

## **CONTAMINACIÓN DE LA REPRESA DE SAN JACINTO (Tarija, Bolivia) INTERPRETACIÓN DEL INFORME TÉCNICO DE LA UNAM**

Medina H. Richard Ivan<sup>1</sup>; Smolders Alfons J.P.<sup>2</sup>; Lebrato Martinez Julian<sup>3</sup>; Coronel S. Flor<sup>4</sup>; Orozco Maybeth<sup>4</sup>  
Grupo TAR I+D. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho – Universidad de Sevilla.

### **RESUMEN**

La interpretación del "Diagnostico de la Calidad del Agua, Sedimentos, Jacintos y Peces del Lago San Jacinto", estudio encargado al "Laboratorio de Proyectos Ambientales de la Universidad Nacional Autónoma de México", denominado "Informe de la UNAM", ha brindado criterios preliminares para identificar las fuentes de contaminación y correlación entre los diferentes grupos de constituyentes de calidad del agua.

Trazas de plaguicidas, contaminantes nutricionales (nitratos y fosfatos) y carga orgánica en la represa, parecen tener un origen común y obvio, fuentes difusas relacionadas con las actividades agrícolas y el arrastre de materia orgánica hacia la represa por las escorrentías. La presencia de trazas de plaguicidas clorados en la mayoría de los puntos de muestreo, no significa necesariamente contaminación por plaguicidas en la represa ni sus tributarios, pues estos no sobrepasan las normativas nacionales e internacionales para agua potable, a excepción del heptacloro que solo para las muestras tomadas a la entrada y salida de la Planta potabilizadora de San Jacinto, los niveles superan levemente los valores guías, pero no los máximos permisibles.

Metales pesados como el plomo, están asociados a las partículas sedimentables y en suspensión, en estado insoluble y posiblemente en forma de minerales piritosos originados en las cabeceras de la cuenca, relacionados con afloraciones minerales (por ejemplo Cerro Bella Vista entre la comunidad de Bella Vista y Tolomosa). Los niveles de plomo detectados en muestras de agua, peces y sedimentos, son preocupantes, sin embargo la falta de detalles en los reportes analíticos no permite sacar conclusiones definitivas.

La presencia de coliformes fecales no parece tener relación con la carga orgánica ni nutrientes, y es probable que sea originada el intenso uso de la represa y sus márgenes (actividades turísticas, deportivas, recreativas, domésticas, ganadería, etc.). La presencia de parásitos en el fondo de la represa se explica por su capacidad de sedimentación y acumulación. En general la calidad bacteriológica del agua analizada es igual o mayor que la otros cuerpos de agua de la región.

De acuerdo a las normas internacionales, el agua de la represa y tributarios, no plantea limitaciones para su uso en riego. Para su uso como agua potable, se debe estudiar nuevas ubicaciones de obras de toma y cambios en el proceso de potabilización.

Se recomienda precaución en el consumo de la pesca, mientras no se profundicen los estudios y diagnósticos correspondientes.

Por sus características preliminares el informe de la UNAM, debe ser considerado como una referencia para iniciar estudios y diagnósticos mas profundos y precisos a corto plazo, que conlleven a tomar decisiones definitivas sobre el uso del agua de estas fuentes y el diseño de acciones de emergencia y mitigación.

### **PALABRAS CLAVES**

Plaguicidas, Metales Pesados, Multivariable, Dendrograma, Disimilitud, Contaminación Microbiológica, Carga Orgánica, Difusión, Contaminación Difusa; Principales Componentes; Plano Factorial, Eutrofización.

### **ABREVIACIONES**

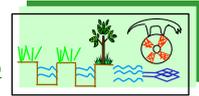
RMCH: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333; EPA: Agencia de Protección Ambiental de EEUU; FAO: Organización Americana para la Agricultura; OMS: Organización Mundial de la Salud.; NB 512: Norma Boliviana Agua Potable Requisitos; NB 688: Norma Boliviana de Proyectos de Tratamiento de Aguas Residuales

<sup>1</sup> Doctor por la Universidad de Sevilla. Profesor de Maestría en Ingeniería del Agua. Universidad de Sevilla – España y UAJMS. Grupo TAR – Laboratorio RIMH – Aprotéc. ([rimh7@hotmail.com](mailto:rimh7@hotmail.com))

<sup>2</sup> Doctor por la Universidad de Nijmegen. Departement of Aquatic Ecology and Environmental Biology, Radboud University Nijmegen, Holanda ([A.Smolders@Science.ru.nl](mailto:A.Smolders@Science.ru.nl))

<sup>3</sup> Doctor por la Universidad de Sevilla. Profesor de la Universidad de Sevilla. Director del Grupo TAR y Maestría en Ingeniería del Agua. US.

