores de referencia establecidos en la NB-512 y la OMS (2013).

A partir de las evaluaciones realizadas es fundamental considerar el enfoque precautorio, para incorporar el concepto de incertidumbre en la toma de decisiones. En la práctica, la aplicación del enfoque precautorio significa que cuanto menos se sepa sobre un sistema (es decir, cuanto mayor sea la incertidumbre), se requiere más precaución, y las y los tomadores de decisiones deben ser más conservadores en relación con el esfuerzo y otros impactos de la pesca (Cochrane y García 2009).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Asmus, B. J. (2011). Testing the applicability of the Pfankuch Stability Index in characterizing the physical integrity of low-gradient alluvial streams in Minnesota, USA and exploring its utility for Stressor Identification of biological impairments.
- ✓ Binet D. 1998. Régionalisation et caractérisation géomorphologiques des cours d'eau dans le bassin amazonien de Bolivie. Rapport de stage de fin d'études, ENGEES Strasbourg et ORSTOM. La Paz. 94 p.
- ✓ FAO Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm.
- ✓ Heino, J.; Muotka, T.; Paavola, R. 2003. Determinants of macroinvertebrate diversity in headwater streams: regional and local influences. *Journal of Animal Ecology*. 72: 425-434
- ✓ Informe de Diagnóstico Rápido Rural Participativo, Manejo Integral del Río Coroico. Caritas Diocesana Coroico. 2019. Pp. 74.
- ✓ Malavoy J.R., Souchon Y., 1989. Méthodologie de description et quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux. Exemple d'une station sur la Filière (Haute Savoie). *Revue de Géographie de Lyon*, 64, 252-259.
- ✓ Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). Metodología para la Elaboración de la Propuesta de Clasificación de Cuerpos de Agua y su Procedimiento de Aprobación. La Paz, Bolivia.
- ✓ Norma Boliviana 496. Agua Potable - Toma de Muestras. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2010, La Paz, Bolivia.
- ✓ Norma Boliviana 512. Agua Potable - Requisitos, Reglamento Control de Calidad de Agua Para Consumo Humano. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, IBNORCA, La Paz, Bolivia.
- ✓ Organización Mundial de la Salud 2013. Guías para de monitoreo y evaluación de la calidad de agua.
- ✓ Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud (OPS), 2007. Programa de vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano, Lima, Perú.
- ✓ Rocabado, G. 2003. Ecología y distribución de invertebrados acuáticos en ríos andinos de la cuenca amazónica boliviana. Tesis para obtener el doctorado en ciencias biológicas. Universidad Nacional de Tucumán. 141 pp.
- ✓ SENASBA, 2017. Guía para el Fortalecimiento Institucional: Control de la Calidad de Agua. Ministerio de medio ambiente y agua.
- ✓ Villanueva, R. 2011. Procedimientos para determinar el caudal ecológico en las centrales hidroeléctricas ubicadas en los cauces de los ríos costeros del Perú. XIX COMINERA. Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines. Lima, Perú.

VII. ANEXOS.

I. Anexos

Adjuntos en un CD al documento, en formato Excel (Base de datos)

1. Bases de datos en digital completa (formato Excel),
2. Bases de datos de morfo estructura de los ríos en los puntos de muestreo.
3. Base de datos de la aplicación del método de inestabilidad de ríos de Pfankuch

Métodos y límites de detección del análisis realizado por SPECTROLAB-Oruro

LABORATORIO	PARÁMETROS	NORMA / MÉTODO	UNIDAD	L.D.
SPECTROLAB ORURO	Sólidos Sedimentables	DIN 38409 T9	ml/l	0,1
	Sólidos Suspendedos	DIN 38409 T2	mg/l	1
	DQO	ASTM D 1252-00	mg/l	2
	DBO-5	DIN 38409 T 51 mod.	mg/l	5
	Cloruro	ASTM D 512-04B	mg/l	0,1
	Sulfatos	ASTM D 516-02	mg/l	0,2
	Nitratos	DIN 38405 T10 mod.	mg/l	0,01
	Cianuro libre	ASTM D 2036-98	mg/l	0,002
	Fosfato	EPA 300,1	mg/l	0,04
	Nitrógeno Total	ASTM 3590-89	mg/l	0,1
	Aceites y grasas	EPA 1664 A	mg/l	0,3
	Coliformes Totales	SM 9221 B	UFC/100 ml	0

