



**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE  
**MARN**



**CCAD**

COMISIÓN CENTROAMERICANA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

ACUERDO DE COOPERACIÓN USAID - CCAD

# **Levantamiento de la Línea Base de la Laguna Guija, Previo al Inicio de Operaciones de un Proyecto Minero**

Informe de la Consultoría

Preparado por:

*Asesoría Manuel Basterrechea Asociados, S. A.*

Noviembre del 2008

## INDICE

<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>6</b>
<b>4. PRODUCTOS</b> .....	<b>9</b>
<b>5. CRONOGRAMA</b> .....	<b>9</b>
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>10</b>
<b>A. LÍNEA BASE</b> .....	<b>10</b>
6.1 ACTIVIDADES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL LAGO (CUENCA).....	10
6.2 LÍNEA BASE DE CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE GUIJA Y SUS TRIBUTARIOS .....	13
6.2.1 <i>Discusión de los resultados</i> .....	13
6.2.2 <i>Análisis estadístico</i> .....	27
6.3 ANÁLISIS ADICIONALES A LO SOLICITADO EN LOS TDR .....	37
6.3.1 <i>Análisis de parámetros adicionales a lo solicitado en los TdR</i> .....	37
6.3.2 <i>Análisis estadístico de los datos generados por la empresa minera Transmares y comparados con los generados en la presente consultoría</i> .....	39
6.3.3 <i>Análisis de los datos de los parámetros químicos en los sedimentos</i> .....	51
6.4 PROTOCOLO PARA LA CAPTACIÓN DE MUESTRAS, PRESERVACIÓN Y TRANSPORTE AL LABORATORIO ASÍ COMO SU POSTERIOR ANÁLISIS .....	58
6.4.1 <i>Captación de muestra (ver fotografías)</i> :.....	58
6.5 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	66
6.5 PROTOCOLO SOBRE LAS ESTACIONES DE MUESTREO, PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS A DETERMINARSE Y LA CAPTACIÓN, PRESERVACIÓN Y TRANSPORTE AL LABORATORIO, ASÍ COMO SU POSTERIOR ANÁLISIS.....	68
<b>C. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS (POWERPOINT)</b> .....	<b>70</b>
<b>ANEXO 1.</b> .....	<b>1</b>
<b>ANEXO 2.</b> .....	<b>2</b>

**Índice de Cuadros**

Cuadro 1.	Ubicación y característica de las Estaciones de muestreo	7
Cuadro 2.	Resultados de los Análisis realizados a las Muestras captadas	15
Cuadro 3.	Resultados de la medición de Metales	24
Cuadro 4.	Estadísticas de los grupos analizados	28
Cuadro 5.	Prueba de homogeneidad de las varianzas	33
Cuadro 6.	Análisis de varianza (Anova)	34
Cuadro 7.	Prueba de contrastes	35
Cuadro 8.	Prueba de muestras independientes	36
Cuadro 9.	Valores de los metales reportados	37
Cuadro 10.	Lecturas del disco Secchi	38
Cuadro 11.	Valores de los metales reportados y analizados	38
Cuadro 12.	Número de muestreos de agua realizados en cada mes durante 2002, 2003 2005	40
Cuadro 13.	Número de muestreos realizados en cada estación durante 2002, 2003 y 2005	40
Cuadro 14.	Número de datos que fueron eliminados en las variables analizadas	41
Cuadro 15.	Número de datos que fueron eliminados en las variables analizadas	42
Cuadro 16.	Datos atípicos que fueron suprimidos	43
Cuadro 17.	Estadísticas descriptivas de cada variable antes de eliminar datos atípicos	43
Cuadro 18.	Estadísticas descriptivas de las variables, luego del proceso de "limpieza de los datos"	44
Cuadro 19.	Prueba de homocedasticidad y de la comparación de las medias de cada una de Las variables	48
Cuadro 20.	Análisis de varianza para determinar el efecto de los años en la concentración Media de cada una de las variables estudiadas	49
Cuadro 21.	Resultados del contraste entre el año 2008 y los demás	50
Cuadro 22.	Número de muestreos de sedimentos realizados en cada mes durante el 2002 y 2003	52
Cuadro 23.	Número de muestreos realizados en cada estación	52
Cuadro 24.	Distribución de la toma de muestras en cada estación según el mes	53
Cuadro 25.	Datos atípicos que fueron suprimidos	53
Cuadro 26.	Estadísticas descriptivas de las variables, luego del proceso de "limpieza de datos"	54

Cuadro 27.	Prueba de homocedasticidad y de comparación de las medidas de cada una de las variables	55
Cuadro 28.	Análisis de varianza para determinar el efecto de los años en la concentración media de cada una de las variables estudiadas	56
Cuadro 29.	Prueba de contrastes	57
Cuadro 30.	Métodos de análisis de los distintos Parámetros físico-químicos	61
Cuadro 31.	Métodos de análisis utilizados por FUSADES y por la SNET-MARN	66

### Índice de Gráficas

Gráfica 1.	Niveles del río Ostúa en la estación Las Cruces, año hidrológico 2003-2004	20
Gráfica 2.	Estadísticas básicas de las variables	29
Gráfica 3.	Comportamiento de las medias a través de los años (2002, 2003, 2005 y 2008)	31

### Índice de Figuras

Figura 1.	Ubicación de las estaciones de muestreo	8
-----------	---	---

## 1. INTRODUCCION

El Informe de la consultoría “Levantamiento de la Línea Base de la Laguna Guija, previo al inicio de Operaciones de un Proyecto Minero”, describe los tres productos, siendo estos la presentación de los datos de los parámetros físicos y químicos del agua de los tres muestreos realizados y su interpretación, el protocolo para el levantamiento de la línea base y la presentación a la Dirección General de Gestión Ambiental y al Despacho Superior los resultados de la consultoría.

La consultoría se enmarca dentro del Acuerdo de Cooperación Interinstitucional entre la Secretaría General del Sistema de Integración Centroamericana, SG/SICA, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, la Secretaría de Estado en los Despachos de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras y, la Comisión Trinacional del Plan Trifinio, para dar continuidad al proyecto "Mejor Capacidad de la Región para Mitigar el Impacto de los Desastres en Cuencas Internacionales, Cuenca del río Lempa, SICA /AID", y del Acuerdo de Cooperación entre la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y la Secretaria Ejecutiva de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (SE-CCAD), derivado del DR-CAFTA.

Adicionalmente, la consultoría se enmarca en lo preceptuado en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental –Acuerdo Gubernativo Número 431-2007-, y corresponde a la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), realizar inspecciones, verificaciones y supervisiones de los proyectos, obras, industrias o actividades debidamente aprobadas por el MARN a través del instrumento ambiental correspondiente, a través del seguimiento y vigilancia ambiental.

Dentro de este contexto se considera de fundamental interés el levantamiento de la Línea Base del cuerpo de agua receptor que constituye la Laguna de Guija, previo a que una mina subterránea de minería metálica entre en operaciones (finales 2008 a 2009), y así poder dar el debido seguimiento y control tanto a los posteriores trabajos mineros, como cuidar que la laguna no sea afectada por estas tareas. Los Términos de Referencia indicaban que los sitios de muestreo estarían dentro del territorio guatemalteco, pero debido a que el lago de Guija recibe tributarios superficiales y subterráneos de El Salvador, el MARN solicitó incluir algunas estaciones en ese país.

El trabajo consistió en la recolección en tres fechas distintas de muestras de agua y medición de parámetros físicos y químicos in situ, análisis de las muestras en un laboratorio nacional acreditado (ISO 17025:2005) por la Oficina Guatemalteca de Acreditación, y la interpretación de resultados. El contrato de la consultoría se realiza entre la Secretaría Ejecutiva de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (SE-CCAD) y la empresa Asesoría Basterrechea Asociados, S. A.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos de la consultoría, indicados en los Términos de Referencia (TdR) son los siguientes:

- i. Establecer la calidad del agua de la laguna de Güija en diferentes puntos.
- ii. Establecer la calidad del agua de los cuerpos de agua que desembocan sobre la laguna de Güija en territorio Guatemalteco.
- iii. Identificar las empresas cercanas a la laguna de Güija que puedan representar un riesgo de contaminación sobre las aguas de la laguna.
- iv. Georeferenciar los puntos de muestreo con GPS de precisión decimétrica para posteriores estudios.
- v. Toma de muestras, análisis de laboratorio e interpretación de resultados, confrontados con la línea base, especialmente en el vector agua, de acuerdo a los parámetros indicados en el Anexo 1 de los Términos de Referencia.

## 3. METODOLOGIA

La metodología que se utilizó en la consultoría se hizo de acuerdo a los Términos de Referencia, con adaptaciones propias de acuerdo a las características del área de estudio y a las experiencias de la empresa consultora, la cual fue descrita en la Propuesta Técnica y en el Plan de Trabajo.

- Revisión de documentos;
- Planificación de la logística de los muestreos y de la toma, preservación y transporte de las muestras de agua;
- Planificación de los análisis en el laboratorio (métodos de análisis para la determinación de los parámetros físicos y químicos);
- Muestreo y determinaciones in situ;
- Determinaciones en el laboratorio;
- Elaboración de informes del laboratorio;
- Análisis de los valores de los parámetros físicos y químicos, y elaboración del informe de la consultoría; y,
- Presentación de los resultados al MARN.

En el Cuadro 1 se listan las 16 estaciones de muestreo, sus coordenadas y su justificación, y en la Figura 1 se ubican las mismas.

**Cuadro 1. Ubicación y Características de las Estaciones de Muestreo**

Estación de muestreo	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas		Observaciones
1.Río Angue (ES)	16P 0224791	UTM 1585860	14° 19.865´	89° 33.083´	Aguas Arriba del Puente Ferrocarril, en Cantón San Jerónimo. Hubo una estación hidrométrica.
2.Río San José (ES)	233896	1585994	14° 18.329´	89° 28.023´	Aguas Arriba Puente Trapichito. Extraen arena. El río recibe las aguas residuales de Metapán.
3.Laguna Metapán (ES)	234094	1582927	14° 18.329´	89° 27.896´	Cantón Las Piedras. Nivel de la laguna en lo más alto. Soltaron alevines.
4.Río Lempa (ES)	237334	1571237	14° 12.012´	89° 26.026´	Recibe la descarga del lago de Guija a través del río Desagüe. Aguas Abajo del Puente Masahuat. Extraen arena.
5.Lago de Guija (ES)	232489	1576162	14° 14.653´	89° 28.746´	Cerca de la salida al río Desagüe.
6.Lago de Guija (ES)	228467	1578309	14° 15.794´	89° 30.995´	Centro del Lago.
7.Lago de Guija (ES)	226224	1581574	14° 17.551´	89° 32.261´	Cerca de la entrada del río Ostúa.
8.Río Ostúa, aguas arriba	209745	1586164	14° 19.937´	89° 41.449´	Corresponde al SW-8 de minera.
9.Río Ostúa, intermedio /1	216373	1585054	14° 19.377´	89° 37.758´	Antes de la confluencia del Morán. Corresponde al SW5 de la minera.
10.Río Ostúa, aguas abajo /2	217117	1584530	14° 19.097´	89° 37.341´	Estación hidrométrica Las Cruces.
11.Quebrada Tancushapa/3	211431	1586851	14° 20.320´	89° 40.517´	Corresponde a SW-4 y SW3 de la minera.
12.Acequia	212300	1587027	14° 20.421´	89° 40.034´	Aguas termales. Drena humedal. Corresponde a HS1 de la minera.
13.Quebrada Tempisque	212284	1588770	14° 21.366´	89° 40.055´	Al este de la mina. Pareciera que recibe Aguas residuales del poblado Cerro Blanco. Corresponde al SW2
14.Quebrada Las Tablas /1	215647	1586027	14° 19.902´	89° 38.168´	Antes de su confluencia al río Morán. En el puente.
15.Río Morán, aguas arriba /1	216689	1586891	14° 20.374´	89° 37.594´	En el puente del camino que va hacia Angiatú.
16.Río Morán, aguas abajo /1	216424	1585309	14° 19.515´	89° 37.731´	Antes de su confluencia al Ostúa. Corresponde al SW7 de la minera

**Notas:**

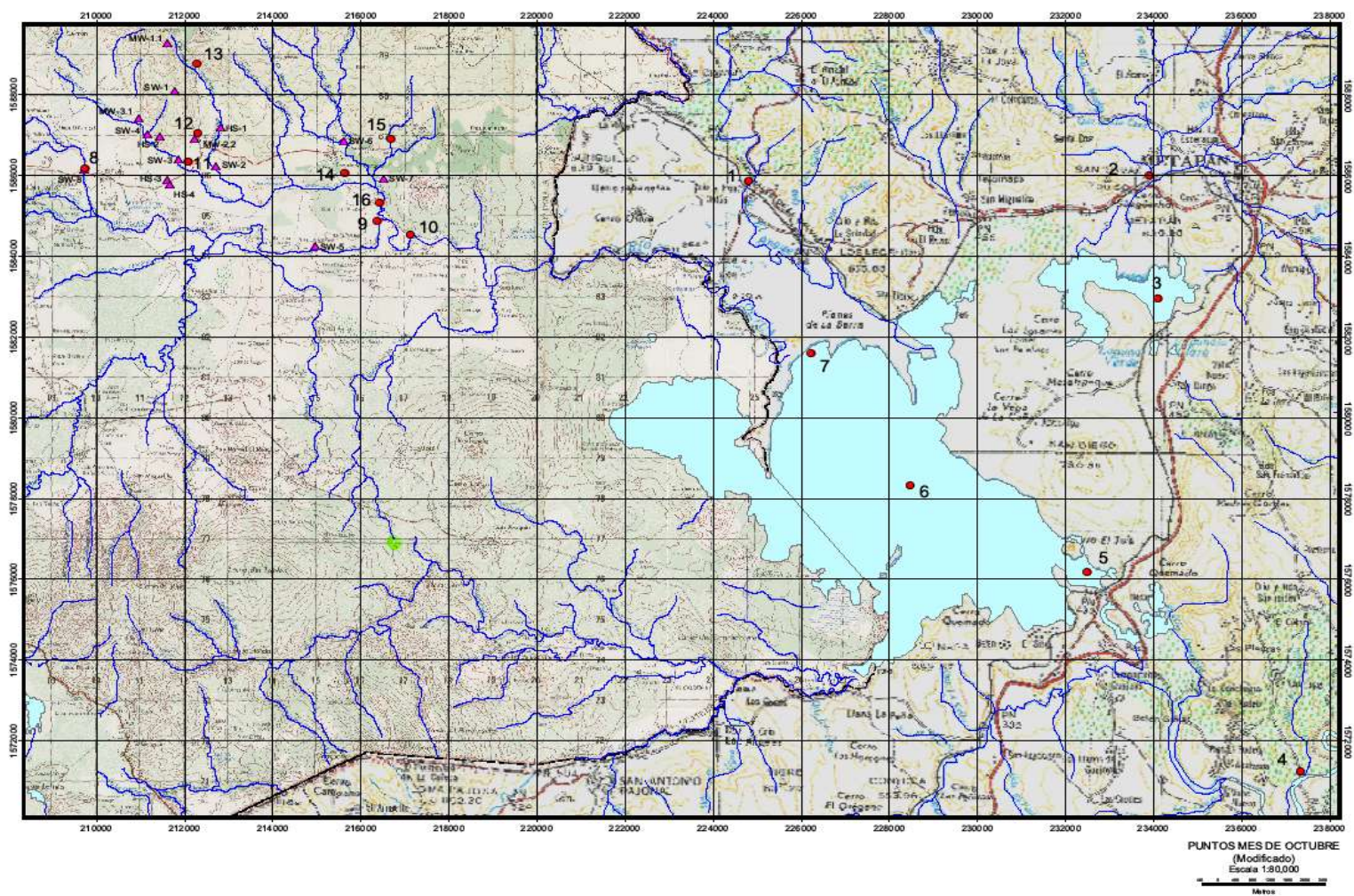
Todos los ríos muestreados en el segundo muestreo presentaron mayor caudal que en el primero y tercer. En el tercer muestreo se presentaron caudales ligeramente menores al primero.

/1 = Nuevos sitios, que no fueron muestreados durante el primer muestreo.

/2 = El sitio se modificó. El segundo y tercer muestreo se realizó en la estación Las Cruces, el primero más aguas abajo.

/3 = El sitio de muestreo se modificó. El primero y tercer muestreo el sitio fue aguas arriba de donde descarga la acequia y a 50 metros del camino que conduce a la minera (SW3), en el segundo muestreo se tomó la muestra dentro del terreno de la minera (SW4).





**Figura 1.** Ubicación de las estaciones de muestreo de calidad del agua. Las estaciones 1 a la 7 se ubican en El Salvador y de la 8 a la 16 en Guatemala. Los triángulos muestran los sitios de muestreo de la minera



## **4. PRODUCTOS**

Los productos de la consultoría, indicados en los Términos de Referencia (TdR), son los siguientes:

- a. Documento que contenga la línea base de la laguna y los cuerpos de agua que desembocan en dicha laguna, con los datos de laboratorio e interpretación de muestras. Esta información debe permitir conocer a profundidad la calidad del agua, previo al inicio de las operaciones mineras que se ubican a seis kilómetros de distancia.
- b. Elaboración de un protocolo para el levantamiento de la Línea Base en cuerpos de agua expuestos a explotaciones mineras
- c. Presentación a la Dirección General de Gestión Ambiental y el Despacho Superior del levantamiento e interpretación de la información en formato power point.

## **5. CRONOGRAMA**

La duración de la consultoría será de 12 semanas (60 días laborables). El inicio de la consultoría es el lunes 22 de septiembre del 2008. De acuerdo al Plan de Trabajo se tenía previsto finalizar la consultoría el 12 de diciembre; sin embargo, se acortó el tiempo de entrega ya que se entregó el informe final el 26 de noviembre.

## 6. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados (productos) de la consultoría, que como se indicó anteriormente son tres: A. Línea Base 2008; B. Protocolo; y, C. Presentación.

### A. Línea Base

#### 6.1 *Actividades en el Área de Influencia del Lago (Cuenca)*

Las actividades económicas en el área de influencia del lago de Guija que pueden representar un riesgo de contaminación son las siguientes: Minería, cultivo de melón, manejo inadecuado del suelo y extracción de materiales de los ríos, descarga de aguas residuales domésticas o municipales sin tratamiento y fabricación de cemento.

##### *Minería*

Las actividades de la empresa Transmares consisten en la extracción de oro y plata a través de una mina subterránea (ver Fotografías) y su proceso industrial, las cuales podrían significar un riesgo potencial de contaminación por metales pesados al río Ostúa y por consiguiente el lago de Guija. La empresa cuenta con un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental –EIA– aprobado por el MARN y lleva a cabo un monitoreo de la calidad de varios cuerpos de agua del área de influencia de la mina desde el 2002, por lo que cuenta con una línea base. El presente estudio es parte del monitoreo de la actividad minera y de otras actividades en la cuenca.



Izquierda, vista del túnel de la mina subterránea al fondo, desde la descarga de la acequia a la quebrada Tancushapa; a la derecha, vista de la entrada a la mina subterránea

*Cultivo de Melón:*

Las áreas cercanas al río Ostúa y en la zona de influencia del proyecto son utilizadas para el cultivo de melón por parte de la empresa Los Mangos (ver Fotografía). El cultivo, cosecha y preparación para su exportación se realiza durante la época seca, utilizando las aguas del río Ostúa para riego. El uso de agroquímicos podría significar un riesgo potencial de contaminación por residuos químicos. El plástico utilizado en el cultivo del melón y en los centros urbanos de la cuenca al descargarse al río Ostúa, afecta la operación de la hidroeléctrica El Guajoyo, la cual turbinas las aguas del lago de Guija (CEL, com. per.).



Izquierda, plástico utilizado en el cultivo de melón; a la derecha, planta melonera Los Mangos (N  $14^{\circ} 18.249'$  y O  $89^{\circ} 39.413'$ )

*Manejo inadecuado del suelo en la cuenca y Extracción de materiales de los ríos:*

El manejo inadecuado del suelo en la cuenca contribuye a un aporte importante de sedimentos a los ríos y de estos al lago. Adicionalmente, la extracción de arena y piedra, actividad común en los ríos muestreados (Ostúa, Lempa y San José), al no hacerse de una forma adecuada, ya que se extrae más de lo depositado en forma natural, además de re-suspender el material, se rompe el fondo del cauce provocando su inestabilidad, con lo cual el lago recibe un aporte importante de sedimentos, reduciendo su volumen y afectando su calidad (valores bajos de transparencia).



Izquierda, planta trituradora del material extraído del Ostúa en Asunción Mita (N  $14^{\circ} 19.811'$  y O  $89^{\circ} 40.821'$ ; sitio de extracción (N  $14^{\circ} 19' 59.4''$  y O  $89^{\circ} 41' 26.2''$ )); a la derecha, extracción artesanal en el río San José

*Descarga de aguas residuales:*

Los ríos que descargan al lago de Guija reciben las aguas residuales municipales sin tratamiento, lo cual representa un riesgo de contaminación bacteriológica y por nutrientes. El río San José descarga las aguas residuales de la ciudad de Metapán a la laguna, la cual muestra un grado alto de eutrofización. El lago de Guija presenta también ya indicios de eutrofización, por los valores reportados de fósforo total, clorofila y transparencia.



Izquierda, la presencia de plantas acuáticas indica la condición eutrófica de la laguna Metapán; a la derecha, la fábrica de cemento Maya en Metapán (N 14° 19.140' y O 89° 31.954')

*Fabricación de cemento: (Maya y El Ronco N 14° 19.502' y O 89° 30.080')*

La fabricación de cemento (1.8 millones de toneladas/año) no genera aguas residuales en su proceso, pero sí aguas residuales provenientes de los trabajadores, que al igual que las aguas residuales municipales deben de ser tratadas. La explotación de caliza en las canteras genera materiales de rechazo o desechos, los cuales al igual que los finos que se generan en el proceso de fabricación, de no ser adecuadamente atrapados, pueden ser transportados a las quebradas y eventualmente al lago en los eventos extremos de precipitación-escorrentía.