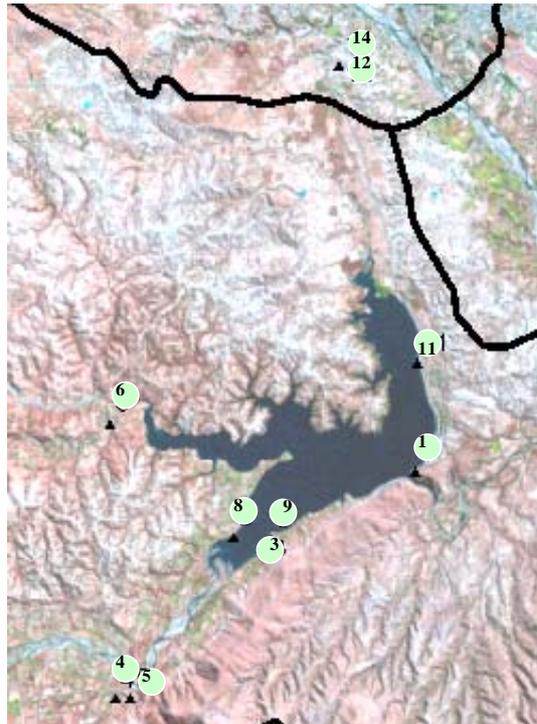
<sup>4</sup> Grupo TAR – Tarija, Masterandos del Programa de Maestría en Ingeniería del Agua de la Universidad de Sevilla – España



## INTRODUCCION

Las cuencas de Tolomosa y Vitoria son parte de la Reserva Biológica Cordillera de Sama y se convierten en las principales fuentes de agua de la ciudad de Tarija, mas de 20 comunidades asentadas en el interior de las cuencas y un número similar en el valle Central de Tarija aguas abajo de la represa de San Jacinto. Ver represa en Gráfica 1.

Grafica N°1.- Represa de San Jacinto y Puntos de Muestreo



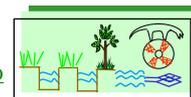
La Cuenca de Tolomosa es la principal fuente de agua para el área rural, las aguas de esta cuenca alimentan el embalse San Jacinto, desde donde se genera energía hidroeléctrica, agua potable para abastecer parte de la demanda de la ciudad de Tarija, agua de riego para las comunidades localizadas aguas abajo del embalse que abastece la importante industria vitivinícola que se desarrolla en el Valle Central.

El embalse también es un lugar turístico importante y centro del desarrollo urbano de la zona.

Sin embargo, estas fuentes de agua están sujetas a diversas presiones y alteraciones provocadas por la acción del hombre como ser: la reducción paulatina de la cobertura vegetal por la deforestación, el sobre pastoreo y los incendios forestales que amenazan continuamente con deteriorar las fuentes de agua, lo que está poniendo en serio riesgo la continuidad del servicio ambiental de provisión de agua.

Las actividades agrícolas, con el uso no controlado de agroquímicos, plaguicidas y el deficiente saneamiento básico de la cuenca también suponen un deterioro permanente de la calidad hídrica.

Tomando en cuenta la vulnerabilidad de la población del Valle Central de Tarija ante la escasez, cuantitativa y cualitativa del recurso hídrico, el proyecto PRO AGUAS y la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija COSAALT LTDA, han iniciado una serie de acciones que tiende a mitigar y controlar el deterioro y disminución del recurso hídrico, siendo una de ellos el "Diagnostico de la Calidad del Agua, Sedimentos, Jacintos y Peces del Lago San Jacinto", estudio encargado al Laboratorio de Proyectos Ambientales de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.



## MATERIALES Y METODOS

### *Muestreo y Análisis de Laboratorio*

El Laboratorio de Proyectos Ambientales de la UNAM, ha realizado el muestreo de agua en diferentes sitios de la represa, ríos Tolomosa, Tolomosita, Mena y la Vitoria (Ver Gráfica N°1), así como en las entradas y salidas de las plantas de potabilización de San Jacinto y Tabladita.

Para el presente estudio no se involucran los datos de las muestras tomadas en la Vitoria ni en la Planta de Tabladita, porque no pertenecen a la Cuenca de Tolomosa. Los puntos de muestreo, se detallan en el Cuadro 1.