Fuente: información proporcionada por SPECTROLAB 2020

Método y límites de detección del análisis de Metales

LABORATORIO	MÉTODO	UNIDAD	PARÁMETRO	L.D.	PARÁMETRO	L.D.	PARÁMETRO	L.D.
SPECTROLAB CANADA (Activation Laboratories Ltd.)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	mg/l	Sodio (Na) *	0,005	Arsénico (As) *	0,00003	Samario (Sm)	0,000001
			Litio (Li)	0,001	Selenio (Se)	0,0002	Europio (Eu)	0,000001
			Berilio (Be)	0,0001	Rubidio (Rb)	0,000005	Gadolinio Gd	0,000001
			Magnesio (Mg)	0,002	Estroncio (Sr)	0,00004	Terbio (Tb)	0,000001
			Aluminio (Al)*	0,002	Itrio (Y)	0,000003	Disprobio (Dy)	0,000001
			Silicio (Si)	0,2	Zirconio (Zr)	0,00001	Holmio (Ho)	0,000001
			Potasio (K)	0,03	Niobio (Nb)	0,000005	Erbio (Er)	0,000001
			Calcio (Ca)	0,7	Molibdeno (Mo)	0,0001	Tulio(Tm)	0,000001
			Escandio (Sc)	0,001	Plata (Ag)	0,0002	Yterbio (Yb)	0,000001
			Titanio (Ti)	0,0001	Cadmio (Cd) *	0,00001	Lutecio (Lu)	0,000001
			Vanadio (V)	0,0001	Indio (In)	0,000001	Hafnio (Hf)	0,000001
			Cromo (Cr) *	0,0005	Estaño (Sn) *	0,0001	Tantalo (Ta)	0,000001
			Manganeso (Mn) *	0,0001	Antimonio (Sb)	0,00001	Wolfran (W)	0,00002
			Hierro (Fe) *	0,01	Teluro (Te)	0,0001	Mercurio (Hg) *	0,0002
			Cobalto (Co)	0,000005	Cesio (Cs)	0,000001	Talio (Tl)	0,000001
			Niquel (Ni)	0,0003	Bario (Ba)*	0,0001	Plomo (Pb) *	0,00001
			Cobre (Cu)*	0,0002	Lantano (La)	0,000001	Bismuto (Bi)	0,0003
			Zinc (Zn) *	0,0005	Cerio (Ce)	0,000001	Torio (Th)	0,000001
Ga (Galio)	0,00001	Praseodimio (Pr)	0,000001	Uranio (U)	0,000001			
Germanio (Ge)	0,00001	Neodimio (Nd)	0,000001					

* Parámetros requeridos por el contratante

L.D. = Limite de detección

Método y límites de detección del análisis de pesticidas orgáno-clorados.

LABORATORIO	TÉCNICA Y MÉTODO	UNIDAD	PARÁMETRO	L.D.	PARÁMETRO	L.D.	PARÁMETRO	L.D.
SPECTROLAB - HOLANDA (Eurofins Analytico B.V.)	Cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) método W6336	ug/l	4,4-DDE	0,010	Drinas (Suma)	0,060	γ-Clordan	0,010
			2,4-DDE	0,010	alfa-HCH	0,080	Clordanos (suma)*	0,020
			4,4-DDT	0,20	beta-HCH	0,070	Heptacloro	0,010
			4,4-DDD/2,4-DDT	0,020	gama-HCH	0,10	Heptacloroepoxido	0,030
			2,4-DDD	0,010	delta-HCH	0,040	Hexaclorobutadieno	0,10
			DDT (suma) *	0,25	Suma 4 compuestos HCH	0,29	Isodrin	0,10
			Aldrin *	0,020	α-Endosulfan	0,050	Telodrin	0,070
			Dieldrin *	0,020	α-Endosulfansulfato	0,030	Tedion	0,070
			Endrin	0,020	α-Clordan	0,010		

* Parámetros requeridos por el contratante

L.D. = Limite de detección

Caracterización rápida: socio-económica y usos actuales del agua en los puntos de muestreo