*Jaulas de Peces:*

En el lago de Guija hay crianza de tilapia en jaulas. El alimento no consumido de los peces, así como las heces y orina contienen fósforo el cual contribuye a la eutrofización del lago. Es necesario determinar la capacidad de carga del lago en cuanto a nutrientes.

*Exploración Geotérmica:*

Recientemente, el MEM autorizó la exploración para determinar la factibilidad de generación de energía geotérmica en el área de Asunción Mita (Cerro Blanco; 100 km<sup>2</sup>), que podría representar un riesgo de contaminación por metales pesados.

## **6.2 Línea Base de Calidad del Agua del Lago de Guija y sus Tributarios**

En el Anexo 1 se adjunta los resultados del análisis *in situ* y en laboratorio de las muestras de agua tomadas en 16 sitios durante tres distintas fechas (25 de septiembre, 9 de octubre y 23 de octubre del 2008); los análisis en el laboratorio fueron realizados por Ecosistemas-Proyectos Ambientales. Los resultados se han agrupado en el Cuadro 2 siguiente, para facilitar su discusión. Adicionalmente, en el cuadro se han agregado los resultados del monitoreo realizado por el MARN el 4 de abril del 2008 y analizados por el MARN en el laboratorio de Ecosistemas (metales y aceites y grasas).

INSIVUMEH reportó que la estación de lluvias de este año en el país (mayo a octubre del 2008) fue el más copioso de los últimos treinta años, más que en 1998 y el 2005, con el Mitch y el Stan, respectivamente (Siglo Veintiuno del 7 de noviembre del 2008). Por lo que los ríos, quebradas, laguna y el lago mostraron probablemente los caudales y niveles más altos desde hace muchos años. Efectivamente, el lancharo que apoyó el muestreo en la laguna Metapán indicó que los niveles alcanzados este año superaron incluso cuando se presentó el Mitch. Lo anterior es relevante para la interpretación de los resultados, ya que los tres distintos días de muestreo ocurrieron al final de la época de lluvias y los ríos reportaron un arrastre importante de sedimentos y caudales y el lago niveles altos. En la Gráfica 1 se muestran los niveles del río Ostúa en la estación Las Cruces del año hidrológico 2003-2004 al presente (2008-2009). Como se muestra en la gráfica, los niveles más altos se registran en los meses de septiembre y octubre y los más bajos a partir de noviembre hasta abril.

### **6.2.1 Discusión de los resultados**

A continuación se hace la discusión de cada uno de los parámetros físico-químicos, los cuales se muestran en el Cuadro 2. Los resultados de los parámetros físico-químicos se comparan con los de la norma COGUANOR (NGO-29-001 y del Decreto 236-2006 (artículo 21 para entes generadores nuevos). Posteriormente se hace un análisis estadístico de los resultados de los muestreos realizados en la presente consultoría, con los realizados por la empresa Transmares en los años 2002, 2003 y 2005.

Previamente se aclaran algunos términos utilizados: LMA (Límite máximo aceptable), es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual el agua es rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor; LMP (Límite máximo permisible), es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano y, LD: el límite de detección del método que se utilice debe ser lo suficientemente bajo para permitir la cuantificación de la actividad estudiada a través de los parámetros físico-químicos.

*pH:*

Los valores de pH estuvieron por arriba del neutro (7) y dentro del rango de los límites máximos permisibles de la norma COGUANOR (NGO-29-001). Los valores de pH los ríos fueron bastante similares, pero menores a los reportados en la superficie de las tres estaciones del lago. Los valores mayores de pH se reportaron en la acequia que drena aguas termales. Los valores de pH reportados en el muestreo de abril del 2008 (época seca) fueron mayores a los observados en los muestreos de septiembre y octubre del 2008 (época de lluvias).

*Temperatura:*

Los valores de temperatura de los ríos, como era de esperarse, fueron menores a los del lago. Los valores de temperatura en los ríos fueron influenciados por la hora de muestreo; los ríos en el Salvador fueron muestreados entre las 6 y 9 a.m., y los de Guatemala, por entre 1 y 5 p.m. El lago fue muestreado entre las 9 y 12 a.m. Los valores de temperatura en la acequia fueron mayores a los de los ríos, debido a que drena aguas termales.

*Oxígeno Disuelto:*

Los valores de oxígeno disuelto en los ríos y en la superficie del lago fueron alrededor de 5 mg/litro. Los menores valores fueron reportados en el intermedio y fondo del lago, lo cual evidencia que el lago estuvo estratificado durante los tres días de muestreo. Los valores de oxígeno disuelto reportados en los ríos reflejan el aporte de materia orgánica.

*Conductividad:*

La conductividad indica la concentración de sólidos iónicos disueltos. La acequia reportó los valores mayores de conductividad. Los ríos Lempa y Ostúa (aguas arriba) reportaron los menores valores de conductividad. Las quebradas Tancushapa y Las Tablas reportaron valores intermedios, esta última es influenciada por la descarga de aguas termales. Los valores de conductividad reportados en el muestreo de abril del 2008 (época seca) fueron mayores a los observados en los muestreos de septiembre y octubre del 2008 (época de lluvias).

*Sólidos Disueltos:*

Los valores de sólidos disueltos, como era de esperar, siguen el mismo comportamiento que la conductividad, aunque menos marcados, excepto en la estación acequia, que reportó los valores más altos. Sin embargo, todos los valores estuvieron por debajo del límite máximo permisible de la norma COGUANOR (NGO-29-001).

*Sólidos Suspendidos:*

Los ríos Angue, Lempa y Ostúa reportaron los valores mayores de sólidos suspendidos, debido al mayor arrastre de sólidos en los procesos de precipitación-escorrentía. Las cuencas tributarias de estos ríos son bastante mayores que el resto de ríos y quebradas. El agua superficial del lago, así como los ríos Morán, aguas arriba y la quebrada Tempisque reportaron en los tres muestreos valores iguales o menores al límite de detección (10 mg/litro).



**Cuadro 2. Resultados de los Análisis realizado a las Muestras Captadas**

(25 de septiembre, 9 de octubre y 23 de octubre del 2008; adicionalmente se incluye los resultados del 4 de abril del 2008)

Número	Identificación de la muestra	Resultados																
		pH (unidades) *				Temperatura (°C)			Oxígeno Disuelto (mg/L)			Conductividad Eléctrica (µS/cm) *			Sólidos Disueltos (mg/L)			
Fechas Muestreo		Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	7.5	7.8	7.8	7.92	24.7	22.9	22.8	4.5 **	5.45	5.05	796	191	132	207	216	280	184
2	Río San Jose Puente Trapichito (ES)	7.2	7.58	7.56	7.67	25.1	22.9	22.6	6.1	4.83	5.28	1770	225	164	229	160	184	160
3	Laguna Metapán (ES)		7.76	7.76	7.86	29	25.6	25.2	4.87	3.95	4.56		200	199	209	148	152	136
4	Río Lempa Puente Masaltuat (ES)	8.8	7.77	7.69	7.86	26.6	23.8	23.7	5.8	5.83	5.3	293	96	89	105	152	192	144
5	Lago de Güija Desague (superficie)	8.38	8.03	7.75	8.31	31	27.9	28	5.58	4.7	5.13	457	177	89	166	124	132	116
6	Lago de Güija Centro (superficie)	8.29	8.21	7.86	8.03	33.6	29.4	29.8	4.9	4.76	5.09	474	176	168	166	128	132	104
7	Lago de Güija Centro (intermedio)		7.25	7.28	7.47	30.9	27.5	29.3	2.35	1.05	1.71		166	169	170	160	166	156
8	Lago de Güija Centro (fondo)		7.29	7.21	7.42	31.3	26.9	29.3	2.12	0.88	2.64		165	151	158	236	222	152
9	Lago de Güija Entrada (superficie)	8.19	8.47	8.00	7.64	34.8	27.9	28.8	7.13	5.75	3.98	492	175	166	170	124	156	128
10	Río Ostua, aguas arriba	7.99	7.61	7.6	7.67	26.7	25.8	27.2	5.6	5.56	5.55	816	105	85	92	188	240	256
11	Río Ostúa intermedio			7.65	7.73		25.3	28.1		4.09	4.88			130	168		240	284
12	Río Ostua, aguas abajo	7.94	7.56	7.61	7.72	29.3	24.1	30.5	5.46	5.7	5.48	746	174	133	182	212	280	196
13	Quebrada Tancushapa		7.64	7.67	7.63	28.3	27.4	30.1	5.4	4.98	4.4		352	263	313	270	224	236
14	Acequia de aguas termales		8.02	7.75	8.31	31	26.1	32.5	4.8	3.72	4.74		692	685	1116	456	500	664
15	Quebrada Tempisque		7.8	7.88	8.00	27.5	24	28.1	6.1	4.97	4.72		174	179	209	184	176	152
16	Las Tablas			7.69	7.85		26.8	27.3		4.43	4.14			575	547		424	368
17	Río Morán, aguas arriba			7.95	8.05		28.4	28.9		4.64	4.57			211	228		180	192
18	Río Morán, aguas abajo			7.6	7.81		26.9	27.3		4.07	4.16			381	376		308	284

Norma COGUANDR 29 001

LMA

LMP

LMA

LMP

LMP

7.0-7.5

6.5-8.5

15-25 oC

34 oC

< 1,500 us/cm

Acuerdo Gubernativo 236-06, Art. 21

6 a 9

+/- 7



LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE LA LAGUNA DE GUIJA

Resultados		Parámetros A																	
Número	Identificación de la muestra	Sólidos Suspendidos (mg/L)			Sólidos totales (mg/L)			Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/L)			Demanda Química de Oxígeno DCO (mg/L) *			Aceites y Grasas (mg/L) *					
		25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct
	Fechas Muestreo	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	164	569	48	344	804	252	8	<10	<10	<10	10	<25	97	<25	ND	<5	<5	<5
2	Río San José Puente Trapichito (ES)	34	97	38	196	244	200	250	<10	<10	<10	315	<25	26	<25	ND	<5	<5	<5
3	Laguna Metapán (ES)	17	14	10	172	180	144		<10	<10	<10		26	<25	<25		<5	<5	<5
4	Río Lempa Puente Masahuat (ES)	171	339	174	308	504	328	115	<10	<10	<10	345	<25	110	<25	ND	<5	<5	<5
5	Lago de Güija Desague (superficie)	<10	10	<10	144	132	136	5	<10	<10	<10	10	<25	<25	<25	ND	<5	<5	<5
6	Lago de Güija Centro (superficie)	<10	10	<10	132	156	148	45	<10	<10	<10	60	<25	<25	<25	ND	<5	<5	<5
7	Lago de Güija Centro (intermedio)	11	27	10	168	172	168		<10	<10	<10		<25	<25	<25		<5	<5	<5
8	Lago de Güija Centro (fondo)	51	74	11	268	228	184		<10	<10	<10		25	25	<25		<5	<5	<5
9	Lago de Güija Entrada (superficie)	<10	<10	<10	136	160	168	5	<10	<10	<10	5	<25	<25	<25	ND	<5	<5	<5
10	Río Ostua, aguas arriba	40	128	825	192	316	1160	10	<10	<10	<10	8	<25	26	157	ND	<5	<5	<5
11	Río Ostúa intermedio		135	515		368	820			<10	<10			25	133			<5	<5
12	Río Ostua, aguas abajo	43	172	127	272	420	324	35	<10	<10	<10	45	<25	29	<25	ND	<5	<5	<5
13	Quebrada Tancushapa	13	15	<10	272	288	272		<10	<10	<10		<25	<25	<25		<5	<5	<5
14	Acequia de aguas termales	68	60	64	556	564	736		<10	<10	<10		<25	<25	27		<5	<5	<5
15	Quebrada Tempisque	<10	<10	<10	184	192	152		<10	<10	<10		<25	<25	<25		<5	<5	<5
16	Las Tablas		94	49		492	440			<10	<10			<25	<25			<5	<5
17	Río Morán, aguas arriba		<10	<10		180	216			<10	<10			<25	<25			<5	<5
18	Río Morán, aguas abajo		54	38		384	312			<10	<10			<25	<25			<5	<5

Norma COGUANOR 29-001

LMA  
500 mg/l

LMP  
1000 mg/l

Acuerdo Gubernativo 236-06, Art. 21

100 mg/l

10 mg/l

LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE LA LAGUNA DE GUIJA

Resultados		Realizados																			
Número	Identificación de la muestra	Dureza Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )			Nitrógeno Total (µg/L)			Amonio (mg/L)				Nitritos (mg/L)				Nitratos (mg/L)					
		25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	
	Fechas Muestreo	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	100	60	100	0.9	1600	<1000	<1000	0.02	0.23	0.36	0.12	0.05	0.139	0.31	0.09	0.80	3.2	4.2	5.0	
2	Río San Jose Puente Trapichito (ES)	107	60	90	19.6	<1000	1200	<1000	0.05	0.74	0.36	0.33	0.14	<0.03	0.18	0.15	16.79	4.6	4.7	4.9	
3	Laguna Metapán (ES)	87	90	120		<1000	<1000	<1000		0.13	0.09	0.08		0.05	<0.03	<0.03		1.6	4.1	3.6	
4	Río Lempa Puente Masahuat (ES)	49	37	50	0.7	<1000	1600	<1000	ND	0.25	0.34	0.15	0.06	0.133	0.22	0.15	0.63	3.6	8.0	4.6	
5	Lago de Güija Desague (superficie)	60	60	60	0.5	14500	<1000	<1000	0.02	0.15	0.1	0.21	0.06	<0.03	0.04	0.04	0.41	<1	8.30	4.90	
6	Lago de Güija Centro (superficie)	67	70	70	0.8	<1000	<1000	<1000	0.03	0.06	0.11	0.11	0.03	<0.03	0.05	0.05	0.74	2.1	3.0	1.8	
7	Lago de Güija Centro (intermedio)	60	67	80		<1000	<1000	<1000		0.24	0.3	0.32		0.092	0.19	0.09		1.7	13.1	3.0	
8	Lago de Güija Centro (fondo)	62	56	60		<1000	1200	<1000		0.55	0.3	0.22		0.171	0.28	0.12		<1	4.3	3.1	
9	Lago de Güija Entrada(superficie)	70	68	60	2.2	<1000	<1000	2800	0.02	0.12	0.13	0.16	0.05	0.03	0.15	0.04	1.90	4.5	7.1	7.0	
10	Río Ostua, aguas arriba	40	39	45	0.7	<1000	<1000	36000	0.15	0.19	0.26	0.58	0.04	0.119	0.19	0.19	0.52	3.5	3.8	8.8	
11	Río Ostua intermedio		55	60			1100	<1000			0.25	0.49			0.20	0.12			8.6	6.0	
12	Río Ostua, aguas abajo	60	56	60	3.1	2100	<1000	<1000	0.15	0.15	0.26	0.19	0.04	0.119	0.23	0.23	2.90	4.3	3.30	4.7	
13	Quebrada Tancushapa	100	97	100		<1000	<1000	<1000		0.13	0.15	0.14		0.076	0.07	0.08		3.8	6.4	7.1	
14	Acequia de aguas termales	50	60	70		<1000	<1000	<1000		0.15	0.23	0.14		0.072	0.16	0.10		3.7	11.7	2.8	
15	Quebrada Tempisque	70	80	80		<1000	<1000	<1000		0.07	0.14	0.05		0.056	0.08	0.05		1.0	8.0	4.4	
16	Las Tablas		120	170			<1000	<1000			0.2	0.12			0.09	0.08			8.5	5.9	
17	Río Morán, aguas arriba		87	90			<1000	<1000			0.09	0.07			<0.03	0.03			13.7	9.2	
18	Río Morán, aguas abajo		116	130			2500	22800			0.17	0.13			0.10	0.06			8.9	6.0	

Norma COGUANOR 29 001

LMA

LMP

100

500

mg/l

mg/l

Acuerdo Gubernativo 236-06, Art. 21

20 mg/l

LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE LA LAGUNA DE GUIJA

Resultados																		
Número	Identificación de la muestra	Fosforo total (µg/L)				Fosfatos (µg/L)			Cloruros (mg/L)			Fluoruros mg/L			Sulfatos (mg/L)			
		Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	0.9	640	9292	325	590	598	320	4.9	5.6	4.4	<0.1	<0.1	<0.1	119	<25	<25	<25
2	Río San Jose Puente Trapichito (ES)	8.2	606	3251	460	510	308	410	3.4	4.3	5.3	<0.1	<0.1	<0.1	252	<25	<25	<25
3	Laguna Metapán (ES)		425	920	227	400	98	210	2.6	<2.5	<2.5	<0.1	<0.1	<0.1		<25	<25	<25
4	Río Lempa Puente Masahuat (ES)	0.5	748	6838	675	700	675	700	4.2	5.3	4.4	<0.1	<0.1	<0.1	66	<25	<25	<25
5	Lago de Güija Desague (superficie)	0.80	218	644	156	60	89	110	4	3.5	4.1	<0.1	<0.1	<0.1	82	<25	<25	<25
6	Lago de Güija Centro (superficie)	0.7	154	644	163	70	111	80	3.5	3.9	4.1	<0.1	<0.1	<0.1	86	<25	<25	<25
7	Lago de Güija Centro (intermedio)		492	1748	356	430	201	320	4.2	5.8	4.6	<0.1	<0.1	0.1		<25	<25	<25
8	Lago de Güija Centro (fondo)		892	4293	469	940	395	460	7.2	5.7	5.3	<0.1	<0.1	<0.1		<25	<25	<25
9	Lago de Güija Entrada (superficie)	0.9	215	705	178	100	106	140	4.7	3.5	3.8	<0.1	<0.1	0.25	119	<25	<25	<25
10	Río Ostua, aguas arriba	0.9	615	3956	2368	640	387	2630	5.8	5.8	15	<0.1	<0.1	0.38	82	<25	<25	<25
11	Río Ostúa intermedio			3864	583		343	570		6.1	6.6		<0.1	0.11			<25	<25
12	Río Ostua, aguas abajo	0.9	769	4753	1957	740	459	2340	6.6	6.6	13.2	<0.1	<0.1	0.14	60	<25	<25	<25
13	Quebrada Tancushapa		400	1564	472	480	162	400	16.1	4.4	13.8	<0.1	<0.1	<0.1		<25	<25	<25
14	Acequia de aguas termales		738	2576	782	660	278	670	101	105	202	0.66	0.61	1.2		<25	<25	46
15	Quebrada Tempisque		738	2055	546	590	177	380	2.8	3.7	3.9	<0.1	<0.1	<0.1		<25	<25	<25
16	Las Tablas			2975	699		274	520		47	32		<0.1	<0.1			<25	<25
17	Río Morán, aguas arriba			1257	337		125	290		<2.5	<2.5		<0.1	<0.1			<25	<25
18	Río Morán, aguas abajo			2668	580		212	450		22	24.3		<0.1	0.1			<25	<25

Norma COGLUANOR 29 001

LMA                      LMP  
100                      250  
mg/l                      mg/l

Acuerdo Gubernativo 236-06; Art. 21

10 mg/l

LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE LA LAGUNA DE GUIJA

Resultados								
Número	Identificación de la muestra	Cianuro total (mg/L)			Cianuro Facilmente Liberable (mg/L)			
		Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	ND	<0.005	<0.005	0.017	<0.005	<0.005	<0.005
2	Río San Jose Puente Trapichito (ES)	ND	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
3	Laguna Mirtapán (ES)		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
4	Río Lempa Puente Masahuat (ES)	ND	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
5	Lago de Guija Desagué (superficie)	ND	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
6	Lago de Guija Centro (superficie)	ND	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
7	Lago de Guija Centro (intermedio)		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
8	Lago de Guija Centro (fondo)		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
9	Lago de Guija Entrada(superficie)	ND	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
10	Río Ostua, aguas arriba	ND	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
11	Río Ostúa intermedio			<0.005	<0.005		<0.005	<0.005
12	Río Ostua, aguas abajo	ND	<0.005	<0.005	<0.005	<0.006	<0.005	0.013
13	Quebrada Tancushapa		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
14	Acequia de aguas termales		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
15	Quebrada Tempisque		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
16	Las Tablas			<0.005	<0.005		<0.005	<0.005
17	Río Morán, aguas arriba			<0.005	<0.005		<0.005	<0.005
18	Río Morán, aguas abajo			<0.005	<0.005		<0.005	<0.005

Norma COGUANOR 29-001

LMP

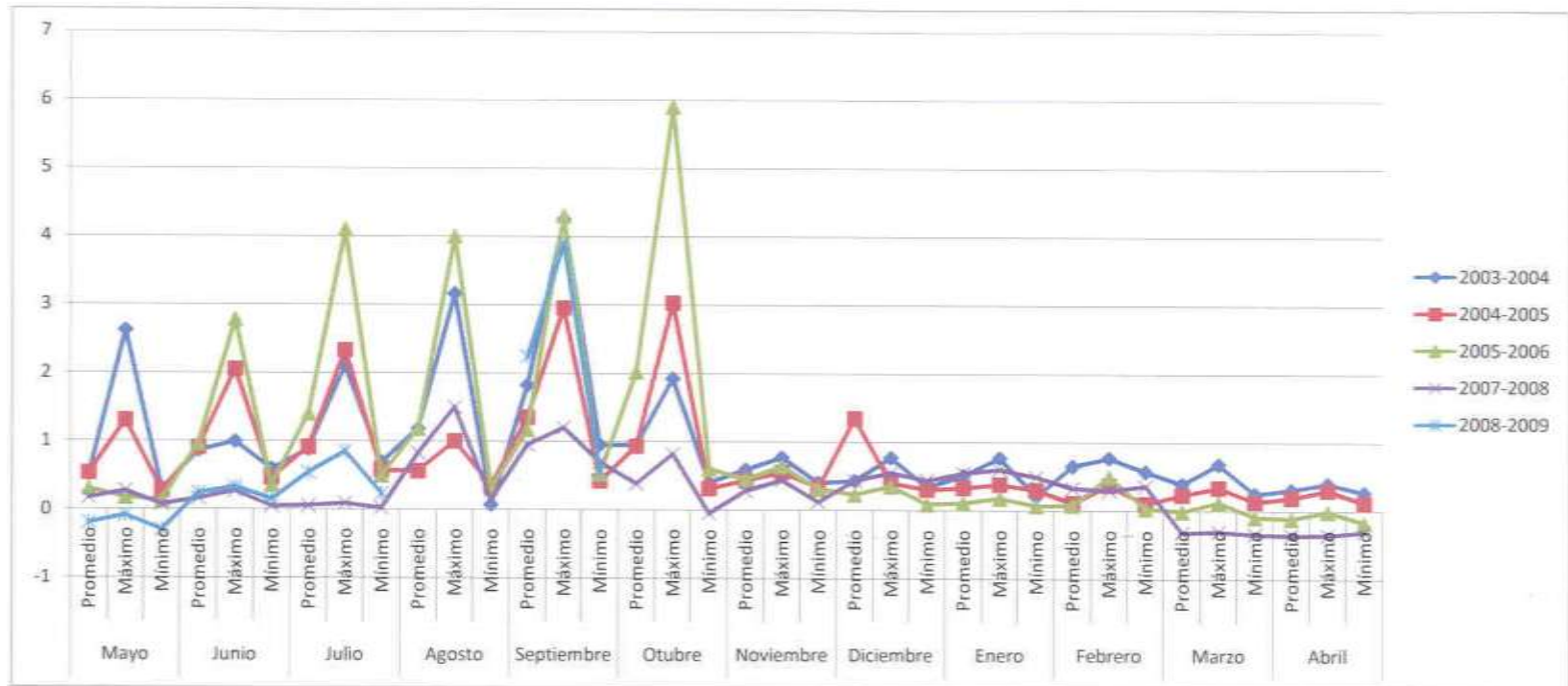
0.070

mg/l

Acuerdo Gubernativo 236-06, Art. 21.