**Cuadro N°1.- Puntos de Muestreo de Agua**

#	N°	Punto de Muestreo	UTM		m.s.n.m.	Observación
1	1	Margen Lago 1	7 610 387	321 326	1894	margen represa
3	2	Margen Lago 3	7 609 344	319 227	1892	margen represa
4	3	Río Mena	7 607 206	317 066	1915	Río Mena
5	4	Río Tolomosa	7 607 206	317 274	1915	Río Tolomosa
6	5	Río Tolomosita	7 611 066	316 987	1900	Río Tolomosita
7-S	6	Lago San Jacinto 7S			1894	Superficie represa
7-F	7	Lago San Jacinto 7F				Fondo represa
8-S	8	Lago San Jacinto 8S	7 609 467	318 744	1902	Superficie represa
8-F	9	Lago San Jacinto 8F	7 609 467	318 744	1902	Fondo represa
9-S	10	Lago San Jacinto 9S	7 609 431	319 275	1899	Superficie represa
9-F	11	Lago San Jacinto 9F	7 609 431	319 275	1899	Fondo represa
11	12	Bombeo Lago	7 611 918	321 357	1903	Punto Bombeo
12	13	Entrada Planta SJ	7 616 091	320 246	1928	Entrada Planta SJ

S: Superficie

F: Fondo

#: Numeración reportada por informe de UNAM

SJ: San Jacinto

N°: Numeración adoptada para análisis estadístico

También se recolectaron 15 muestras de jacintos, 16 muestras de peces y 10 muestras de sedimentos, pero no se indica la ubicación de los sitios de muestreo, ni las especies de peces estudiados.

La campaña de muestreo fue desarrollada en los meses de Enero y Febrero del 2006, durante el periodo lluvioso.

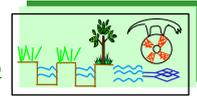
Para las muestras de agua se analizaron la mayor parte de los parámetros de calidad establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica RMCH de la Ley 1333, agrupados en:

- Parámetros físicos
- Parámetros químicos
  - Orgánicos (incluidos plaguicidas)
  - Inorgánicos (incluidos metales pesados)
- Parámetros microbiológicos

De acuerdo al informe de la UNAM, las metodologías de análisis responden a estándares establecidos por la EPA; APHA y Normas Oficiales Mexicanas.

### *Análisis Estadístico*

Con el objeto de establecer correlaciones entre los indicadores de calidad reportados por el informe técnico de la UNAM, así como las posibles fuentes de contaminación para diferentes grupos de contaminantes, se ha realizado para los diferentes grupos de observaciones análisis estadístico simple: Análisis de Componentes



Principales ACP y Clasificación Ascendente Jerárquica CAJ, mediante el software XLSTAT 2006, versión 2006.3, de Copyright Addinsoft.

Para el análisis de ACP, se ha adoptado el coeficiente de correlación de Pearson (PCA normalizado con varianzas de  $1/n$ ), con un número de factores igual al número de variables a niveles de significación de alfa = 0.05.

El análisis estadístico se ha realizado para los siguientes grupos de observaciones: metales pesados en agua; agroquímicos en agua; compuestos orgánicos en agua; calidad microbiológica en agua; metales pesados y agroquímicos en sedimentos; metales pesados y agroquímicos en peces.

### ***Análisis de Niveles de Contaminación***

Para establecer los niveles de contaminación por punto de muestreo, se ha procedido a comparar los niveles encontrados para los indicadores de calidad relevantes, con los valores guías y máximos permisibles establecidos:

- Para agua potable
  - Norma Boliviana 512 – Agua Potable y las normas internacionales para agua potable a las cuales esta se adhiere: Guías para agua potable. OMS –1996 y Regulaciones internas primarias. EPA – 2000
- Para cuerpos de agua, según su objeto de uso: Valores máximos admisibles en cuerpos receptores, para su clasificación según su objeto de uso. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica RMCH de la Ley 1333
- Para agua de riego: Guías de la OMS – 2000; Guías de la FAO y Guías de la Junta de Andalucía para uso de aguas residuales tratadas en riego
- Para metales en peces: Norma Holandesa

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### ***Análisis Estadístico***

#### ***Estadísticas Simples***

En el Cuadro 2, se presentan las estadísticas simples de los parámetros analizados (variables) en los 13 puntos de muestreo.