Nº	PUNTO	MINERÍA	AGRICULTURA	PECUARIA	TURISMO	BOTADERO DE BASURA	USO DOMESTICO	LAVADO DE COCHES	LAVADO DE ROPA	ASEO PERSONAL	EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS (ARENA Y OTROS)	PESCA	TOTAL USOS	OTRO 1
1	CR_Hua_01				1				1				2	
2	CR_Siñ_01	1	1	1	1			1	1	1			7	
3	CR_Hua_02	1	1	1	1			1	1	1	1		8	
4	CR_SBr_01		1	1	1			1	1	1			6	
5	ZO_Zon_03	1	1	1				1	1	1			6	Arreglo de caminos
6	CR_Sju_01	1	1	1	1			1	1	1			7	
7	CR_Yol_01	1			1			1	1	1			5	
8	CR_Cor_01		1	1		1	1		1	1	1	1	8	
9	CR_Qca_01		1		1								2	
10	CR_Caj_01				1								1	
11	CR_Cor_03		1	1	1	1		1	1	1			7	
12	Br_Bro_01	1	1	1	1				1	1		1	7	
13	ZO_Zon_01	1	1	1	1			1		1			6	
14	CR_Cor_06	1	1	1	1			1	1	1		1	8	Trasporte fluvial
15	YA_Yar_01					1		1	1	1	1		5	
16A	Yo_Por_01a		1	1			1	1	1	1			6	Bebedero de animales, tránsito de personas
16B	Yo_Por_01b		1	1			1	1	1	1			6	tránsito de personas
17	CR_Cor_09	1	1						1	1		1	5	Trasporte fluvial
18	YO_Yol_01		1						1	1			3	
19	YA_Tay_01		1				1	1	1	1			5	
20	CR_Cho_01		1					1	1	1			4	
TOTAL		9	17	12	12	3	4	14	18	18	3	4		

Apreciación visual del color, olor y estado general del agua de los ríos en los puntos de muestreo

N°	PUNTO	COLOR		OLOR		APARIENCIA			OTRAS OBSERVACIONES Y COMENTARIOS
		Cristalino	Turbio	Muy turbio	Sin olor	Con olor	Limpia	Grasosa	
1	CR_Hua_01		1		1		1		Turbio por lluvias de acuerdo a testimonios
2	CR_Siñ_01		1		1		1		Turbio por lluvias de acuerdo a testimonios
3	CR_Hua_02		1		1			Con espuma posiblemente con detergentes	Turbia por lluvias recientes
4	CR_SBr_01	1			1		1		
5	ZO_Zon_03			1		1		Putrefacción	Desemboque de lagunas artificiales de la mina, río turbio y caudaloso
6	CR_Sju_01			1		1		Putrefacción	Puente cercano
7	CR_Yol_01			1	1		1		Turbio por lluvias de acuerdo a testimonios
8	CR_Cor_01			1	1		1		Pesca por niños con red de mano para consumo local
9	CR_Qca_01	1			1		1		No se observa gente en el lugar. El agua color verduzco transparente
10	CR_Caj_01	1			1		1		Cerca una cascada turística, agua color café verduzco cristalino
11	CR_Cor_03			1	1		1		No se cuenta con participantes locales, color lechoso. La planta lechera está cerca, río arriba, Se observan vacas en el camino
12	Br_Bro_01			1		1	1		Olor a plantas. Puente afectado por deslizamiento del camino
13	ZO_Zon_01			1	1		1		
14	CR_Cor_06			1	1		1		Uso para transporte fluvial, actividad minera fuerte, movimiento de áridos.
15	YA_Yar_01			1	1			Es probable	Área urbana de Caranavi cerca, varias descargas de agua residual, basura, otros.
16	Yo_Por_01a	1			1		1		Leve coloración blanquecina, pero trasparente. Varias familias procesando coca
17	CR_Cor_09			1	1		1		Río turbulento. Actividades mineras arriba y abajo del punto de muestreo. Se estima profundidad de más de 2 mt.
18	YO_Yol_01	1			1		1		
19	YA_Tay_01		1		1		1		Construcción de defensivos abajo del punto
20	CR_Cho_01	1			1		1		Cerca de la comunidad del Choro y se une al río Coroico aprox. 400 metros.