1 mg/l

Gráfica 1. Niveles del río Ostúa en la estación Las Cruces del año hidrológico 2003-2004 al presente (2008-2009).





*Sólidos Totales:*

La acequia reportó valores altos de sólidos totales, debido al aporte de los sólidos disueltos, así como los ríos Lempa, Ostúa y Angue, por la contribución de los sólidos suspendidos.

*Demanda Bioquímica de Oxígeno:*

La demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas. Los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de todos los cuerpos de agua muestreados estuvieron por debajo del límite de detección (10 mg/litro). En el muestreo de abril del 2008 (época seca) se reportaron valores por arriba del límite de detección. El río San José reportó en abril del 2008 un valor similar al de las aguas residuales domésticas; este río recibe las aguas residuales de Metapán. Los ríos Lempa y Ostúa reportaron también valores altos de DBO.

*Demanda Química de Oxígeno:*

La mayoría de los valores de la demanda química de oxígeno (DQO) estuvieron por debajo del límite de detección (25 mg/litro), excepto los ríos más caudalosos (Lempa, Ostúa y Angue). Sin embargo, estos fueron menores a los reportados en la época seca (abril, 2008).

*Aceites y Grasas:*

Los valores de aceites y grasas de todos los cuerpos de agua muestreados estuvieron por debajo del límite de detección (5 mg/litro), tanto en el muestreo de abril, como en septiembre y octubre del 2008.

*Dureza Total:*

La dureza del agua es un reflejo de la naturaleza geológica de la cuenca, ya que el principal contenido de metales alcalinotérreos proviene de la disolución de minerales o escorrentía de suelos alcalinos. Los valores de dureza total de los ríos Lempa y Ostúa fueron menores a las del resto de ríos y quebradas, inclusive a los del lago Guija y la laguna Metapán. Todos los valores estuvieron por debajo del límite máximo permisible de la norma COGUANOR.

*Nitrógeno Total:*

El lago Guija, la laguna Metapán, las quebradas Tancushapa, Tempisque y Las Tablas y la acequia reportaron valores de nitrógeno total por debajo del límite de detección (1 mg/litro). Los ríos Angue, San José, Lempa y Ostúa, aguas arriba, reportaron en alguno de los tres muestreos valores de nitrógeno total por arriba del límite de detección, probablemente por la descarga de aguas residuales y residuos de fertilizantes.

*Amonio:*

Los residuos de fertilizantes contienen sobre todo amoníaco y nitrógeno orgánico. Los valores de amonio reportados en la quebrada Tempisque y en el río Moran fueron los menores, debido

a que son los que tienen menos intervención de actividades humanas. En las muestras del medio y fondo del lago de Guija los valores de amonio aumentaron con respecto a la profundidad. Estos valores y los del río San José fueron los mayores reportados entre septiembre y octubre. Los valores de amonio reportados en abril del 2008 fueron en general menores a los reportados entre septiembre y octubre del 2008.

#### *Nitritos:*

El análisis de las concentraciones de nitritos tiene importancia para determinar el estado de depuración del cuerpo de agua y la periodicidad de las descargas. Las bacterias nitrosomas convierten el amonio en nitrito, consumiendo oxígeno disuelto. La aparición de nitritos en un cuerpo de agua es posterior a los picos de amonio en descargas contaminantes. Los valores de nitritos reportados fueron menores en las muestras superficiales del lago de Guija, la laguna de Metapán y en el río Morán, inclusive por debajo del límite de detección (0.03 mg/litro). En general, los valores de nitritos reportados en abril del 2008 fueron menores a los reportados entre septiembre y octubre del 2008.

#### *Nitratos:*

Los nitratos provienen de la descomposición de la materia nitrogenada de las aguas residuales y de fertilizantes. Los valores de nitratos fueron superiores a los de nitritos en todas las muestras. Nuevamente, los valores reportados en abril del 2008 fueron menores a los reportados en septiembre y octubre del mismo año, excepto en el río San José, que como se ha indicado recibe las aguas residuales municipales de Metapán.

#### *Fósforo:*

El fósforo al igual que el nitrógeno son esenciales para el crecimiento de algas, y la limitación de las cantidades de estos elementos es normalmente el factor que controla la tasa de crecimiento. Los mayores valores de fósforo total fueron reportados en el segundo muestreo, cuando se presentaron los mayores caudales, y en los ríos más caudalosos (Lempa, Ostúa y Angue). En general, en las muestras superficiales del lago de Guija se reportaron los menores valores de fósforo total.

#### *Fosfatos:*

En general, los fosfatos siguieron el mismo comportamiento que el fósforo total. Sin embargo, en el segundo muestreo, cuando se presentaron los caudales mayores en los ríos, la concentración de fosfatos fue similar a la de los otros dos muestreos. Es decir, que la mayoría del fósforo en el segundo muestreo fue particulado.

#### *Cloruros:*

Los valores mayores de cloruros fueron reportados en la acequia, debido al aporte de aguas termales. La quebrada Tancushapa reportó también valores mayores a la del resto de estaciones. Los valores altos de la quebrada Las tablas y del río Morán aguas abajo se debe a que estos reciben el aporte de la acequia y de la quebrada Tancushapa. Los valores de



cloruros en el lago de Guija aumentaron con respecto a la profundidad. Los menores valores de cloruros se reportaron en la laguna de Metapán y en el río Morán, aguas arriba.

*Fluoruros:*

La mayoría de los valores de fluoruros estuvieron por debajo del límite de detección (0.1 mg/litro), excepto en la acequia en los tres muestreos y en el Ostúa en las tres estaciones (aguas arriba, intermedio y aguas abajo).

*Sulfatos:*

Todos los valores de sulfatos estuvieron por debajo del límite de detección (25 mg/litro), excepto en la acequia en el último muestreo de octubre del 2008. Los valores de sulfatos reportados en abril del 2008 fueron bastante mayores a los de septiembre y octubre del 2008.

*Cianuros:*

El cianuro total se reportó solamente en el río Angue en el último muestreo (0.017 mg/l), valor por encima del límite de detección (<0.005 mg/l); y el cianuro fácilmente liberable solamente se reportó en el río Ostúa aguas abajo en el último muestreo (0.013 mg/l).

*Metales:*

Los metales reportados en los muestreos del 2008 se muestran en el Cuadro 3, a continuación.

De acuerdo a los límites máximos permisibles de la norma COGUANOR para metales, todos los valores estuvieron por debajo, excepto para arsénico en la acequia y en las quebradas Tancushapa y Las Tablas, y para el aluminio en todas las estaciones. Utilizando el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica (Decreto No. 33903-MINAE, 2007), todos los metales, excepto el arsénico en la acequia, quebrada Tancushapa y Las Tablas son Clase 1, utilizable para cualquier uso. Todos los metales estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores a mayo del 2029 (artículo 24 del Decreto 236-2006), excepto el arsénico en la acequia.

*-Arsénico:*

Excepto en el río Morán aguas arriba y la quebrada Tempisque, todos los demás ríos y quebradas, así como el lago de Guija y la laguna de Metapán reportaron valores de arsénico. Sin embargo, la mayoría de los valores reportados estuvieron cerca del límite de detección (0.02 mg/litro), excepto en la acequia donde se reportaron valores bastante más altos. Este aporte contribuyó a que se reportaran valores intermedios en la quebrada Las Tablas y en el río Morán, aguas abajo. No se reportan mayores diferencias entre los valores de abril del 2008 y los de septiembre y octubre del mismo año.

**Cuadro 3. Resultados de la Medición de Metales**

(25 de septiembre, 9 de octubre y 23 de octubre del 2008; adicionalmente se incluye los resultados del 4 de abril del 2008)

Número	Identificación de la muestra	Resultados																
		Arsénico As (mg/L) *				Aluminio Al (mg/L) *				Cobre Cu (mg/L) *			Cromo Cr (mg/L) *			Cromo VI mg/l		
Fechas de Muestreo		Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	0.011	0.005	0.016	0.005	ND	0.65	1.94	6.15	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.90	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
2	Río San Jose Puente Trapichito (ES)	0.004	0.002	0.003	0.002	0.370	<0.3	6.99	2.65	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
3	Laguna Metapán (ES)		0.004	0.003	0.002		<0.3	0.23	<0.3	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
4	Río Lempa Puente Masahuat (ES)	0.005	0.002	0.006	0.003	ND	0.86	12.6	10.9	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
5	Lago de Guija Desague (superficie)	0.004	0.004	0.003	0.003	ND	<0.3	0.46	1.22	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
6	Lago de Guija Centro (superficie)	0.004	0.004	0.004	0.003	ND	<0.3	1.25	1.33	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
7	Lago de Guija Centro (intermedio)		0.005	0.005	0.004		<0.3	0.69	3.74	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
8	Lago de Guija Centro (fondo)		0.005	0.008	0.005		<0.3	10.7	6.48	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
9	Lago de Guija Entrada (superficie)	0.004	0.004	0.004	0.003	0.550	<0.3	1.03	1.66	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
10	Río Ostúa, aguas arriba	0.008	<0.002	0.003	0.007	ND	0.65	20.1	69.4	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.10	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
11	Río Ostúa intermedio			<0.002	0.004				10.7	11.6		<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
12	Río Ostúa, aguas abajo	0.01	0.003	0.004	0.007	0.370	0.55	12.6	8.9	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
13	Quebrada Tancushapa		0.017	0.005	0.012		<0.3	3.19	2.41	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
14	Acequia de aguas termales		0.110	0.084	0.140		0.55	2.52	3.85	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
15	Quebrada Tempisque		<0.002	0.002	<0.002		<0.3	3.54	1.11	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
16	Las Tablas			0.033	0.029			2.35	1.85		<0.03	<0.03		<0.03	<0.03		<0.03	<0.03
17	Río Morán, aguas arriba			<0.002	<0.002			0.69	0.56		<0.03	<0.03		<0.03	<0.03		<0.03	<0.03
18	Río Morán, aguas abajo			0.017	0.015			2.97	1.44		<0.03	<0.03		<0.03	<0.03		<0.03	<0.03

COGUANOR 29.001	LMP	LMA	LMP	LMA	LMP	LMP
	0.010	0.050	0.100	0.05	1.5	0.050
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l
Acuerdo Gubernativo 236-06, Art. 21	0.1 mg/l					0.1 mg/l

LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE LA LAGUNA DE GUIJA

Resultados

Número	Identificación de la muestra	Hierro Fe (mg/L) *				Manganeso Mn (mg/L) *				Molibdeno Mo (mg/L) *			Selenio Se (mg/L)			Niquel Ni (mg/L) *		
		Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	Abr	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct
	Fechas de Muestreo																	
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	0.17	0.68	14.1	2.20	0.16	0.09	0.24	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0.25	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
2	Río San Jose Puente Trapichito (ES)	0.52	0.36	4.16	1.85	0.43	0.08	0.07	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
3	Laguna Metapán (ES)		<0.03	0.22	0.10		0.04	0.04	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
4	Río Lempa Puente Masahuat (ES)	ND	0.75	8.97	1.18	ND	0.07	0.13	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
5	Lago de Güija Desague (superficie)	ND	<0.03	0.45	0.44	ND	<0.03	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	0.25	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
6	Lago de Güija Centro (superficie)	ND	<0.03	0.57	0.52	ND	<0.03	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
7	Lago de Güija Centro (Intermedio)		0.29	0.64	1.46		0.13	0.17	0.04	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
8	Lago de Güija Centro (fondo)		0.47	4.24	2.67		0.1	0.09	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
9	Lago de Güija Entrada(superficie)	0.48	<0.03	0.57	0.61	0.07	<0.03	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
10	Río Ostúa, aguas arriba	0.19	0.45	4.59	21.8	ND	0.04	<0.03	0.37	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
11	Río Ostúa intermedio			4.49	3.78			0.06	0.07		<0.05	<0.05		<0.2	<0.2		<0.05	<0.05
12	Río Ostúa, aguas abajo	0.28	0.42	5.54	17.3	0.05	0.06	<0.03	0.31	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
13	Quebrada Tancushapa		0.29	1.39	1.08		0.03	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
14	Acequia de aguas termales		0.49	1.69	2.05		0.08	<0.03	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
15	Quebrada Tempisque		0.36	1.69	0.59		<0.03	<0.03	<0.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05	<0.05	<0.05
16	Las Tablas			2.74	2.02			0.16	0.13		<0.05	<0.05		<0.2	<0.2		<0.05	<0.05
17	Río Morán, aguas arriba			0.39	0.12		<0.03	<0.03		<0.05	<0.05	<0.05		<0.2	<0.2		<0.05	<0.05
18	Río Morán, aguas abajo			1.99	0.94			0.08	<0.03		<0.05	<0.05		<0.2	<0.2		<0.05	<0.05

COGUANOR 29 001

LMP

0.010

mg/l

Acuerdo Gubernativo 238-06, Art. 21

2 mg/l

LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE LA LAGUNA DE GUIJA

Resultados													
Número	Identificación de la muestra	Mercurio Hg (mg/L) *			Plomo Pb (mg/L) *			Vanadio V (mg/L) *			Zinc Zn (mg/L) *		
		25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct	25-Sep	09-Oct	23-Oct
	Fechas de Muestreo												
1	Río Ange Puente Ferrocarril (ES)	<0.001	0.002	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	0.02	0.21	0.03
2	Río San Jose Puente Trapichito (ES)	<0.001	0.002	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	0.01	0.02
3	Laguna Metapán (ES)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	<0.01	0.01
4	Río Lempa Puente Masahuat (ES)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	0.03	0.03
5	Lago de Güija Desague (superficie)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	<0.01	0.03
6	Lago de Güija Centro (superficie)	<0.001	<0.001	0.002	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	0.01	<0.01	0.04
7	Lago de Güija Centro (intermedio)	<0.001	<0.001	0.002	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	0.01	0.02	0.09
8	Lago de Güija Centro (fondo)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	0.08	0.05	0.11
9	Lago de Güija Entrada (superficie)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	0.21	0.07
10	Río Ostua, aguas arriba	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	0.01	0.13
11	Río Ostua intermedio		<0.001	<0.001		<0.05	<0.05		<0.4	<0.4		<0.01	0.05
12	Río Ostua, aguas abajo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	0.01	0.13
13	Quebrada Tancushapa	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	0.02	0.09
14	Acequia de aguas termales	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	<0.01	0.02	0.06
15	Quebrada Tempisque	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	<0.05	<0.05	<0.4	<0.4	<0.4	0.01	<0.01	0.07
16	Las Tablas		<0.001	<0.001		<0.05	<0.05		<0.4	<0.4		<0.01	0.07
17	Río Morán, aguas arriba		<0.001	<0.001		<0.05	<0.05		<0.4	<0.4		<0.01	0.06
18	Río Morán, aguas abajo		<0.001	<0.001		<0.05	<0.05		<0.4	<0.4		0.02	0.07
	COGUANOR 29-001		LMP		LMP			LMA			LMP		
			0.001		0.010			3			70		
			mg/l		mg/l			mg/l			mg/l		
	Acuerdo Gubernativo 236-06, Art. 21		0.01 mg/l		0.4 mg/l						10 mg/l		

*-Aluminio:*

Aluminio se reportó en mayores concentraciones en el río Ostúa, aún aguas arriba de la influencia de las descargas de la quebrada Las Tablas, afluente del río Morán. El lago de Guija en las tomas del fondo reportaron también concentraciones comparativamente altas. La acequia y la quebrada Tancushapa reportaron valores de aluminio similares al resto de quebradas y ríos de la cuenca. Los valores reportados de aluminio en abril del 2008 estuvieron por debajo de los observados entre septiembre y octubre del mismo año.

*-Hierro:*

Los ríos de mayor caudal fueron los que reportaron las mayores concentraciones de hierro. La laguna de Metapán y el lago de Guija reportaron las concentraciones más pequeñas de hierro. El hierro aumentó con respecto a la profundidad del lago. Las concentraciones de hierro en abril del 2008 fueron menores a las reportadas en septiembre y octubre del mismo año.

*-Manganeso:*

Los ríos y la acequia fueron los únicos que reportaron concentraciones de manganeso por arriba del límite de detección. Las quebradas reportaron valores por debajo del límite de detección. El lago de Guija reportó valores de manganeso sólo en el fondo e intermedio.

*-Zinc:*

El zinc se reportó en todas las estaciones del último muestreo, pero sus valores fueron apenas por arriba del límite de detección (0.01 mg/litro). En abril del 2008, todos los valores estuvieron por debajo del límite de detección.

*-Otros metales:*

El cromo, el selenio y el mercurio se reportaron como metales totales y estuvieron por arriba de sus límites de detección, entre 1 y 4 veces de las 54 muestras tomadas. Los valores reportados podrían deberse a interferencias. Estas suposiciones sólo se aclararían con muestreos en diferentes épocas del año.

## 6.2.2 Análisis estadístico

Con el propósito fundamental de disponer de un criterio técnico acerca de las diferencias encontradas entre la medición de los parámetros físico-químicos del agua por la empresa Transmares y la realizada por la presente consultoría, se aplicó un procedimiento minucioso de análisis estadístico a los datos disponibles de las estaciones similares muestreadas por ambas empresas. Considerando los objetivos perseguidos, se decidió usar 8 variables como las determinantes, siendo estas: pH, Sólidos Disueltos, Sólidos Totales, Aluminio, Arsénico, Hierro, Manganeso y Zinc. Las 6 estaciones utilizadas fueron: Río Ostúa aguas arriba (identificada con el número 11 por la *Línea Base 2008*), que corresponde a la SW8 de la empresa Transmares (*EIA Transmares*); Río Ostúa intermedio (9), que corresponde a SW5;

Quebrada Tancushapa (11), que corresponde a SW4; Acequia (12), que está cercana a HS1; Quebrada Tempisque (13), que corresponde a SW2; y río Morán aguas abajo (16), que corresponde a SW7. La descripción y ubicación de dichas estaciones se muestran en el Cuadro 1 y Figura 1.

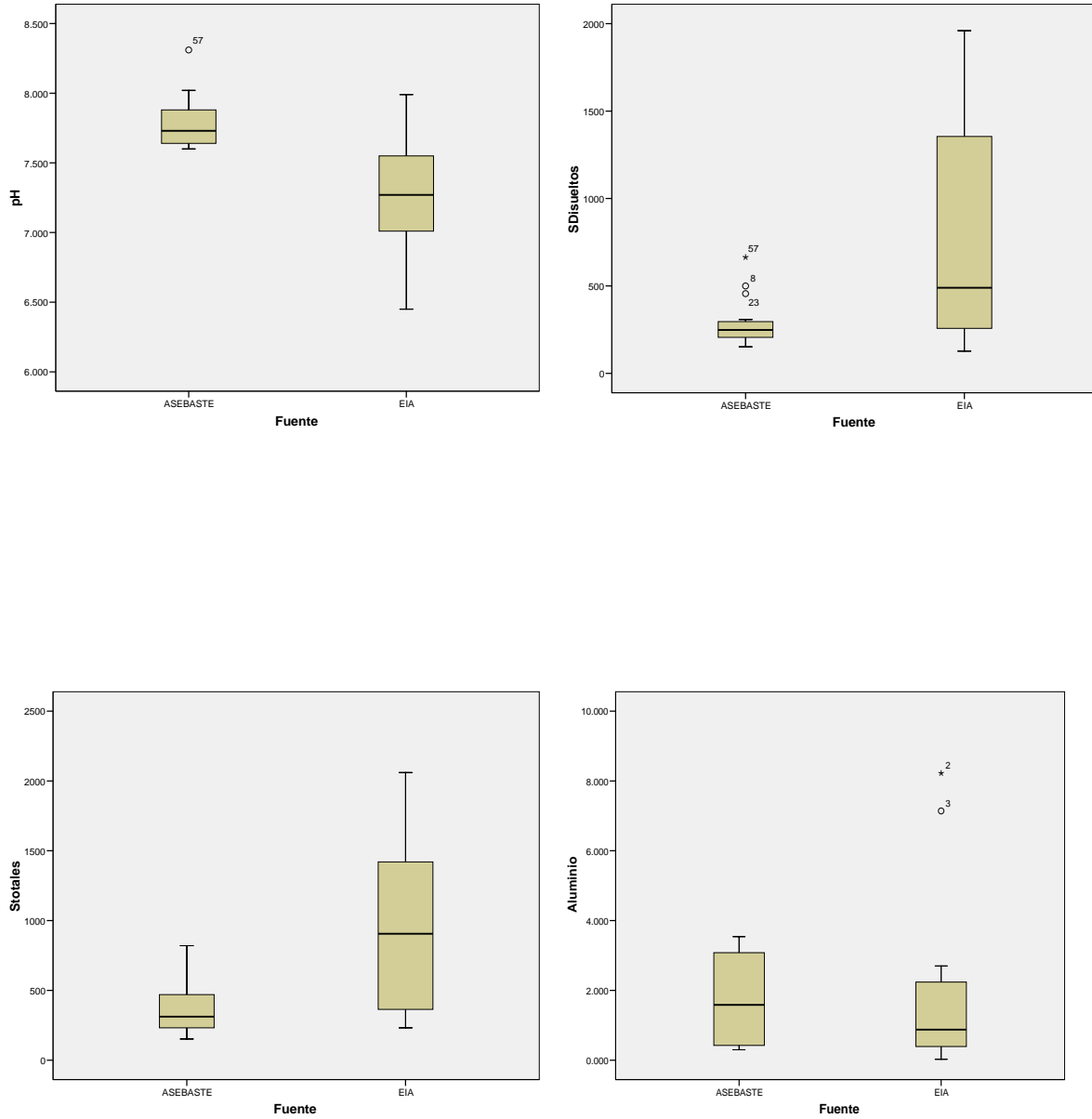
*Análisis exploratorio de los datos:*

Después de determinar los límites de detección en cada una de las variables y eliminar los datos atípicos, se calculó las estadísticas básicas de cada parámetro de las dos fuentes (*EIA Transmareas y Línea Base 2008*) cuyos resultados son los presentados en el Cuadro 4, y la distribución de los datos de cada parámetro son las contenidas en las Gráficas 2 de Caja. Adicionalmente, en la Gráfica 3 se muestran las medias por año de cada una de las variables.

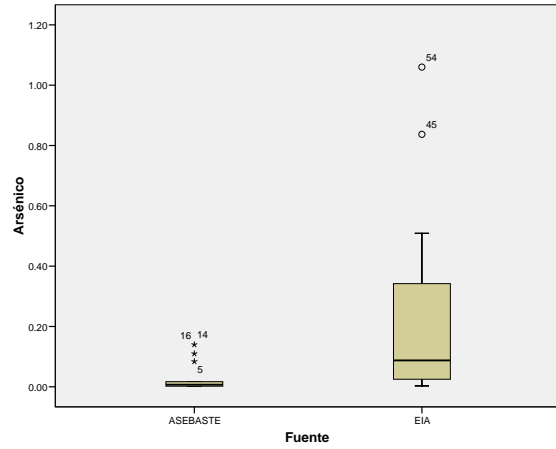
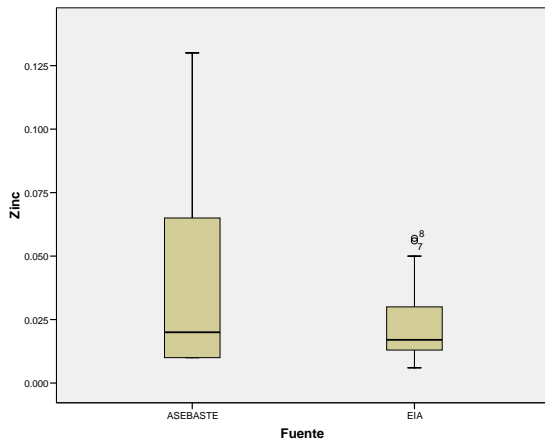
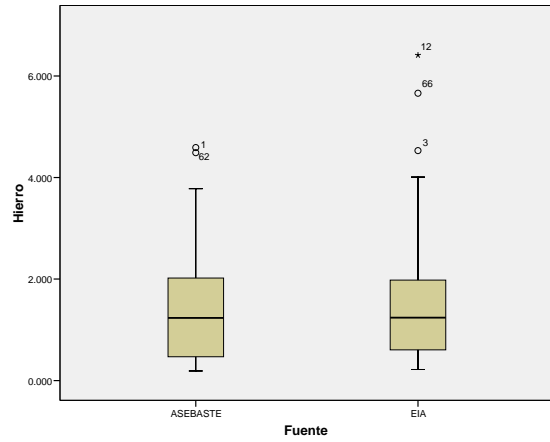
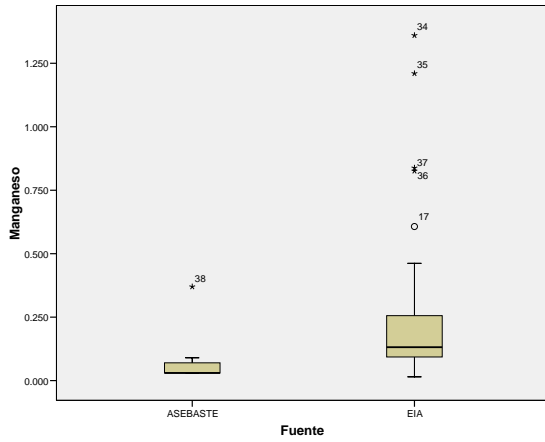
**Cuadro 4. Estadísticas de los grupos analizados**

Parámetro	Fuente	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
pH	EIA	47	7.29596	.376273	.054885
	Línea Base 2008	17	7.78588	.197169	.047821
Sol. Disueltos	EIA	52	775.23	581.143	80.590
	Línea Base 2008	16	291.38	136.481	34.120
Sol. totales	EIA	30	947.80	607.533	110.920
	Línea Base 2008	15	373.87	204.654	52.841
Aluminio	EIA	23	1.61704	2.097296	.437316
	Línea Base 2008	8	1.75250	1.424979	.503806
Arsénico	EIA	46	.19298	.231108	.034075
	Línea Base 2008	17	.02541	.042506	.010309
Hierro	EIA	35	1.72120	1.621561	.274094
	Línea Base 2008	16	1.62875	1.459881	.364970
Manganeso	EIA	50	.23094	.277205	.039203
	Línea Base 2008	17	.06647	.081313	.019721
Zinc	EIA	34	.02262	.014321	.002456
	Línea Base 2008	16	.03750	.036788	.009197

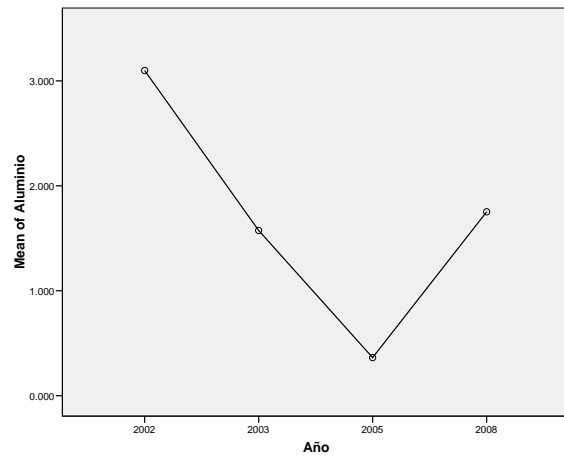
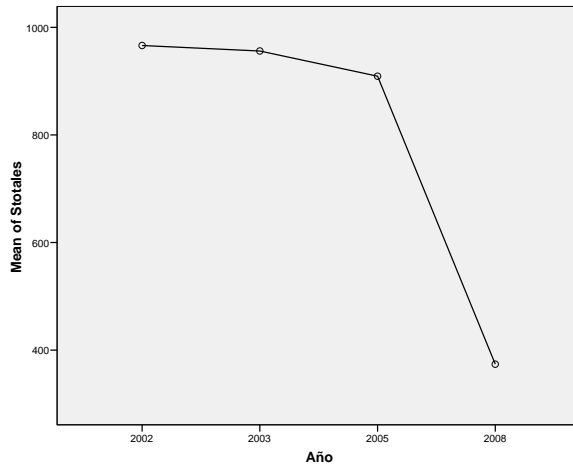
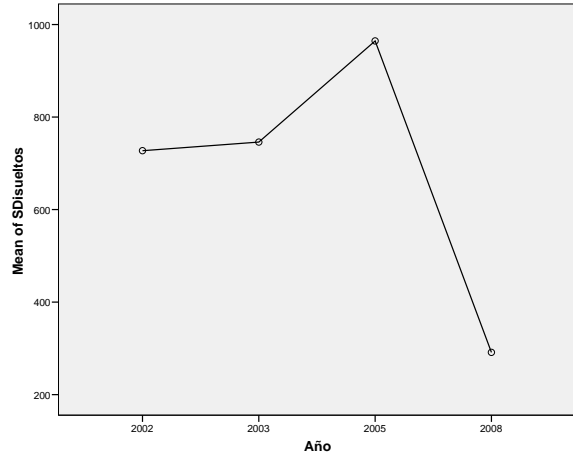
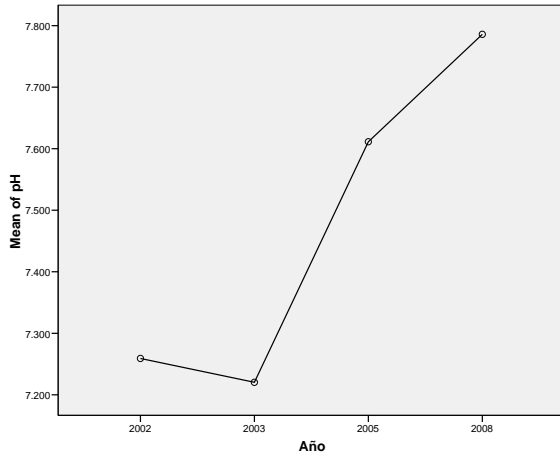
**Grafica 2. Estadísticas básicas de las variables**

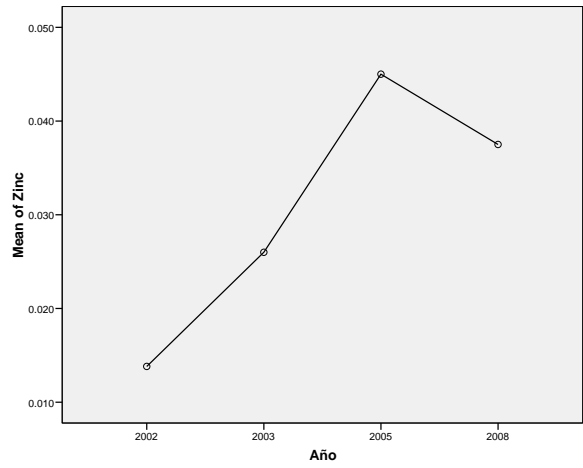
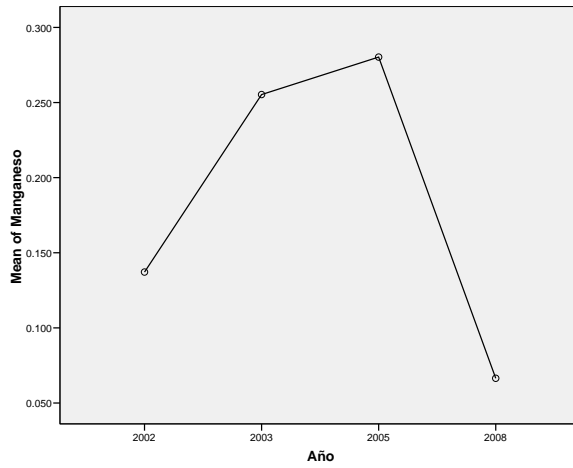
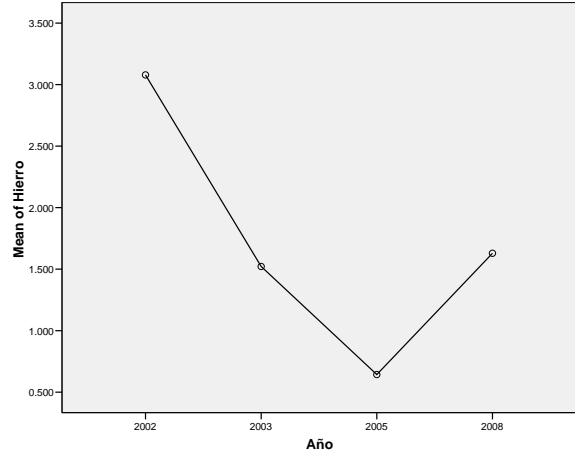
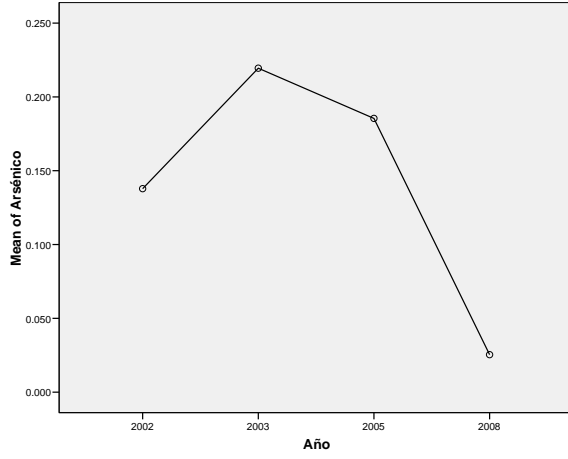






**Gráfica 3. Comportamiento de las medias a través de los años (2002, 2003, 2005 y 2008)**





*Análisis Estadístico:*

Posteriormente se realizaron varias pruebas para determinar si las diferencias observadas entre los promedios de cada una de las variables son casuales o están asociadas a alguna de las fuentes de variación presentes: año y fuente de medición (*EIA Transmares y Línea Base 2008*). En el Cuadro 5, se reportan los resultados de la prueba de homogeneidad de las varianzas, en el cual se evidencia que en ninguno de los casos se cumple el supuesto de homocedasticidad.

**Cuadro 5. Prueba de homogeneidad de las varianzas**

Parámetros	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
pH	3.118	3	60	.033
Sólidos Disueltos	13.384	3	64	.000
Sólidos Totales	7.382	3	41	.000
Aluminio	11.711	3	27	.000
Arsénico	6.366	3	59	.001
Hierro	7.518	3	47	.000
Manganeso	4.358	3	63	.007
Zinc	17.418	2	46	.000

En el Cuadro 6, se muestran los resultados de la prueba de F mediante un análisis de varianza (ANOVA), en el que se consideró como fuente de variación a los años en que se tomaron las muestras, esto corresponde a un modelo de una fuente de variación explicada con cuatro niveles: 2002, 2003, 2005 y 2008, (el cual se necesita determinar si tiene diferencias significativas respecto a los demás).

**Cuadro 6. Análisis de Varianza (ANOVA)**

Parámetros		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ph	Between Groups	3.967	3	1.322	12.870	.000
	Within Groups	6.164	60	.103		
	Total	10.131	63			
Sólidos Disueltos	Between Groups	3206209.340	3	1068736.447	3.986	.011
	Within Groups	17161758.719	64	268152.480		
	Total	20367968.059	67			
Sólidos Totales	Between Groups	3308187.154	3	1102729.051	4.010	.014
	Within Groups	11275972.090	41	275023.710		
	Total	14584159.244	44			
Aluminio	Between Groups	28.072	3	9.357	3.043	.046
	Within Groups	83.021	27	3.075		
	Total	111.093	30			
Arsénico	Between Groups	.404	3	.135	3.346	.025
	Within Groups	2.377	59	.040		
	Total	2.781	62			
Hierro	Between Groups	26.680	3	8.893	4.410	.008
	Within Groups	94.784	47	2.017		
	Total	121.464	50			
Manganeso	Between Groups	.486	3	.162	2.737	.051
	Within Groups	3.728	63	.059		
	Total	4.214	66			
Zinc	Between Groups	.004	3	.001	2.417	.078
	Within Groups	.025	46	.001		
	Total	.029	49			

En los Cuadros 7 y 8, se reportan los resultados de la prueba del contraste y de muestras independientes para la comparación de las medias entre los años 2002, 2003 y 2005 contra las del 2008, (lo cual significa la comparación entre las mediciones hechas por el EIA Transmares y las hechas por la Línea Base 2008).

**Cuadro 7. Prueba de Contrastes**

		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	T	df	Sig. (2-tailed)
pH	Assume equal variances	1	-1.26695	.283275	-4.473	60	.000
	Does not assume equal variances	1	-1.26695	.237572	-5.333	35.836	.000
Sólidos Disueltos	Assume equal variances	1	1563.53	463.768	3.371	64	.001
	Does not assume equal variances	1	1563.53	318.184	4.914	22.776	.000
Sólidos Totales	Assume equal variances	1	1709.79	506.968	3.373	41	.002
	Does not assume equal variances	1	1709.79	407.888	4.192	23.502	.000
Aluminio	Assume equal variances	1	-.22116	2.160372	-.102	27	.919
	Does not assume equal variances	1	-.22116	1.974077	-.112	13.333	.912
Arsénico	Assume equal variances	1	.46647	.178685	2.611	59	.011
	Does not assume equal variances	1	.46647	.101544	4.594	27.986	.000
Hierro	Assume equal variances	1	.35712	1.312471	.272	47	.787
	Does not assume equal variances	1	.35712	1.373978	.260	25.175	.797
Manganeso	Assume equal variances	1	.47330	.213616	2.216	63	.030
	Does not assume equal variances	1	.47330	.108149	4.376	39.347	.000
Zinc	Assume equal variances	1	-.02768	.030666	-.903	46	.371
	Does not assume equal variances	1	-.02768	.027834	-.995	15.534	.335

**Cuadro 8. Pruebas de Muestras Independientes**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	T	df	Sig. 2-tailed	Mean Differ.	Std. Error Differ.	95% Confidence Interval of the Difference	
									Upper	Lower
pH	Equal variances assumed	9.665	.003	-5.103	62	.000	-.489925	.096009	-.681843	-.298007
	Equal variances not assumed			-6.730	53.579	.000	-.489925	.072795	-.635897	-.343953
Sólidos Disueltos	Equal variances assumed	42.459	.000	3.286	66	.002	483.856	147.226	189.911	777.801
	Equal variances not assumed			5.529	63.937	.000	483.856	87.515	309.020	658.691
Sólidos Totales	Equal variances assumed	19.490	.000	3.542	43	.001	573.933	162.038	247.153	900.713
	Equal variances not assumed			4.671	39.448	.000	573.933	122.863	325.509	822.358
Aluminio	Equal variances assumed	.025	.875	-.169	29	.867	-.135457	.802978	-1.777731	1.506818
	Equal variances not assumed			-.203	18.230	.841	-.135457	.667133	-1.535786	1.264873
Arsénico	Equal variances assumed	16.315	.000	2.956	61	.004	.167566	.056679	.054231	.280902
	Equal variances not assumed			4.707	52.381	.000	.167566	.035600	.096142	.238991
Hierro	Equal variances assumed	.221	.640	.195	49	.846	.092450	.474952	-.862001	1.046901
	Equal variances not assumed			.203	32.176	.841	.092450	.456433	-.837073	1.021973
Manganeso	Equal variances assumed	5.540	.022	2.400	65	.019	.164469	.068515	.027635	.301304
	Equal variances not assumed			3.748	64.323	.000	.164469	.043884	.076810	.252129
Zinc	Equal variances assumed	25.248	.000	-2.067	48	.044	-.014882	.007199	-.029358	-.000407
	Equal variances not assumed			-1.563	17.176	.136	-.014882	.009519	-.034950	.005186

*Conclusiones:*

1. La concentración de aluminio, hierro y zinc no muestra diferencias significativas entre las mediciones hechas por *Línea Base 2008* y las hechas por el *EIA Transmares*.
2. El pH medido por *Línea Base 2008* es significativamente mayor que el reportado por el *EIA Transmares*.
3. La concentración de Arsénico, Manganeso, Sólidos Disueltos y Sólidos Totales es significativamente menor en las mediciones hechas por *Línea Base 2008* en comparación con las hechas por *EIA Transmares*.



### 6.3 *Análisis Adicionales a lo solicitado en los TdR*

Adicionalmente a lo solicitado en los Términos de Referencia (TdR) se realizaron los siguientes análisis: A) Evaluación de los resultados de los análisis de parámetros adicionales como la transparencia, clorofila y metales en sedimentos; B) Análisis de varianza de los datos generados por la empresa minera Transmares y presentados en el estudio de EIA; C) Comparación de los métodos de análisis de laboratorio realizados por el MARN de El Salvador y los realizados en esta consultoría; y D) Base de datos de la cuenca del lago.

#### 6.3.1 **Análisis de parámetros adicionales a lo solicitado en los TdR**

Los parámetros físico-químicos determinados adicionales a los solicitados en la consultoría fueron: La transparencia en el lago, medida en las tres estaciones con el disco secchi (estaciones 5, 6 y 7, las cuales se describen en el Cuadro 1 y se muestran en la Figura 1); los metales en los sedimentos medidos también en el lago, pero en dos estaciones (desagüe y centro; estaciones 5 y 6, respectivamente); clorofila medida también en el lago pero en una estación (entrada; estación 7). Adicionalmente, se determinaron metales disueltos en tres estaciones (acequia, río Ostúa aguas abajo y en la entrada del lago de Guija (estaciones 12, 10 y 7, respectivamente)). Los resultados del laboratorio se adjuntan en el Anexo 1.

Los metales disueltos muestran valores de arsénico en las tres estaciones, siendo en la acequia donde se reportó el mayor valor 0.075 mg/l. En el río Ostúa y en el lago los valores reportados fueron bastante menores, 0.002 y 0.004 mg/l. Los metales disueltos presentes fueron solamente aluminio y hierro. Los demás metales reportaron concentraciones por debajo de los límites de detección, como se observa en el Cuadro 9.

**Cuadro 9. Valores de los Metales Reportados**

Lugar	As mg/l	Al mg/l	Cu mg/l	Cr mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Se mg/l	Ni mg/l	Hg mg/l	Pb mg/l	V mg/l	Zn mg/l
Acequia	0.075	0.52	<0.03	<0.03	0.2	<0.03	<0.05	<0.2	<0.05	<0.001	<0.05	n.d.	<0.01
Río Ostúa (Las Cruces)	0.002	0.52	<0.03	<0.03	0.78	<0.03	<0.05	<0.2	<0.05	<0.001	<0.05	n.d.	0.01
Lago Guija (entrada)	0.004	0.52	<0.03	<0.03	0.1	<0.03	<0.05	<0.2	<0.05	<0.001	<0.05	n.d.	<0.01

Los valores del disco secchi medidos en las tres estaciones y en los tres distintos muestreos, se muestran en el Cuadro 10, e indican que el lago presentó una baja transparencia. Todos los valores estuvieron por debajo de 1 metro; los valores mayores fueron reportados en el segundo

muestreo y los menores (0.65 metros) en el último muestreo. Adicionalmente, la estación a la salida del lago (desagüe) reportó siempre los valores mayores de disco secchi. Las causas de reportarse valores bajos fueron debido a que el lago recibió cargas importantes de sólidos de sus ríos tributarios durante los tres muestreos. Los muestreos fueron realizados entre las 10 y 12 a.m., y no se observó la presencia de florecimiento de algas; sin embargo, el valor de clorofila reportado (30 ug/l) evidencia la presencia de estas. Los valores reportados de disco secchi, fósforo y clorofila evidencia un grado avanzado de eutrofización del lago, que deberá de seguir monitoreando.

**Cuadro 10. Lecturas del Disco Secchi**

Fecha	Ubicación	Disco Secchi (m)
25/09/2008	Lago de Guija desagüe	1.00
	Lago de Guija medio	0.93
	Lago Guija entrada	0.70
09/10/2008	Lago de Guija desagüe	0.69
	Lago de Guija medio	0.66
	Lago de Guija entrada	0.65
23/10/2008	Lago de Guija desagüe	0.80
	Lago de Guija medio	0.75
	Lago de Guija entrada	0.65

Los metales en los sedimentos de las dos muestras en el lago (centro y desagüe) que reportaron valores por arriba del límite de detección fueron los mismos que para el agua: aluminio, arsénico, hierro, manganeso y zinc, y adicionalmente el cromo. Los demás metales (cobre, molibdeno, selenio, níquel, mercurio, plomo y vanadio) estuvieron por debajo de los límites de detección. Los metales reportados muestran, como era de esperarse, mayores valores en la muestra del centro del lago que a su salida (desagüe). Las concentraciones altas fueron de aluminio y hierro, como se muestra en el Cuadro 11.

**Cuadro 11. Valores de los Metales Reportados y Analizados**

Sitio	Al (mg/kg)	Ar (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (Mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Se (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	V (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Desagüe Guija	4493	1.53	6	<6	21393	410	<10	<40	<10	<2	<10	<80	51
Centro Guija	8521	2.1	8	<6	23190	777	<10	<40	<10	<2	<10	<80	68

En el desarrollo de la presente consultoría se recopiló datos de calidad del agua generados por distintas entidades, los cuales se adjuntan en el Anexo 2 de este informe. Los datos generados por la empresa minera Transmares y presentados en el estudio de EIA fueron analizados estadísticamente. Los datos recopilados del programa OIEA-INSIVUMEH para Guatemala y OIEA-et.al., para El Salvador también se anexan.

### **6.3.2 Análisis estadístico de los datos generados por la empresa minera Transmares y comparados con los generados en la presente consultoría**

Con el propósito fundamental de disponer de un criterio técnico acerca de las diferencias encontradas en la medición de los parámetros físico-químicos del agua y de los sedimentos de los distintos cuerpos de agua de la cuenca del lago de Guija, se realizó un procedimiento minucioso de análisis estadístico a los datos disponibles.

#### **6.3.2.1 Análisis de los datos de los parámetros físico-químicos en el agua**

Como punto de partida se tuvo dos archivos de datos, el primero con la información de los valores de 121 parámetros físico-químicos y microbiológicas del agua que se determinaron durante los años 2002, 2003 y 2005 en 26 estaciones seleccionadas en la cuenca del lago de Guija y que sirvieron de base para la elaboración del estudio de Impacto Ambiental de las actividades de la empresa Transmares, consistentes en la extracción de oro y plata a través de una mina subterránea y su proceso industrial (la empresa cuenta con un estudio de EIA aprobado por el MARN); al hacer referencia a estos datos a continuación se consideraran como fuente *EIA Transmares*. El segundo archivo contiene datos de 36 variables medidas en tres muestreos entre septiembre y octubre del 2008 en 20 estaciones, estos datos se identifican como fuente *Línea Base 2008*.

Considerando los objetivos perseguidos, se decidió usar 10 variables como las determinantes, siendo estas: pH, Sólido Disueltos, Sólidos Suspendidos, Sólidos Totales, Demanda Química de Oxígeno, Aluminio, Arsénico, Hierro, Manganeso y Zinc, las que posteriormente se redujeron a ocho, al eliminar del análisis, los Sólidos Totales y la Demanda Química de Oxígeno.

#### *Análisis exploratorio de los datos:*

En la observación inicial de los datos del EIA Transmares, se determinó que no fue implementado un proceso sistemáticamente diseñado ya que en cada año, las muestras no se tomaron en las mismas estaciones ni en los mismos meses. En el Cuadro 12 se observa para cada año, en que meses fueron realizados los muestreos de agua y en el Cuadro 13, en qué estaciones. Esta situación provoca que en el análisis de la información no se puedan separar

los efectos que el año, el mes y el punto de muestreo puedan tener sobre los resultados. En un estudio diseñado para estos propósitos se debe obtener las muestras sistemáticamente, siempre en los mismos puntos de muestreo y en la misma época de cada año.

**Cuadro 12. Número de Muestras de Agua realizados en cada mes durante 2002, 2003 y 2005**

Mes	Año			Total
	2002	2003	2005	
1		7	17	24
2		10	12	22
3		11		11
4		8		8
5		7		7
6		9		9
7		7		7
8		7		7
9		9		9
10	6			6
11	9			9
12	9			9
Total	24	75	29	128

**Cuadro 13. Número de Muestras realizados en cada estación durante 2002, 2003 y 2005**

Estación	Año			Total	Estación	Año			Total
	2002	2003	2005			2002	2003	2005	
DW1	1	5	0	6	LT1	2	7	0	9
DW2	1	5	0	6	LT2	2	7	0	9
EM1	0	0	2	2	MW1.1	0	0	2	2
GW11	0	0	1	1	MW2.2	0	0	2	2
GW12	0	0	1	1	MW3.1	0	0	2	2
GW14	0	0	1	1	SW1	2	4	0	6
GW15	0	0	1	1	SW2	2	2	0	4
GW16	0	0	1	1	SW3	3	9	2	14
GW17	0	0	1	1	SW4	3	9	2	14
GW9	0	0	1	1	SW5	1	0	0	1
HS1	3	9	2	14	SW6	1	6	2	9
HS2	3	9	2	14	SW7	0	3	0	3
HS3	0	0	2	2	SW8	0	0	2	2
					Total	24	75	29	128

Con respecto a los valores reportados para cada uno de los parámetros físico-químicos estudiados, en la exploración estadística inicialmente realizada, se encontró las siguientes situaciones, que fue necesario resolver antes de proceder con el análisis estadístico.

- a. Diversos valores reportados como cero “0”. Considerando que la sensibilidad de los procedimientos analíticos siempre indican cuales es el límite de detección, el cual es mayor que cero, se procedió a eliminar estos datos. El Cuadro 14 contiene para cada variable, la cantidad de ceros eliminados.

**Cuadro 14. Número de Datos que fueron Eliminados en las Variables Analizadas**

Variable	No. de datos eliminados por tener 0 como valor
Sólidos Totales	67
pH	29
Sólidos Disueltos	28
Arsénico Total	9
Hierro Total	9
Aluminio Total	9
Zinc Total	9
Manganeso Total	9
Sólidos Suspendidos	32

- b. También se encontró que para un mismo parámetro físico-químico se indicó diferentes valores para el límite de detección. Estos datos también fueron eliminados del análisis estadístico. El Cuadro 15 contiene los detalles al respecto.

**Cuadro 15. Número de Datos que fueron Eliminados en las Variables Analizadas**

Variable	Valor	No. de casos eliminados	Variable	Valor	No. de casos eliminados
Hierro Total	<0.033	2	Zinc Total	<0.005	13
	<0.2	3		<0.015	19
	<0.450	2		<0.1	5
	<0.5	13	Manganeso Total	<0.002	3
	<0.500	7		<0.005	6
	<0.999	6		<0.01	2
	<1	3		<0.1	1
	<10	5		<1.00	1
Aluminio Total	<0.015	1	Sólidos Suspendidos	<12	12
	<0.2	10		<5	2
	<0.200	2	Arsénico Total	<0.003	7
	<0.450	2		<0.005	9
	<0.5	22		<0.01	5
	<0.500	9		<0.1	3
	<0.999	6			
	<1	5			
	<10	5			

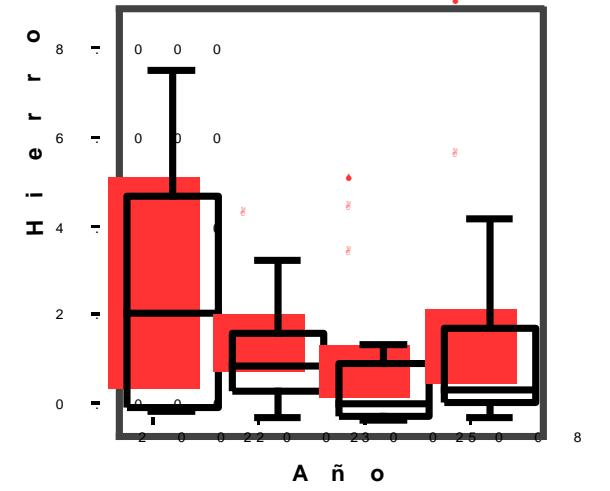
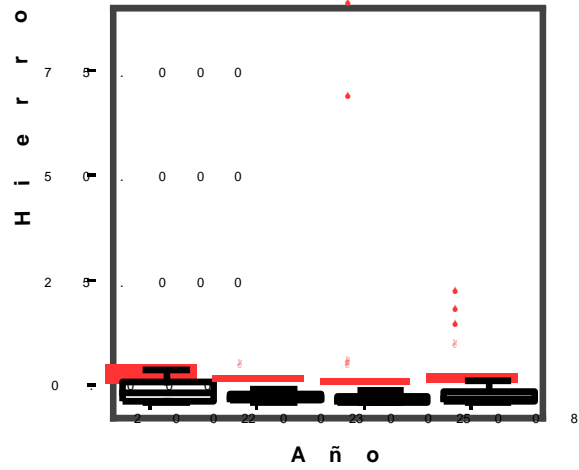
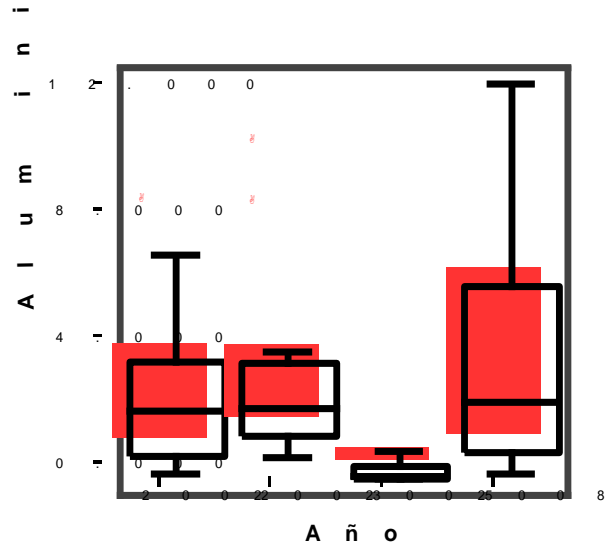
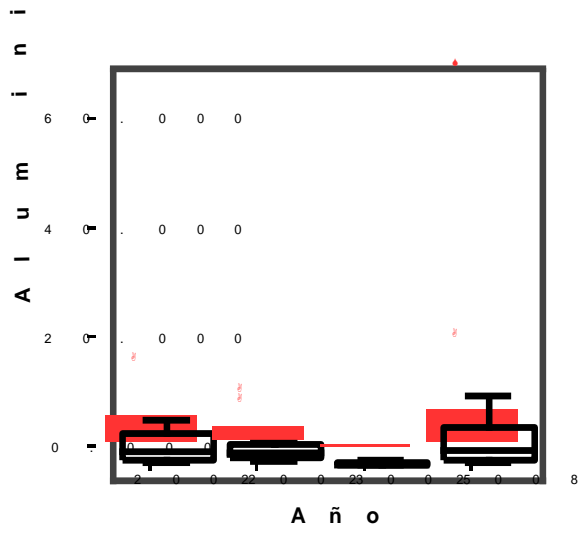
- c. Otra situación que se detectó en los datos, fueron valores totalmente diferentes del resto, lo cual hace suponer que se trata de observaciones atípicas, independientemente de que sean datos correctos o no. Estos datos también fueron excluidos del análisis estadístico. En el Cuadro 16 se resumen los datos de los parámetros físico-químicos que se eliminaron. Las estadísticas básicas de cada parámetro antes de eliminar los datos atípicos son las contenidas en el Cuadro 17, y finalmente, en las gráficas de Caja, se muestra como es la distribución de dichos datos. Para aquellas variables que se incluyen dos gráficas, la primera muestra la situación antes y la segunda la situación después de haber eliminado los datos atípicos.

**Cuadro 16. Datos Atípicos que fueron Suprimidos**

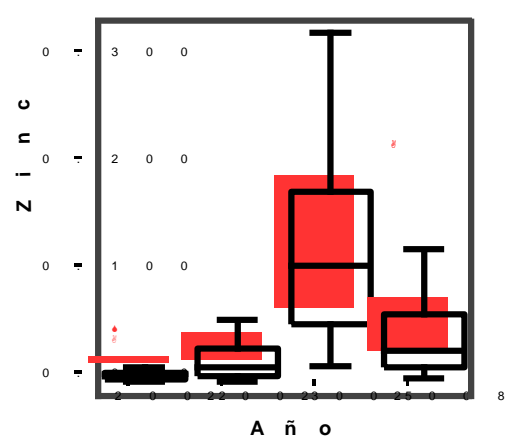
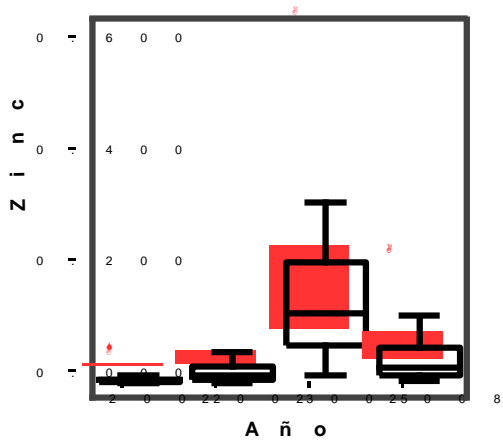
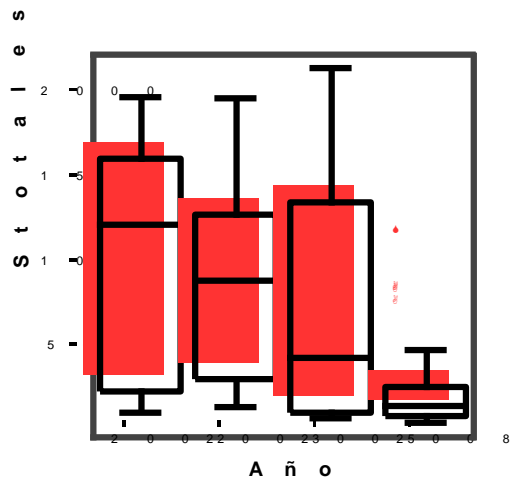
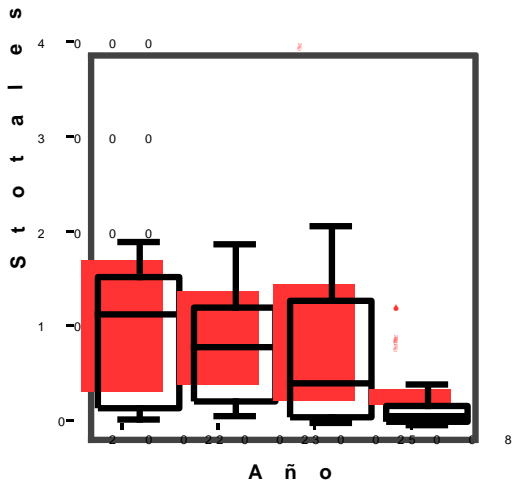
Fuente	Variable	Datos eliminados por ser extremos por arriba
EIA	Aluminio Total	15.6
	Sólidos Totales	3,900
	Hierro Total	68.6 y 90.7
	Zinc Total	0.637
Línea Base 2008	Aluminio Total	20.1 y 69.4
	Hierro Total	14.1, 17.3 y 21.8

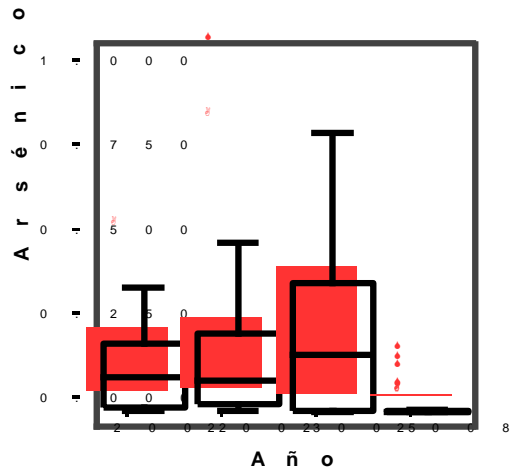
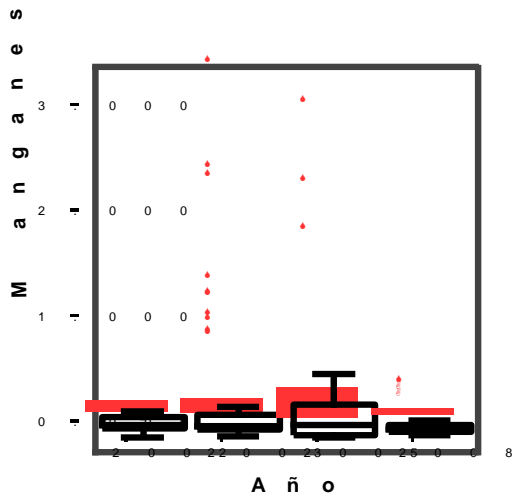
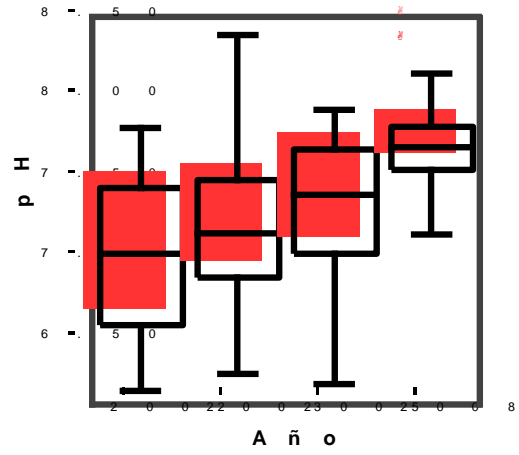
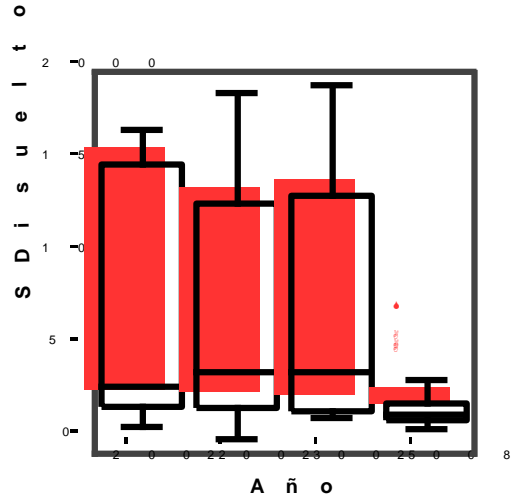
**Cuadro 17. Estadísticas Descriptivas de cada Variable antes de eliminar datos Atípicos**

Variable	Fuente	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
pH	Línea Base 2008	50	7.21	8.47	7.7610	.26196
	EIA	99	6.24	8.45	7.2331	.44388
Sólidos Disueltos	Línea Base 2008	50	104	664	217.16	107.554
	EIA	100	47	1960	733.19	592.487
Sólidos Totales	Línea Base 2008	50	132	1160	305.76	210.246
	EIA	61	162	3900	959.00	745.764
Aluminio	Línea Base 2008	40	.230	69.400	5.88950	11.280414
	EIA	57	.016	15.600	1.89442	2.900950
Arsénico	Línea Base 2008	44	.002	.140	.01384	.028152
	EIA	95	.003	1.060	.18227	.209039
Hierro	Línea Base 2008	46	.100	21.800	2.73261	4.456822
	EIA	78	.035	90.700	3.64832	12.650601
Manganeso	Línea Base 2008	28	.030	.370	.10607	.081028
	EIA	106	.002	3.390	.32993	.615090
Zinc	Línea Base 2008	34	.010	.210	.05588	.052404
	EIA	82	.006	.637	.04033	.081564
Valid N (listwise)	Línea Base 2008	16				
	EIA	10				









*Análisis Estadístico:*

Después de realizar el proceso de “limpieza” anteriormente descrito, se calculó las estadísticas descriptivas para cada variable y se encontró los valores reportados en el Cuadro 18. Luego se realizaron varias pruebas para determinar si las diferencias observadas entre los promedios de cada una de las variables son casuales o están asociadas a alguna de las fuentes de variación presentes: año, mes, estación, profundidad y fuente de medición (*EIA Transmares y Línea Base 2008*).

En el Cuadro 19, se reporta los resultados de la prueba de homocedasticidad o de homogeneidad de varianzas y de la prueba de t para la comparación de las medias de cada variable de acuerdo si los datos corresponden al *EIA Transmares* o son obtenidos por *Línea Base 2008*. En estas pruebas se encontró que solamente en el arsénico y el zinc hay varianzas iguales, mientras que en el resto de variables, las varianzas son significativamente diferentes, esto condiciona a que la prueba de t que se interprete sea aquella que corresponda a este resultado.

En la comparación de las medias se determinó que:

- La concentración de hierro en el agua es la misma para las dos fuentes de medición.
- La concentración de arsénico, manganeso, sólidos disueltos y sólidos totales es significativamente mayor en las mediciones de *EIA Transmares* en comparación con las realizadas por *Línea Base 2008*.
- La concentración de aluminio, zinc y el pH es significativamente menor en las mediciones de *EIA Transmares* en comparación con las realizadas por *Línea Base 2008*.

**Cuadro 18. Estadísticas Descriptivas de las Variables, luego del proceso de “limpieza de los datos”**

Variable	Fuente	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
pH	EIA	99	7.23	0.444	0.045
	Línea Base 2008	50	7.76	0.262	0.037
Sólidos Disueltos	EIA	100	733.19	592.487	59.249
	Línea Base 2008	50	217.16	107.554	15.210
Sólidos Totales	EIA	60	909.98	645.403	83.321
	Línea Base 2008	50	305.76	210.246	29.733
Aluminio	EIA	56	1.65	2.257	0.302
	Línea Base 2008	38	3.84	3.919	0.636
Arsénico	EIA	95	0.18	0.209	0.021
	Línea Base 2008	44	0.01	0.028	0.004
Hierro	EIA	76	1.65	1.721	0.197
	Línea Base 2008	43	1.69	1.837	0.280
Manganeso	EIA	106	0.33	0.615	0.060
	Línea Base 2008	28	0.11	0.081	0.015
Zinc	EIA	81	0.03	0.047	0.005
	Línea Base 2008	34	0.06	0.052	0.009

**Cuadro 19. Prueba de Homocedasticidad y de la Comparación de las Medias de cada una de las Variables**

Variable	Caso	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Upper	Lower
pH	Equal variances assumed	17.559	0.000	-7.75	147	0.000	-0.528	0.068	-0.663	-0.393
	Equal variances not assumed			-9.10	143.39	0.000	-0.528	0.058	-0.642	-0.413
Sólidos Disueltos	Equal variances assumed	201.224	0.000	6.10	148	0.000	516.030	84.613	348.824	683.236
	Equal variances not assumed			8.44	111.50	0.000	516.030	61.170	394.824	637.236
Sólidos Totales	Equal variances assumed	94.890	0.000	6.34	108	0.000	604.223	95.284	415.353	793.094
	Equal variances not assumed			6.83	73.55	0.000	604.223	88.467	427.930	780.517
Aluminio	Equal variances assumed	14.232	0.000	-3.44	92	0.001	-2.195	0.638	-3.462	-0.927
	Equal variances not assumed			-3.12	53.70	0.003	-2.195	0.704	-3.605	-0.784
Arsénico	Equal variances assumed	48.454	0.000	5.31	137	0.000	0.168	0.032	0.106	0.231
	Equal variances not assumed			7.70	101.17	0.000	0.168	0.022	0.125	0.212
Hierro	Equal variances assumed	0.073	0.787	-0.11	117	0.911	-0.038	0.337	-0.704	0.629
	Equal variances not assumed			-0.11	82.66	0.913	-0.038	0.343	-0.720	0.644
Manganeso	Equal variances assumed	10.236	0.002	1.92	132	0.057	0.224	0.117	-0.007	0.455
	Equal variances not assumed			3.63	117.28	0.000	0.224	0.062	0.102	0.346
Zinc	Equal variances assumed	3.112	0.080	-2.30	113	0.023	-0.023	0.010	-0.043	-0.003
	Equal variances not assumed			-2.20	56.63	0.032	-0.023	0.010	-0.044	-0.002

Otro procedimiento empleado fue el de la prueba de F mediante un análisis de varianza, con el propósito de confirmar los resultados de las comparaciones de t. En este análisis se consideró como fuente de variación a los años en que se tomaron las muestras, esto corresponde a un modelo de una fuente de variación explicada con cuatro niveles: 2002, 2003, 2005 y 2008, (el

cual se necesita determinar si tiene diferencias significativas respecto a los demás). Estos resultados están en el Cuadro 20.

**Cuadro 20. Análisis de varianza para determinar el efecto de los años en la concentración media de cada una de las variables estudiadas**

Variable	Fuente de Variación	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pH	Between Groups	10.217	3	3.406	22.744	0.000
	Within Groups	21.712	145	0.150		
	Total	31.929	148			
Sólidos Disueltos	Between Groups	8,916,479.7	3	2,972,159.9	12.300	0.000
	Within Groups	35,279,570.4	146	241,640.9		
	Total	44,196,050.1	149			
Sólidos Totales	Between Groups	10,726,366.4	3	3,575,455.5	14.592	0.000
	Within Groups	25,972,638.2	106	245,024.9		
	Total	36,699,004.6	109			
Aluminio	Between Groups	207.264	3	69.088	8.290	0.000
	Within Groups	750.011	90	8.333		
	Total	957.275	93			
Arsénico	Between Groups	0.912	3	0.304	10.049	0.000
	Within Groups	4.083	135	0.030		
	Total	4.995	138			
Hierro	Between Groups	37.171	3	12.390	4.360	0.006
	Within Groups	326.801	115	2.842		
	Total	363.971	118			
Manganeso	Between Groups	2.164	3	0.721	2.413	0.070
	Within Groups	38.849	130	0.299		
	Total	41.012	133			
Zinc	Between Groups	0.105	3	0.035	21.838	0.000
	Within Groups	0.177	111	0.002		
	Total	0.282	114			

Diferencias significativas en función de los años, fueron encontradas en todas las variables consideradas, sin embargo, para determinar si esas diferencias son entre el año 2008 y los otros, se evaluó la significancia de un contraste. Los resultados se presentan en el Cuadro 21.

**Cuadro 21. Resultados del contraste entre el año 2008 y los demás (2002, 2003 y 2005)**

Variable	Homogeneidad de Varianzas	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
pH	Assume equal variances	-1.626	0.209	-7.786	145	0.000
	Does not assume equal variances	-1.626	0.189	-8.603	90.996	0.000
Sólidos Disueltos	Assume equal variances	1,572.781	262.843	5.984	146	0.000
	Does not assume equal variances	1,572.781	205.947	7.637	61.053	0.000
Sólidos totales	Assume equal variances	1,919.967	291.693	6.582	106	0.000
	Does not assume equal variances	1,919.967	295.073	6.507	32.622	0.000
Aluminio	Assume equal variances	-5.406	1.872	-2.888	90	0.005
	Does not assume equal variances	-5.406	2.157	-2.506	52.953	0.015
Arsénico	Assume equal variances	0.509	0.098	5.165	135	0.000
	Does not assume equal variances	0.509	0.072	7.099	49.169	0.000
Hierro	Assume equal variances	0.370	0.985	0.376	115	0.708
	Does not assume equal variances	0.370	1.120	0.331	62.684	0.742
Manganeso	Assume equal variances	0.612	0.356	1.721	130	0.088
	Does not assume equal variances	0.612	0.183	3.351	44.758	0.002
Zinc	Assume equal variances	0.005	0.027	0.182	111	0.856
	Does not assume equal variances	0.005	0.045	0.109	16.111	0.914

*Conclusiones:*

- a. No fue implementado un proceso sistematizado para la toma de las muestras de agua, lo cual no permite que en aquellos casos donde se encuentran diferencias significativas, estas puedan atribuirse a causas específicas.
- b. No fue implementado un proceso sistematizado para la medición de las variables, puesto que no se midieron todas las variables (parámetros físico-químicos) en cada una de las muestras, y no se usaron los mismos límites de detección.

- c. En la comparación de las medias se determinó que, el hierro y el zinc tienen promedios iguales en la medición del 2008 (*Línea Base 2008*) con las mediciones del 2002, 2003 y 2005 en conjunto (*EIA Transmares*).
- d. La concentración de arsénico, manganeso, sólidos disueltos y sólidos totales es significativamente mayor en las mediciones del 2002, 2003 y 2005 (*EIA Transmares*) en comparación con las mediciones realizadas en el 2008 (*Línea Base 2008*).
- e. La concentración de aluminio y el pH es significativamente menor en las mediciones del 2002, 2003 y 2005 (*EIA Transmares*) en comparación con las mediciones realizadas en el 2008 (*Línea Base 2008*).

### **6.3.3 Análisis de los datos de los parámetros químicos en los sedimentos**

#### *Análisis exploratorio de los datos:*

Situación similar a la encontrada con los datos de las variables medidas en el agua se encontró en las mediciones hechas con muestras de los sedimentos. Se observa que no fue implementado un proceso sistemático, ya que en cada año, las muestras no se tomaron en las mismas estaciones ni en los mismos meses. En los Cuadros 22, 23 y 24 se observa la estructura de toma de datos según el año, mes y estación. Esta situación provoca que en el análisis de la información no se puedan separar los efectos que el año, el mes y el punto de muestreo puedan tener sobre los resultados. En un estudio diseñado para estos propósitos se debe obtener las muestras sistemáticamente, siempre en los mismos puntos de muestreo y en la misma época de cada año.

**Cuadro 22. Número de Muestreos de Sedimentos Realizados en cada Mes durante el 2002 y 2003**

Mes	Año		Total
	2002	2003	
1		4	4
2		4	4
3		4	4
4		3	3
5		2	2
6		6	6
7		3	3
8		1	1
9		1	1
10	2		2
11	3		3
12	3		3
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>36</b>

**Cuadro 23. Número de Muestreos Realizados en cada Estación**

Estación	Año		Total
	2,002	2,003	
SW1	1	4	5
SW2	1	1	2
SW3	3	8	11
SW4	2	7	9
SW5	0	2	2
SW6	1	3	4
SW7	0	3	3
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>36</b>



**Cuadro 24. Distribución de la Toma de Muestras en cada Estación según el Mes**

Mes	Estación							Total
	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6	SW7	
1			2	1			1	4
2			1	1	1		1	4
3			1	1		1	1	4
4			1	1		1		3
5				1		1		2
6	1	1	2	1	1			6
7	1		1	1				3
8	1							1
9	1							1
10		1	1					2
11	1		1	1				3
12			1	1		1		3
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>36</b>

Con respecto a los valores reportados para cada una de las características estudiadas, en la exploración estadística inicialmente realizada, se encontró las siguientes situaciones, que fue necesario resolver antes de proceder con el análisis estadístico.

- Diferentes valores para el límite de detección de la concentración: Solamente se encontró en el arsénico, donde se reportaron casos con  $< 4.59$ ,  $< 4.63$  y  $< 4.53$ , estos datos también fueron suprimidos para proceder con el análisis estadístico.
- Valores atípicos también se encontraron y fueron excluidos del análisis estadístico, (independientemente de sean datos correctos o no). En el cuadro 25 se resumen los datos que se eliminaron en cada una de las variables.

**Cuadro 25. Datos Atípicos que fueron Suprimidos**

Aluminio	Arsénico	Hierro	Manganeso	Zinc
10500	22	23190	6888	68
12900	32.8	21393		51
		17300		

*Análisis Estadístico:*

Después de realizar el proceso de “limpieza” anteriormente descrito, se calculó las estadísticas descriptivas para cada variable y se encontró los valores reportados en el Cuadro 26. Luego se realizaron varias pruebas para determinar si las diferencias observadas entre los promedios de cada una de las variables son casuales o están asociadas a alguna de las fuentes de variación presentes. En el cuadro 27, se reporta los resultados de la prueba de homocedasticidad o de homogeneidad de varianzas y de la prueba de t para la comparación de las medias de cada variable de acuerdo si los datos corresponden al *EIA Transmares* o son obtenidos por *Línea Base 2008*. En estas pruebas se encontró que en todas las variables hay varianzas iguales, por lo tanto en la prueba de t se debe interpretar los resultados que corresponden a cuando se asume igualdad de varianzas.

**Cuadro 26. Estadísticas Descriptivas de las Variables, luego del proceso de limpieza de los datos”**

<b>Fuente</b>	<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Mínimum</b>	<b>Máximum</b>	<b>Mean</b>	<b>Std Deviation</b>
Línea Base 2008	Aluminio	2	4493.00	8521.00	6507.0000	2848.22611
	Arsénico	2	1.53	2.10	1.8150	.40305
	Hierro	2	21393.00	23190.00	22291.5000	1270.67089
	Manganeso	2	410.00	777.00	593.5000	259.50819
	Zinc	2	51.00	68.00	59.5000	12.02082
EIA	Aluminio	33	296.00	7210.00	3908.3030	1777.38761
	Arsénico	30	.72	14.80	6.0329	3.29146
	Hierro	36	501.00	17300.00	6643.4444	3608.34074
	Manganeso	27	32.80	1360.00	461.6963	352.02727
	Zinc	36	1.45	24.90	10.1567	5.48131

**Cuadro 27. Prueba de Homocedasticidad y de la Comparación de las Medias de cada una de las Variables**

Variable	Condición de las Varianzas	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Upper	Lower
Aluminio	Equal variances assumed	0.627	0.434	1.962	33	0.058	2,598.69	1,324.72	-96.46	5,293.86
	Equal variances not assumed			1.275	1.048	0.416	2,598.69	2,037.63	-20,663.9	25,861.25
Arsénico	Equal variances assumed	2.262	0.143	-1.784	30	0.084	-4.218	2.36	-9.046	0.610
	Equal variances not assumed			-6.342	17.637	0.000	-4.218	0.665	-5.617	-2.819
Hierro	Equal variances assumed	1.803	0.188	6.043	36	0.000	15,648.05	2,589.31	10,396.7	20,899.4
	Equal variances not assumed			14.473	2.085	0.004	15,648.05	1,081.19	11,172.7	20,123.4
Manganeso	Equal variances assumed	0.146	0.705	0.515	27	0.611	131.80	255.78	-393.024	656.631
	Equal variances not assumed			0.674	1.290	0.601	131.80	195.61	-1,354.2	1,617.78
Zinc	Equal variances assumed	2.991	0.092	11.784	36	0.000	49.34	4.19	40.851	57.836
	Equal variances not assumed			5.772	1.023	0.105	49.34	8.55	-53.623	152.31

En la comparación de las medias se determinó que:

- La concentración de hierro y zinc en los sedimentos es significativamente mayor en las mediciones hechas por *Línea Base 2008* que en las del *EIA Transmares*.
- La concentración de aluminio, arsénico y manganeso no muestran diferencias significativas entre las dos fuentes de datos.

Otro procedimiento empleado fue el de la prueba de F mediante un análisis de varianza, en el que se consideró como fuente de variación a los años en que se tomaron las muestras, esto corresponde a un modelo de una fuente de variación explicada con tres niveles: 2002, 2003 y 2008, (el cual se necesita determinar si tiene diferencias significativas respecto a los demás). Estos resultados se muestran en el Cuadro 28.

**Cuadro 28. Análisis de Varianza para determinar el efecto de los Años en la Concentración media de cada una de las Variables estudiadas**

Variable	Fuente de Variación	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Aluminio	Between Groups	12,785,740	2	6,392,870	1.874	0.17
	Within Groups	109,152,722	32	3,411,023		
	Total	121,938,462	34			
Arsénico	Between Groups	44	2	22	2.082	0.143
	Within Groups	304	29	10		
	Total	348	31			
Hierro	Between Groups	468,948,057	2	234,474,028	18.143	0.000
	Within Groups	452,319,224	35	12,923,406		
	Total	921,267,281	37			
Manganeso	Between Groups	32,348	1	32,348	0.266	0.611
	Within Groups	3,289,348	27	121,828		
	Total	3,321,696	28			
Zinc	Between Groups	4,615	2	2,307	67.614	0.000
	Within Groups	1,194	35	34		
	Total	5,809	37			

Diferencias significativas en función de los años, fueron encontradas solo para el hierro y el zinc, mientras que el aluminio, arsénico y manganeso tienen las mismas concentraciones a través de los tres años. Para determinar si esas diferencias son entre el año 2008 y los otros, se evaluó la significancia de un contraste. Los resultados son los que se presentan en el Cuadro 29, en el cual se determina que en el año 2008 (*Línea Base 2008*) la concentración de hierro y de zinc, son significativamente mayores que en los años 2002 y 2003 (*EIA Transmares*).

**Cuadro 29. Pruebas de contrastes**

		<b>Contrast</b>	<b>Value of Contrast</b>	<b>Std. Error</b>	<b>T</b>	<b>df</b>	<b>Sig. (2-tailed)</b>
Hierro	Assume equal variances	1	-31794.1071	5284.29644	-6.017	35	.000
	Does not assume equal variances	1	-31794.1071	2044.00545	-15.555	1.669	.008
Zinc	Assume equal variances	1	-98.4021	8.58709	-11.459	35	.000
	Does not assume equal variances	1	-98.4021	17.10893	-5.752	1.026	.105

*Conclusiones:*

- a. No fue implementado un proceso sistematizado para la toma de las muestras de los sedimentos.
- b. No fue implementado un proceso sistematizado para la medición de las variables, puesto que no en todas las muestras se midieron todas las variables y no se usaron los mismos límites de detección.
- c. En la comparación de las medias se determinó que, el hierro y el zinc tienen promedios significativamente mayores en las mediciones del 2008 (*Línea Base 2008*) respecto a las mediciones del 2002 y 2003 en conjunto, (*EIA Transmares*), mientras que el promedio de la concentración de aluminio, arsénico y manganeso no muestran diferencias significativas entre las dos fuentes de datos.

## **B. Protocolo**

### **6.4 *Protocolo para la Captación de Muestras, Preservación y Transporte al Laboratorio así como su Posterior Análisis***

El Laboratorio que realizó la toma de muestras y análisis fue Ecosistemas Proyectos Ambientales S. A., acreditado ISO 17025:2005 según OGA-LE 006-04 y con Registro en Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como Laboratorio Ambiental. La toma de muestra, transporte y preservación se basó en Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 21 edición.

#### **6.4.1 Captación de muestra (ver fotografías):**

La captación de muestras se realizó según procedimiento interno del laboratorio que consiste en:

1. El consultor seleccionó los puntos en donde se captó la muestra.
2. El consultor tomó las coordenadas del sitio utilizando equipo de GPS para identificar el punto de captación. Todo ello según objetivos del estudio.
3. El personal del laboratorio procedió a captar la muestra utilizando para ello el equipo adecuado.
4. Se captaron muestras simples.

Los recipientes donde se guardó el agua se lavó directamente con la muestra a captar, a excepción del recipiente para el análisis de aceites y grasas, que se tomó directamente sin lavado previo, según especificaciones.

Para muestras de profundidad en el lago de Guija se hizo uso de una botella tipo Van Dorn de 1 litro de capacidad.

En muestras de río se utilizó un brazo extensible para captar la muestra lo más alejado de la orilla, tomando en cuenta que es época lluviosa y que los ríos se encuentran crecidos por lo que es peligroso tratar de meterse al río.

En el campo fueron tomados como referencia los datos de: Potencial hidrógeno, Conductividad, Total de Sólidos disueltos, Oxígeno Disuelto, Temperatura. En el laboratorio fueron medidos nuevamente estos parámetros, y se procedió a corroborarlos.

**i. Envase y preservación según parámetros: (ver fotografías)**

La preservación de las muestras se realizó según los parámetros a analizar y que consiste en: (ver fotografías)

1. Para los parámetros fisicoquímicos se utilizó recipiente plástico y como preservante se usó hielera a aproximadamente 4°C.
2. Para los cianuros se usó recipiente de plástico, utilizando hidróxido de sodio como preservante.
3. Para los metales se usó recipiente de plástico utilizando ácido nítrico como preservante a manera de llevar a un pH menor de 2. Para metales totales se preservó en campo a pH menor de 2. Para metales disueltos se filtró en campo y luego se preservó para pH menor de 2.
4. Para los aceites y grasas se utilizó botella de vidrio ámbar especial y se preservó con ácido clorhídrico según especificaciones.

Todas las muestras fueron ingresadas al laboratorio el día de la toma de muestra para ser procesadas o preservadas según correspondiera.

**ii. Cadena de custodia: (según procedimiento de muestreo del laboratorio)**

Las muestras fueron captadas por personal del laboratorio con los procedimientos adecuados según las referencias mencionadas.

Los datos obtenidos en el sitio de muestreo fueron anotados en libreta de campo (Registro 044 interno del laboratorio) y la identificación fue colocada en cada uno de los recipientes en ese momento.

A su llegada al laboratorio los datos fueron ingresados del Registro 044 al Registro 020 (ambos internos del laboratorio<sup>1</sup>) que es la boleta de ingreso.

Para identificar los análisis a realizar estos datos son trasladados al Registro 010, en este último la muestra se ingresa con un número interno del laboratorio para su análisis por personal del área técnica. Este número aparecerá en los reportes finales de laboratorio.

---

<sup>1</sup> \*Todos los registros son internos, según el sistema de calidad del laboratorio ISO 17025:2005. Para la cadena de custodia, estos registros inician en el campo y terminan en el laboratorio.

**iii. Control de calidad específico para estas muestras:**

Para el control de calidad se utilizó lo siguiente:

- Se contó con un blanco de campo cada uno de los días que se efectuó el muestreo. Este blanco de campo se analizó como una muestra más con todos los parámetros, (3 blancos de campo), además de blanco de laboratorio.
- Se utilizó una muestra en duplicado la cual fue escogida por el consultor como muestra control, en todos los casos el duplicado fue analizado y en ninguno de los casos se encontraron desviaciones.
- Para los análisis de metales por Absorción Atómica se utilizaron muestras fortificadas y duplicados, así como blancos de laboratorio.
- Para el resto de parámetros se usaron al azar duplicados.

**iv. Personal calificado (ver fotografía):**

Desde la captación de la muestra hasta el análisis en laboratorio y la elaboración del informe, todos fueron realizados por personal capacitado en su campo.

**v. Análisis Realizados y metodología:**

Las muestras en donde se analizaron metales pesados por absorción atómica fueron digeridas por tecnología microondas según método SMWW 3030K, para analizar metales totales. En el Cuadro 30 se describen los métodos de análisis de cada uno de los parámetros físico-químicos.

Según literatura, los cianuros fácilmente liberables son equivalentes al cianuro WAD (Weak acid dissociable cyanides). Especies de cianuro liberadas con un pH moderado (pH 4,5) como HCN y CN-acuosos, la mayoría de los complejos de Cu, Cd, Ni, Zn, Ag y otros con constantes de disociación baja similares. Este método colorimétrico es aplicable en aguas naturales ya sean superficiales o subterráneas.

Para este trabajo se analizó el cianuro en ambas formas como fácilmente liberable y como cianuro libre. En ninguna muestra se obtuvo concentración arriba del mínimo detectable, aún si se toma en cuenta la sumatoria de ambos métodos.



**Cuadro 30. Métodos de Análisis de los Distintos Parámetros Físico-Químicos**

<b>Parámetros en agua</b>	<b>Metodología</b>
*Ph (laboratorio)	Electrodo (SMWW)4500H+
Temperatura (in situ)	In situ. Termómetro
Oxígeno disuelto (in situ)	In situ SMWW 4500 OG
*Conductividad (laboratorio)	Electrodo (SMWW) 2510B
DBO	Oxitop análogo. SMWW 5210 D
*DQO	Colorimétrico reflujó cerrado análogo SMWW 5220D
Nitrógeno total	Digestión Koroleff colorimétrico
Fósforo Total	Colorimétrico Merck análogo SMWW 4500 PE
*Aceites y Grasas	Gravimétrico EPA 1664
*Arsénico	Espectrofotometría de Absorción Atómica. UNICAM AN40117_E10/03C (generación de hidruros)
*Aluminio	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111D
*Cobre	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
*Cromo total	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111D
Cromo VI	Colorimétrico análogo SMWW 3500 Cr D
*Hierro	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
*Manganeso	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
Molibdeno	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
Selenio	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
*Níquel	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
*Mercurio	Espectrofotometría de Absorción Atómica Trampa fría UNICAM_40181_e10/03c
*Plomo	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
*Vanadio	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111D
*Zinc	Espectrofotometría de Absorción Atómica SMWW 3111B
Cianuro libre Cianuro fácilmente liberable	Colorimétrico Merck análogo: EPA 335.2
Fluoruros	Colorimétrico Merck análogo SMWW 4500 F-E
Amonio	Colorimétrico Merck análogo EPA 350.1 y APHA 4500 H3
Nitritos	Colorimétrico Merck análogo SMWW 4500 NO2 B
Nitratos	Colorimétrico Merck
Cloruros	Colorimétrico Merck análogo SMWW 4500 Cl-E
Dureza	Colorimétrico Merck (EDTA)
Sulfatos	Colorimétrico Merck yodato bórico.
Fosfatos	Colorimétrico Merck análogo SMWW 4500 P-E
Sólidos Disueltos totales	Gravimétrico SMWW 2540C
Sólidos totales	Gravimétrico SMWW 2540B
Sólidos Suspendidos	Gravimétrico SMWW2540 D
Clorofila a	Colorimétrico SMWW 10200H

SMWW: Standard Methods for the examination of water and Wastewater. 21 Edición.

EPA: Environmental Protection Agency. Oficina de Protección Ambiental USA.

**vi. Sedimentos: (ver fotografías)**

Captación y transporte:

Para la toma de sedimentos en el lago se utilizó draga tipo Ekman. Los sedimentos fueron transportados en recipiente plástico y en refrigeración. Los sedimentos fueron captados: uno en el centro del lago y el otro a la salida del mismo (sitio identificado como Desagüe).

Análisis de sedimentos:

Los sedimentos fueron secados y luego digeridos (digestión ácida). Posteriormente fueron leídos en el Espectrofotometría de Absorción Atómica, generación de hidruros y método de la trampa fría respectivamente, para metales; arsénico y mercurio. Basándose en la metodología para una solución acuosa. (Ver cuadro de metodología, para metales por Absorción Atómica).

**vii. Metales:**

Durante el primer monitoreo fueron analizados metales totales; en el segundo monitoreo se analizaron metales totales y en puntos clave se analizaron metales disueltos; en el tercer monitoreo se tomaron muestras para metales totales. En el último monitoreo fueron captadas también dos muestras de sedimentos.

**viii. Participantes:**

Durante los tres días de muestreo, funcionarios del MARN de Guatemala, de la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT) y de Unidad Ambiental de la Municipalidad de Metapán, participaron en la toma de muestras, medición de ciertos parámetros in situ y preservación de las mismas. Se adjunta una carta de la CTPT, haciendo costar su participación.

### Fotografías



Izquierda, toma de muestras en el río Ostúa, estación Las Cruces (aguas abajo); a la derecha, medición in situ de pH, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad, en el río Lempa, abajo del puente Masahuat.



Izquierda, hieleras donde se conservaron a alrededor de 4<sup>0</sup>C las muestras; a la derecha, preservación de las muestras



Izquierda, toma de muestras de sedimentos del lago con la draga Ekman; a la derecha, se observa el disco secchi, la botella Van Dorn, así como la muestra de sedimentos



Izquierda, lectura de parámetros in situ; a la derecha, técnicos y equipos del laboratorio de Ecosistemas



Noviembre de 2008

A QUIEN CORRESPONDA

A través de la presente manifiesto que durante los días, 25 de septiembre, 9 de octubre y 23 de octubre del 2008, participamos conjuntamente distintos funcionarios del Ministerio de Ambiente de Guatemala (MARN), de la Dirección del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), la Comisión Trinacional del Plan Trifinio (CTPT), Asociación de municipios Trifinio de El Salvador, y miembros de ONGs (ASIEM) en las giras de campo para realizar muestreos para análisis de calidad de Agua en la región del Lago de Guija en la Cuenca Alta del río Lempa.

Es importante mencionar que durante el muestreo, el cual estuvo a cargo del personal del Laboratorio de ECOSISTEMAS y bajo el acompañamiento de la Empresa Asesoría Basterrechea Asociados, se verifico que se cumplieron con todos los estándares y protocolos para el desarrollo de las mismas.

Con un atento, saludo

Mario Samuel Buch,  
Coordinador Programa para la promoción de la  
administración del agua como bien público regional  
**Comisión Trinacional del Plan Trifinio**

---

COMISIÓN TRINACIONAL DEL PLAN TRIFINIO  
1 avenida 7-01 zona 5, Esquipulas, Guatemala, C.A.  
Teléfono (502) 7943 2280 79 43 1581 FAX (502) 7943 1554  
[mbuch@sica.int](mailto:mbuch@sica.int) [www.sica.int/trifinio](http://www.sica.int/trifinio)

1



## 6.5 Comparación de Métodos de Análisis de Laboratorio

Los métodos de análisis de los distintos parámetros físico-químicos utilizados por FUSADES y por la SNET-MARN de El Salvador se indican en el Cuadro 31 siguiente y son similares a los utilizados en esta consultoría y que se describen en el Cuadro 2, anterior. Los límites de detección son también similares, a excepción del Cr, Pb, Cd, Pb, Al y Se. En el caso de Guatemala se trabajó absorción atómica con llamas (acetileno/aire y acetileno/óxido nitroso) para estos parámetros. La determinación del resto de parámetros algunos se hace por Absorción Atómica como el Mn y el Fe, y los otros métodos son muy equivalentes ya que ellos usan Hach y en la consultoría Merck-Hach, sin embargo, ambos tienen la misma base.

En cuanto a los resultados de los análisis reportados por FUSADES y por la SNET-MARN de El Salvador son similares. Los metales que reportan son el aluminio, esto se refuerza en las muestras de sedimento, así como también hierro. Se observa la diferencia entre los metales totales y los disueltos; la concentración de sólidos contribuye bastante a que éstos aumenten. Por ejemplo, en el primer monitoreo no se reportaron metales altos, pero en el segundo y tercero sí (aluminio y hierro). En el segundo monitoreo los caudales de los ríos muestreados fueron mayores a los observados en el primer muestreo.

Según comentarios de expertos internacionales, en España, donde se presentaba controversia porque algunos laboratorios reportaban resultados como metales disueltos y otros metales totales, se llegó a la creación de una normativa para regularlo. En ella se determina que aguas limpias con turbiedad baja se deben trabajar como metales disueltos, y las aguas con alta turbiedad y materia orgánica se deben trabajar como metales totales previo digestión.

**Cuadro 31. Métodos de Análisis utilizados por FUSADES y por la SNET-MARN**

Elemento	Límite de Detección	Unidad	Método de Análisis	Laboratorio	Comentarios Laboratorio Ecosistemas
Mercurio	0.001	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	
Arsénico	0.0007	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	
Cromo	0.0007	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	Mismo método pero no se llega a ese límite.
Cadmio	0.0004	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	Mismo método pero no se llega a ese límite.
Selenio	0.0009	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	Mismo método pero no se llega a ese límite.
Níquel	0.0012	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	
Plomo	0.0009	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	Mismo método pero no se llega a ese límite.
Aluminio	0.00012	mg/L	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	Mismo método pero no se llega a ese límite.

Cont. Cuadro 31.

Elemento	Límite de Detección	Unidad	Método de Análisis	Laboratorio	Comentarios Laboratorio Ecosistemas
Vanadio			Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	
Molibdeno			Espectrofotómetro de Absorción Atómica	FUSADES	
Cianuro Total	0.05	Ppm	Colorimetría	PROCAFE	
DQO	16.12	ppm O2	Colorimetría de Digestión con Dicromato de Potasio (HACH)	SNET/MARN	
DBO5	0.155	ppm O2	Método 5210 B, Electrométrico, SM	SNET/MARN	Método 5210C Respirométrico MERCK
Hierro Total	0.058	ppm Fe	Colorimétrico de la Fenantrolina SM3500Fe D	SNET/MARN	Se usa Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Manganeso Total	0.3	ppm Mn	Oxidación con Peryodato(HACH)	SNET/MARN	Se usa Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Nitratos	2.19	ppm NO3	Reducción con Cadmio (HACH)	SNET/MARN	
Nitritos	0.001	ppm NO2-N	Diazotización (HACH)	SNET/MARN	
Nitrógeno Amoniacal	0.06	ppm como NH3-N	Nessler (HACH)	SNET/MARN	
Sulfatos	0.048	ppm SO4	Colorimétrico (HACH), adaptado del Método 375.4 USEPA	SNET/MARN	
Zinc	0.077	ppm Zn	Método del Zincón (HACH)	SNET/MARN	Se usa Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Cobre	0.02	ppm Cu	Método del Bicinconinato (HACH)	SNET/MARN	
Cromo Hexavalente	0.038	ppm Cr	Método de la Difenilcarbazida (HACH)	SNET/MARN	
pH			Electrométrico	SNET/MARN	
Conductividad Eléctrica			Electrométrico	SNET/MARN	
Salinidad			Electrométrico	SNET/MARN	
Aceites y Grasas			Gravimétrico por extracción con solvente	SNET/MARN	
Fósforo Total			Digestión ácida con Persulfato de potasio (HACH), adaptado del SM 4500-P B	SNET/MARN	
Nitrógeno Total Kjeldahl			Nessler (HACH)	SNET/MARN	

Con digestión en plancha. (La digestión en plancha no permite recuperados tan altos como la digestión microondas).

## ***6.5 Protocolo sobre las estaciones de muestreo, parámetros físico-químicos a determinarse y la captación, preservación y transporte al laboratorio, así como su posterior análisis***

En base a la discusión de los valores de los parámetros físico-químicos de calidad del agua reportados en la línea base 2008 y su comparación con los resultados del estudio de EIA Transmares, así como del protocolo seguido para la toma de muestras, su preservación y transporte al laboratorio para su posterior análisis, a continuación se describe la propuesta para continuar el monitoreo sobre el Lago de Guija y sus tributarios.

### **Estaciones de muestreo:**

El monitoreo de la calidad del agua del lago de Guija deberá continuarse mensualmente por al menos uno año en las 16 estaciones, las cuales han sido identificadas plenamente en el presente informe (coordenadas y accesos)<sup>2</sup>. Con esa frecuencia, el estudio permitirá identificar la estacionalidad o eventos que puedan hacer variar los resultados (época seca-época de lluvias; usos del agua para riego (melón); actividad minera a largo plazo, entre otros factores).

### **Parámetros físico-químicos a medir:**

Los parámetros físico-químicos a determinar en agua deberán ser los mismos muestreados en el 2008, eliminando aquellos que se reportaron por debajo del límite de detección. En su lugar, agregar la determinación de metales en sedimentos, de aquellos que se reportaron durante el 2008, así como los mismos metales en peces. Adicionalmente, determinar, lecturas de disco secchi y clorofila en el lago.

### **Captación:**

Utilizar equipo adecuado de muestreo de acuerdo al tipo de muestra (botella Van Dorn, para tomar muestra de agua del lago a diferentes profundidades, draga Ekman para toma de sedimentos del lago). Las muestras deberán ser recolectadas, preservadas y transportadas de manera que su integridad no sea dañada. El laboratorio que realice la captación y haga el análisis deberá contar con un sistema de calidad ISO 17025:2005 debidamente acreditado por organismo acreditador, que garantice que trabaja bajo un sistema de gestión adecuado y mediante auditorías de calidad y procedimientos de aseguramiento de calidad pueden demostrar la validez de sus resultados. Además deberán contar con evidencia de cadena de custodia.

---

<sup>2</sup> Es recomendable que una persona del MARN que participó en el trabajo de campo, acompañe a quienes irán por primera vez, pues aún ge-referenciados algunos puntos son de difícil acceso.



La captación, preservación, y transporte de la muestra podrá basarse en la metodología del Standard Methods for the examination of water and wastewater (SMWW) en la última edición vigente o en normativas del país.

#### **Aseguramiento de la calidad de análisis:**

En el campo se deberá contar con blancos de campo y en laboratorio con blancos de laboratorio. Adicionalmente, se deberá de contar con duplicados de campo.

El laboratorio deberá tomar responsabilidad desde la toma de muestra hasta la elaboración del informe de laboratorio para ser entregado al consultor y éste realice las interpretaciones necesarias.

#### **Análisis de las muestras:**

La metodología de análisis deberá realizarse según análisis de SMWW, EPA, métodos de fabricante o bien métodos estandarizados o validados,

Los análisis de metales deberán realizarse como metales totales (con digestión), debido a que los ríos presentan altas concentraciones de turbiedad y materia orgánica, ya que a la mayoría confluyen aguas residuales de las poblaciones cercanas o industrias aledañas o actividades agrícolas intensivas.

En aguas limpias podrían utilizarse metodologías de metales disueltos, pero esto debe quedar muy bien aclarado al iniciar el monitoreo.

#### **Normas:**

Las normas contra las que deberán compararse los resultados deberán ser: COGUANOR 29001 y el Acuerdo 236-2006.

#### **Interpretación de los resultados:**

La interpretación de los resultados, por profesional con experiencia reconocida, y el análisis estadístico de los resultados, por profesional con experiencia reconocida.

## C. Presentación de Resultados (PowerPoint)

**LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE DE LA LAGUNA GUIJA, PREVIO AL INICIO DE OPERACIONES DE UN PROYECTO MINERO**

Elaborado para:  
CCAD/USAID/OIARN/DR-CAFTA

Preparado por: Manuel Basterrechea  
Noviembre del 2008

**OBJETIVOS:**

- i. Establecer la calidad del agua de la laguna de Guija en diferentes puntos.
- ii. Establecer la calidad del agua de los cuerpos de agua que desembocan sobre la laguna de Guija en territorios Guatemaltecos.
- iii. Identificar las empresas mineras a la laguna de Guija que puedan representar un riesgo de contaminación sobre las aguas de la laguna.
- iv. Georreferenciar los puntos de muestreo con GPS de precisión decimétrica para posteriores estudios.
- v. Toms de muestras, análisis de laboratorio e interpretación de resultados, confrontados con la línea base, especialmente en el vector agua, de acuerdo a los parámetros indicados en el Anexo I de los Términos de Referencia.

**METODOLOGÍA**

- Revisión de documentos;
- Planificación de la logística de las muestras y de la toma, preservación y transporte de las muestras de agua;
- Planificación de los análisis en el laboratorio (métodos de análisis para la determinación de los parámetros físicos y químicos);
- Muestras y determinaciones *in situ*;
- Determinaciones en el laboratorio;
- Elaboración de informes del laboratorio;
- Análisis de los valores de los parámetros físicos y químicos, y elaboración del informe de la consultoría, y;
- Presentación de los resultados al MARN.

Actividad	Inicio	Fin	Responsable
Revisión de documentos	12/11/08	15/11/08	Manuel Basterrechea
Planificación de la logística de las muestras y de la toma, preservación y transporte de las muestras de agua	16/11/08	18/11/08	Manuel Basterrechea
Planificación de los análisis en el laboratorio (métodos de análisis para la determinación de los parámetros físicos y químicos)	19/11/08	21/11/08	Manuel Basterrechea
Muestras y determinaciones <i>in situ</i>	22/11/08	24/11/08	Manuel Basterrechea
Determinaciones en el laboratorio	25/11/08	27/11/08	Manuel Basterrechea
Elaboración de informes del laboratorio	28/11/08	30/11/08	Manuel Basterrechea
Análisis de los valores de los parámetros físicos y químicos, y elaboración del informe de la consultoría, y	01/12/08	03/12/08	Manuel Basterrechea
Presentación de los resultados al MARN	04/12/08	06/12/08	Manuel Basterrechea

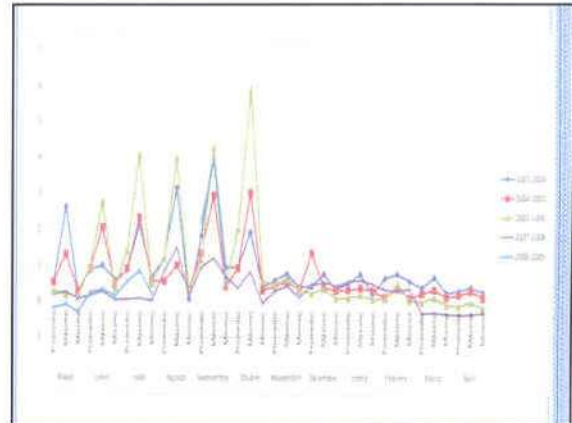


**PRODUCTOS**

- a. Documento que contenga la línea base de la laguna y los cuerpos de agua que desembocan en dicha laguna, con los datos de laboratorio e interpretación de muestras. Esta información debe permitir conocer a profundidad la calidad del agua, previo al inicio de las operaciones mineras que se ubican a seis kilómetros de distancia.
- b. Elaboración de un protocolo para el levantamiento de la Línea Base en cuerpos de agua expuestos a explotaciones mineras
- c. Presentación a la Dirección General de Gestión Ambiental y el Despacho Superior del levantamiento e interpretación de la información en formato power point.

## A. LÍNEA BASE 2008

- A.1 Actividades en el área de influencia
  - Minería
  - Cultivo de Melón
  - Manejo inadecuado del suelo en la cuenca y Extracción de materiales de los ríos
  - Descarga de aguas residuales
  - Fabricación de cemento
  - Jaulas de Peces
  - Exploración Geotérmica



## A.2 DISCUSIÓN DE LOS PARÁMETROS

- **pH:** Los valores de pH estuvieron por arriba del neutro (7). Los valores de pH los ríos fueron bastante similares, pero menores a los reportados en la superficie de las tres estaciones del lago. Los valores mayores de pH se reportaron en la acequia que drena aguas termales. Los valores de pH reportados en el muestreo de abril del 2008 (época seca) fueron mayores a los observados en los muestreos de septiembre y octubre del 2008 (época de lluvias).
- **Temperatura:** Los valores de temperatura de los ríos, como era de esperarse, fueron menores a los del lago. Los valores de temperatura en los ríos fueron influenciados por la hora de muestreo; los ríos en el Salvador fueron muestreados entre las 6 y 9 a.m., y los de Guatemala, por entre 1 y 5 p.m. El lago fue muestreado entre las 9 y 12 a.m. Los valores de temperatura en la acequia fueron mayores a los de los ríos, debido a que drena aguas termales.

## PARÁMETROS MEDIDOS IN SITU

- **Oxígeno Disuelto:** Los valores de oxígeno disuelto en los ríos y en la superficie del lago fueron alrededor de 5 mg/litro. Los menores valores fueron reportados en el intermedio y fondo del lago, lo cual evidencia que el lago estuvo estratificado durante los tres días de muestreo. Los valores de oxígeno disuelto reportados en los ríos reflejan el aporte de materia orgánica.
- **Conductividad:** La acequia reportó los valores mayores de conductividad. Los ríos Lempa y Ostúa (aguas arriba) reportaron los menores valores de conductividad. Las quebradas Tuncushapa y Las Tablas reportaron valores intermedios, esta última es influenciada por la descarga de aguas termales. Los valores de conductividad reportados en el muestreo de abril del 2008 (época seca) fueron mayores a los observados en los muestreos de septiembre y octubre del 2008 (época de lluvias).

## PARÁMETROS FÍSICOS

- **Sólidos Disueltos:** Los valores de sólidos disueltos, como era de esperarse, siguen el mismo comportamiento que la conductividad, aunque menos marcados, excepto en la estación acequia, que reportó los valores más altos.
- **Sólidos Suspendedos:** Los ríos Angue, Lempa y Ostúa reportaron los valores mayores de sólidos suspendidos, debido al mayor arrastre de sólidos en los procesos de precipitación-escorrentía. Las cuencas tributarias de estos ríos son bastante mayores que el resto de ríos y quebradas. El agua superficial del lago, así como los ríos Morán, aguas arriba y la quebrada Tempisque reportaron en los tres muestreos valores iguales o menores al límite de detección (10 mg/litro).
- **Sólidos Totales:** La acequia reportó valores altos de sólidos totales, debido al aporte de los sólidos disueltos, así como los ríos Lempa, Ostúa y Angue, por la contribución de los sólidos suspendidos.

## PARÁMETROS QUÍMICOS

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Los valores de DBO de todos los cuerpos de agua muestreados estuvieron por debajo del límite de detección (10 mg/litro). En el muestreo de abril del 2008 (época seca) se reportaron valores por arriba del límite de detección. El río San José reportó en abril del 2008 un valor similar al de las aguas residuales domésticas; este río recibe las aguas residuales de Metapán. Los ríos Lempa y Ostúa reportaron también valores altos de DBO.
- **Demanda Química de Oxígeno:** La mayoría de los valores de DQO estuvieron por debajo del límite de detección (25 mg/litro), excepto los ríos más caudalosos (Lempa, Ostúa y Angue). Sin embargo, estos fueron menores a los reportados en la época seca (abril del 2008).
- **Aceites y Grasas:** Los valores de aceites y grasas de todos los cuerpos de agua muestreados estuvieron por debajo del límite de detección (5 mg/litro), tanto en el muestreo de abril, como en septiembre y octubre del 2008.
- **Dureza Total:** La dureza del agua es un reflejo de la naturaleza geológica de la cuenca, ya que el principal contenido de metales alcalinotérreos proviene de la disolución de minerales o escorrentía de suelos alcalinos. Los valores de dureza total de los ríos Lempa y Ostúa fueron menores a las del resto de ríos, quebradas, inclusive a los del lago Guija y la laguna Metapán.

## NUTRIENTES

- **Nitrógeno Total:** El lago Guija, la laguna Metapán, las quebradas Tancushapa, Tempisque y Las Tablas y la acequia reportaron valores de nitrógeno total por debajo del límite de detección (1 mg/litro). Los ríos Angue, San José, Lengua y Ostúa, aguas arriba, reportaron en alguno de los tres muestreos valores de nitrógeno total por arriba del límite de detección, probablemente por la descarga de aguas residuales y residuos de fertilizantes.
- **Amonio:** Los valores de amonio reportados en la quebrada Tempisque y en el río Morán fueron los menores, debido a que son los que tienen menos intervención de actividades humanas. En las muestras del medio y fondo del lago de Guija los valores de amonio aumentaron con respecto a la profundidad. Estos valores y los del río San José fueron los mayores reportados entre septiembre y octubre. Los valores de amonio reportados en abril del 2008 fueron en general menores a los reportados entre septiembre y octubre del 2008.
- **Nitritos:** La aparición de nitritos en un cuerpo de agua es posterior a los picos de amonio en descargas contaminantes. Los valores de nitritos reportados fueron menores en las muestras superficiales del lago de Guija, la laguna de Metapán y en el río Morán, inclusive por debajo del límite de detección (0.03 mg/litro). En general, los valores de nitritos reportados en abril del 2008 fueron menores a los reportados entre septiembre y octubre del 2008.

## NUTRIENTES

- **Nitratos:** Los nitratos provienen de la descomposición de la materia nitrogenada de las aguas residuales y de fertilizantes. Los valores de nitratos fueron superiores a los de nitritos en todas las muestras. Nuevamente, los valores reportados en abril del 2008 fueron menores a los reportados en septiembre y octubre del mismo año, excepto en el río San José, que como se ha indicado recibe las aguas residuales municipales de Metapán.
- **Fósforo:** El fósforo al igual que el nitrógeno son esenciales para el crecimiento de algas, y la limitación de las cantidades de estos elementos es normalmente el factor que controla la tasa de crecimiento. Los mayores valores de fósforo total fueron reportados en el segundo muestreo, cuando se presentaron los mayores caudales, y en los ríos más caudalosos (Lengua, Ostúa y Angue). En general, en las muestras superficiales del lago de Guija se reportaron los menores valores de fósforo total.
- **Fosfatos:** En general, los fosfatos siguieron el mismo comportamiento que el fósforo total. Sin embargo, en el segundo muestreo, cuando se presentaron los caudales mayores en los ríos, la concentración de fosfatos fue similar a la de los otros dos muestreos. Es decir, que la mayoría del fósforo en el segundo muestreo fue particulado.

## OTROS PARÁMETROS QUÍMICOS

- **Cloruros:** Los valores mayores de cloruros fueron reportados en la acequia, debido al aporte de aguas termales. La quebrada Tancushapa reportó también valores mayores a la del resto de estaciones. Los valores altos de la quebrada Las Tablas y del río Morán aguas abajo se debe a que estos reciben el aporte de la acequia y de la quebrada Tancushapa. Los valores de cloruros en el lago de Guija aumentaron con respecto a la profundidad. Los menores valores de cloruros se reportaron en la laguna de Metapán y en el río Morán, aguas arriba.
- **Fluoruros:** La mayoría de los valores de fluoruros estuvieron por debajo del límite de detección (0.1 mg/litro), excepto en la acequia en los tres muestreos y en el Ostúa en las tres estaciones (aguas arriba, intermedio y aguas abajo).
- **Sulfatos:** Todos los valores de sulfatos estuvieron por debajo del límite de detección (25 mg/litro), excepto en la acequia en el último muestreo de octubre del 2008. Los valores de sulfatos reportados en abril del 2008 fueron bastante mayores a los de septiembre y octubre del 2008.

## METALES

- **Arsénico:** Excepto en el río Morán aguas arriba y la quebrada Tempisque, todos los demás ríos y quebradas, así como el lago de Guija y la laguna de Metapán reportaron valores de arsénico. Sin embargo, la mayoría de los valores reportados estuvieron cerca del límite de detección (0.02 mg/litro), excepto en la acequia donde se reportaron valores bastante más altos. Este aporte contribuyó a que se reportaran valores intermedios en la quebrada Las Tablas y en el río Morán, aguas abajo. No se reportan mayores diferencias entre los valores de abril del 2008 y los de septiembre y octubre del mismo año.
- **Aluminio:** Aluminio se reportó en mayores concentraciones en el río Ostúa, aún aguas arriba de la influencia de las descargas de la quebrada Las Tablas, afluente del río Morán. El lago de Guija en las tomas del fondo reportaron también concentraciones comparativamente altas. La acequia y la quebrada Tancushapa reportaron valores de aluminio similares al resto de quebradas y ríos de la cuenca. Los valores reportados de aluminio en abril del 2008 estuvieron por debajo de los observados entre septiembre y octubre del mismo año.
- **Hierro:** Los ríos de mayor caudal fueron los que reportaron las mayores concentraciones de hierro. La laguna de Metapán y el lago de Guija reportaron las concentraciones más pequeñas de hierro. El hierro aumentó con respecto a la profundidad del lago. Las concentraciones de hierro en abril del 2008 fueron menores a las reportadas en septiembre y octubre del mismo año.

## METALES

- **Manganeso:** Los ríos y la acequia fueron los únicos que reportaron concentraciones de manganeso por arriba del límite de detección. Las quebradas reportaron valores por debajo del límite de detección. El lago de Guija reportó valores de manganeso sólo en el fondo e intermedio.
- **Zinc:** El zinc se reportó en todas las estaciones del último muestreo, pero sus valores fueron apenas por arriba del límite de detección (0.01 mg/litro). En abril del 2008, todos los valores estuvieron por debajo del límite de detección.
- **Otros metales:** El cianuro total y el fácilmente liberable, el cromo, el selenio y el mercurio se reportaron arriba de sus límites de detección, entre 1 y 4 veces de las 54 muestras tomadas. Los valores de cianuro total y fácilmente liberable podrían considerarse por interferencia. El selenio reportado arriba del límite de detección pudo ser también por interferencias que podrían ser parecidas a compuestos de naúfe, ya que Transares reportó solo trazas. El cromo podría ser al digerir la muestra. Estas suposiciones sólo se aclararían con muestreos en diferentes épocas del año o comparándolos con los otros datos (ELA), lo cual se hará posteriormente en este informe.

## A.3 DEL ANALISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

### Fuentes de datos:

1. Estudio de Impacto Ambiental de la minera. 121 parámetros físico-químicos y bacteriológicos de calidad del agua, medidos durante el 2002, 2003 y 2005, en 26 estaciones de la cuenca del lago de Guija, en un área vecina a las actividades mineras.

2. Línea de base 2008 del MARN. 36 parámetros físico-químicos y bacteriológicos medidos en el 2008 en 20 puntos de muestreo de la cuenca del lago de Guija, en un área más amplia ya que abarca El Salvador.



**Variables analizadas:**

- pH;
- Sólidos Disueltos;
- Sólidos Suspendedos;
- Aluminio;
- Arsénico;
- Hierro;
- Manganeso; y
- Zinc.

Los metales fueron seleccionados ya que fueron los únicos que presentaron concentraciones arriba del límite de detección.

**Análisis exploratorio de los datos:**

1. Los datos del EIA, se generaron sin un proceso sistematizado, tanto en el tiempo como en el espacio

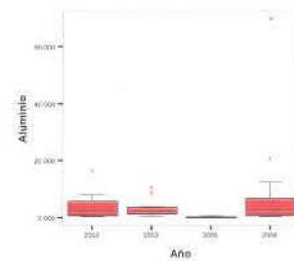
Mes	Año			Total
	2002	2003	2005	
1		7	17	24
2		10	12	22
3		11		11
4		8		8
5		7		7
6		9		9
7		7		7
8		7		7
9		9		9
10	5			6
11	9			9
12	9			9
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>75</b>	<b>29</b>	<b>128</b>

2. Diversos valores reportados como cero

3. Diferentes límites de detección para el mismo parámetro, por ejemplo:

Variable	Valor	No. de casos eliminados
Aluminio Total	<0.015	1
	<0.2	10
	<0.200	2
	<0.450	2
	<0.5	22
	<0.500	9
	<0.999	6
	<1	5
	<10	5

4. Datos atípicos, por ejemplo:



5. Estadísticas descriptivas de las variables, luego del proceso de "limpieza de los datos"

Variable	Fuente	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
pH	EIA	99	7.23	0.444	0.045
	LB 2008	50	7.76	0.262	0.037
Sólidos	EIA	100	733.19	592.487	59.249
Disueltos	LB 2008	50	217.16	107.554	15.210
Sólidos Totales	EIA	60	909.98	645.403	83.321
	LB 2008	50	305.76	210.246	29.733
	EIA	56	1.65	2.257	0.302
Aluminio	LB 2008	38	3.84	3.919	0.636
	EIA	95	0.18	0.209	0.021
Arsénico	LB 2008	44	0.01	0.028	0.004
	EIA	76	1.65	1.721	0.197
Hierro	LB 2008	43	1.69	1.837	0.280
	EIA	106	0.33	0.615	0.060
Manganeso	LB 2008	28	0.11	0.081	0.015
	EIA	81	0.03	0.047	0.005
Zinc	LB 2008	34	0.06	0.052	0.009

6. Análisis de varianza, considerando como fuente de variación, los años en que se tomaron las muestras, con cuatro niveles: 2002, 2008, 2005 y 2003. Se analizó si el 2008 presentó diferencias significativas respecto a los otros años (2002, 2003 y 2005)

Variable	Fuente de Variación	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pH	Between Groups	10.217	3	3.406	22.744	0.000
	Within Groups	21.712	145	0.150		
	Total	31.929	148			
Sólidos Disueltos	Between Groups	5.916	3	2.972	198.9	0.000
	Within Groups	35.279	146	0.241		
	Total	41.196	149			
Sólidos Totales	Between Groups	10.725	3	3.575	455.5	0.000
	Within Groups	25.912	109	0.238		
	Total	36.637	112			
Aluminio	Between Groups	207.264	3	69.088	8.200	0.000
	Within Groups	790.011	90	8.778		
	Total	997.275	93			
Arsénico	Between Groups	1.012	3	0.337	10.048	0.000
	Within Groups	4.043	125	0.032		
	Total	5.055	128			
Hierro	Between Groups	37.731	3	12.577	4.363	0.006
	Within Groups	326.831	115	2.842		
	Total	364.562	118			
Manganeso	Between Groups	2.754	3	0.918	2.413	0.070
	Within Groups	38.649	130	0.297		
	Total	41.403	133			
Zinc	Between Groups	0.129	3	0.043	21.538	0.000
	Within Groups	0.177	111	0.002		
	Total	0.306	114			

**Resultados:**

- a. Diferencias significativas fueron encontradas en todas las variables.
- b. Para determinar si esas diferencias son entre el año 2008 y los otros años, se evaluó la significancia del contraste correspondiente, con lo que se obtienen que:
  - El pH y la concentración de aluminio tienen promedios mayores en la medición del año 2008 (Línea Base), que en las mediciones de los años 2002, 2003 y 2005 en conjunto (EIA).
  - Los sólidos disueltos, sólidos totales, el arsénico y el manganeso tienen promedios menores en las mediciones del año 2008 (Línea Base), que en las mediciones de los años 2002, 2003 y 2005 en conjunto (EIA).
  - El hierro y el zinc tienen promedios iguales en la medición del año 2008 (Línea Base), con las mediciones de los años 2002, 2003 y 2005 en conjunto (EIA).

**A.4 DEL ANALISIS DE LOS DATOS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS:**

**Análisis exploratorio de los datos:**

Igual procedimiento fue implementado, con los resultados siguientes:

1. Estadísticas descriptivas de las variables, luego del proceso de "limpieza de los datos".

Fuente	Variabile	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
LB 2008	Aluminio	2	4493.00	8521.00	6507.0000	2848.22611
	Arsénico	2	1.53	2.10	1.8150	.40305
	Hierro	2	21395.00	23190.00	22291.5000	1270.67089
	Manganeso	2	410.00	777.00	593.5000	256.50819
	Zinc	2	51.00	68.00	59.5000	12.02082
EIA	Aluminio	33	266.00	7210.00	3908.3030	1777.35761
	Arsénico	30	72	14.80	6.0328	3.29146
	Hierro	36	501.00	17300.00	6643.4444	3608.34074
	Manganeso	27	32.80	1360.00	461.6963	352.02727
	Zinc	36	1.45	24.90	10.1567	5.48191

2. Análisis de varianza para determinar el efecto de los años en la concentración media de cada una de los parámetros estudiados.

Variable	Fuente de Variación	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Aluminio	Between Groups	12,785,740	2	6,392,870	1.674	0.117
	Within Groups	109,152,722	32	3,411,023		
	Total	121,938,462	34			
Arsénico	Between Groups	.44	2	.22	2.082	0.143
	Within Groups	.324	29	.011		
	Total	.764	31			
Hierro	Between Groups	458,948,050	2	229,474,025	18.143	0.000
	Within Groups	452,319,224	34	13,292,406		
	Total	921,267,274	36			
Manganeso	Between Groups	32,348	1	32,348	0.266	0.611
	Within Groups	3,289,348	27	121,828		
	Total	3,321,696	28			
Zinc	Between Groups	4.615	2	2.307	67.014	0.000
	Within Groups	1.184	34	.035		
	Total	5.800	36			

**Conclusiones:**

- 1. No fue implementado un proceso sistematizado para la toma de las muestras de los sedimentos.
- 2. No fue implementado un proceso sistematizado para la medición de los parámetros, puesto que no en todas las muestras se midieron todas las parámetros ni se usaron los mismos límites de detección.

**Resultados:**

- a. En la comparación de las medias se determinó que, el hierro y el zinc tienen promedios significativamente mayores en las mediciones del año 2008 (Línea Base), respecto a las mediciones de los años 2002 y 2003 en conjunto (EIA).
- b. El promedio de la concentración de aluminio, arsénico y manganeso no muestran diferencias significativas entre las dos fuentes de datos.

**B. PROTOCOLO PARA EL LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE EN CUERPOS DE AGUA EXPUESTOS A EXPLOTACIONES MINERAS**

- o El Laboratorio que realizó la toma de muestras y análisis fue Ecosistemas Proyectos Ambientales S. A., acreditado ISO 17025:2005 según OGA-LE 006-04 y con Registro en Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como Laboratorio Ambiental.

**CAPTACIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS:**

- Se capturaron muestras de agua principalmente y, adicionalmente 2 de sedimentos en el lago en el último monitoreo, en los puntos seleccionados por el consultor a cargo del proyecto.
- Las muestras fueron captadas, preservadas y transportadas según lo estipula el SMWW 21 ed.
- Se siguió una cadena de custodia según los protocolos internos de laboratorio acreditado ISO 17025:2005
- En cuanto a análisis de campo se efectuaron: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, TDS.
- En el lago de Guja se realizó la captación de muestras de agua por medio de botella Van Dorn a varias profundidades y de sedimentos con la draga Ekman
- Cada parámetro se captó en un recipiente adecuado, con los preservantes adecuados y fue trasladado en refrigeración para su ingreso a laboratorio en donde fueron analizados dentro del tiempo que cada parámetro requiere.

**ANÁLISIS REALIZADOS:**

- Los análisis físicoquímicos fueron realizados según protocolo de laboratorio (ver cuadro).
- Los análisis de metales se efectuaron por Espectrofotometría de absorción atómica, previa digestión en horno microondas para poder ser reportados como metales totales.
- Los análisis de arsénico y mercurio fueron trabajados por generación de hidruros y método de la trampa fría para poder ser reportados a nivel de trazas.
- Se tomaron en dos puntos análisis de metales disueltos o sea que fueron filtrados en el campo y en ellos se evidencia la diferencia entre metales totales y metales disueltos en un mismo cuerpo de agua en muestras captadas en tiempos relativamente iguales.

Estación	Monitoreo
Estación 1	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 2	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 3	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 4	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 5	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 6	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 7	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 8	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 9	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 10	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 11	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 12	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 13	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 14	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 15	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 16	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 17	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 18	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 19	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 20	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 21	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 22	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 23	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 24	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 25	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 26	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 27	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 28	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 29	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 30	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 31	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 32	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 33	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 34	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 35	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 36	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 37	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 38	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 39	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 40	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 41	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 42	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 43	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 44	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 45	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 46	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 47	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 48	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 49	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 50	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 51	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 52	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 53	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 54	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 55	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 56	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 57	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 58	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 59	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 60	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 61	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 62	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 63	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 64	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 65	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 66	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 67	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 68	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 69	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 70	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 71	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 72	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 73	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 74	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 75	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 76	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 77	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 78	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 79	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 80	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 81	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 82	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 83	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 84	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 85	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 86	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 87	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 88	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 89	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 90	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 91	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 92	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 93	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 94	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 95	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 96	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 97	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 98	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 99	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)
Estación 100	Monitoreo de Sedimentos (SMWW 21 ed.)

**CADENA DE CUSTODIA:**

- o Dentro del seguimiento entre la captación, transporte y análisis de las muestras se estableció una cadena de custodia, esto es la trazabilidad de cada muestra captada hasta el ingreso al laboratorio y su posterior reporte de análisis, mediante diferentes registros del laboratorio.

**CONTROL DE CALIDAD:**

- o Se analizaron blancos de campo.
- o Se realizaron duplicados en muestras clave
- o Dentro del laboratorio se efectuaron blancos de laboratorio, duplicados y en el caso de los metales se utilizaron además de los anteriores muestras fortificadas de seguimiento.

**RECOMENDACIONES**

- o **Estaciones de muestreo:**  
El monitoreo de la calidad del agua del lago de Guja deberá continuarse mensualmente por al menos uno año en las 36 estaciones, las cuales han sido identificadas plenamente en el presente informe (localizadas y accesos). Con esa frecuencia, el estado permitirá identificar la estacionalidad o eventos que puedan hacer variar los resultados (época seca-época de lluvias; usos del agua para riego (inclin); actividad minera a largo plazo, entre otros factores).
- o **Parámetros físico-químicos a medir:**  
Los parámetros físico-químicos a determinar en agua deberán ser los mismos monitoreados en el 2008, eliminando aquellos que se reportaron por debajo del límite de detección. En su lugar agregar la determinación de metales en sedimentos, de aquellos que se reportaron durante el 2008, así como los mismos metales en peces. Adicionalmente, determinar lecturas de disco seco y clorofila en el lago.

### RECOMENDACIONES

- o **Captación:**  
Utilizar equipo adecuado de muestreo de acuerdo al tipo de muestra (botella Van Dorn, para toma muestra de agua del lago a diferentes profundidades, draga Ekman para toma de sedimentos del lago). Las muestras deberán ser recolectadas, preservadas y transportadas de manera que su integridad no sea dañada. El laboratorio que realice la captación y haga el análisis deberá contar con un sistema de calidad ISO 17025:2005 debidamente acreditado por organismo acreditador, que garantice que trabaja bajo un sistema de gestión adecuado y mediante auditorías de calidad y procedimientos de aseguramiento de calidad pueden demostrar la validez de sus resultados. Además deberán contar con evidencia de cadena de custodia.
- o La captación, preservación, y transporte de la muestra podrá basarse en la metodología del Standard Methods for the examination of water and wastewater (SMWW) en la última edición vigente o en normativas del país.

### RECOMENDACIONES

- o **Aseguramiento de la calidad de análisis:**  
En el campo y en el laboratorio se deberá contar con blancos. Adicionalmente, se deberá de contar con duplicados de campo. El laboratorio deberá tomar responsabilidad desde la toma de muestra hasta la elaboración del informe de laboratorio para ser entregado al consultor y éste evaluar las interpretaciones necesarias.
- o **Análisis de las muestras:**  
La metodología de análisis deberá realizarse según análisis de SMWW, EPA, métodos de laboratorio o bien métodos estandarizados o validados. Los análisis de metales deberán evaluarse como metales totales (con digestión), debido a que los ríos presentan altas concentraciones de turbiedad y materia orgánica, ya que a la mayoría pertenecen aguas residuales de las poblaciones cercanas o industriales adyacentes o actividades agrícolas intensivas. En aguas limpias podrían utilizarse metodologías de metales disueltos, pero esto debe quedar muy bien aclarado al iniciar el monitoreo.

### RECOMENDACIONES

- o **Normas:**  
Las normas contra las que deberán compararse los resultados deberán ser COGUANOR 20001 y el Acuerdo 236-2006.
- o **Interpretación de los resultados:**  
La interpretación de los resultados, por profesional con experiencia reconocida, y el análisis estadístico de los resultados, por profesional con experiencia reconocida.



## Anexos

## **ANEXO 1.**

### **Resultados de los Análisis de los Parámetros Físico-Químicos (tres muestreos)**

## **ANEXO 2.**

**Datos de Calidad del Agua y Niveles (caudales) en el área de Influencia  
de la consultoría generados por otras entidades**