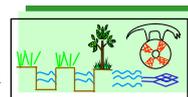
#### ***Clasificación Ascendente Jerárquica CAJ de los Puntos de Muestreo***

Los resultados del análisis CAJ aplicados a las variables de los 13 puntos de muestreo, se representan gráficamente en el dendrograma de disimilitud de la Gráfica N°2.

En base a las características del agua analizada en cada punto de muestreo el dendrograma de disimilitud agrupa los puntos de muestreo según el grado de disimilitud entre estos.

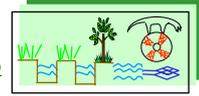
Existe una elevada disimilitud entre los puntos de muestreo (observaciones) 3, 4, 5 y 13, que pertenecen a corrientes de agua (ríos Tolomosa, Tolomosita, Mena y el canal de riego, en general muestras expuesta a elevadas turbulencias) y el resto de los puntos que corresponden a agua estancada (Represa de San Jacinto).

En un nivel mas bajo de disimilitud se establece también una clara diferencia entre los grupos de observaciones 7, 9 y 11 y 1, 2, 6, 8, 10, 12; el primer grupo corresponde a muestras tomadas en el fondo de la represa (poco aireadas y con mayor contenido de lodos), mientras que el segundo está conformado por muestras tomadas a la superficie, expuestas a aireación natural por difusión y oxigenación por algas.

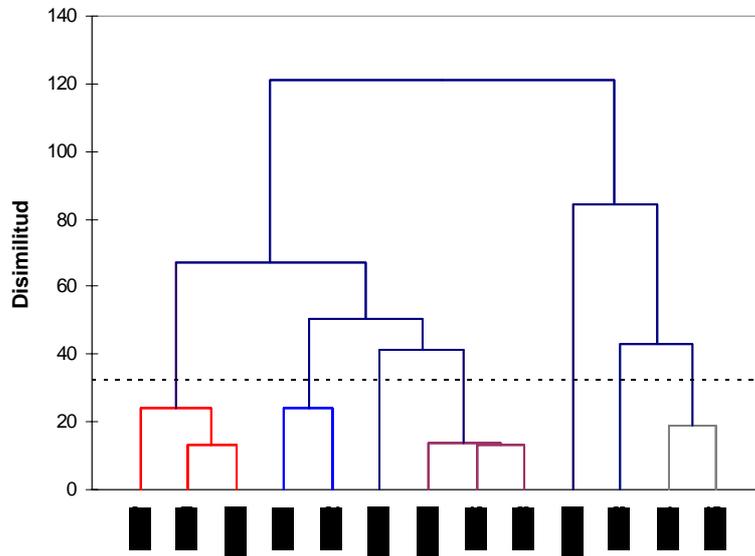


Cuadro N°2.- Estadísticas Simples

Variable	Unidades	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Color	UC	300,000	500,000	319,231	56,045
Turbiedad	UNT	50,000	120,000	71,154	17,339
Temperatura	°C	18,600	28,600	23,362	2,372
Conductividad	µmhos/cm	470,000	620,000	541,154	37,372
pH		6,810	8,360	7,763	0,450
Solidos Sedimentables	m l/L	0,100	1,060	0,452	0,293
Solidos Tot. Disueltos	m g/L	22,108	102,198	74,124	22,349
Aceites y Grasas	m g/L	0,200	0,700	0,435	0,167
DBO <sub>5</sub>	m g/L	4,980	269,170	170,901	84,935
DQO	m g/L	17,630	329,260	189,055	89,559
NMPCF	NMP/ml	0,000	110,000	47,308	36,550
Parásitos	N/L	0,000	5,000	2,308	1,601
Oxígeno Disuelto	m g/L	60,000	80,000	66,923	6,006
Fenol	µg/L	0,000	2,780	0,415	0,817
SAAM	m g/L	0,000	1,750	0,418	0,562
Amoniaco	m g/L	0,168	0,669	0,483	0,171
Antimonio	m g/L	0,000	0,002	0,001	0,001
Bario	m g/L	0,000	0,322	0,124	0,117
Boro	m g/L	0,125	0,500	0,298	0,109
Calcio	m g/L	6,585	108,620	22,001	26,648
Cloruros	m g/L	152,900	198,100	180,138	12,471
Cobre	m g/L	0,000	0,074	0,051	0,032
Cromo +3	m g/L	0,000	0,327	0,151	0,170
Cobalto	m g/L	0,000	0,097	0,037	0,049
Fluoruros	m g/L	0,012	0,981	0,155	0,250
Fosfatos	m g/L	0,019	0,730	0,450	0,176
Hierro soluble	m g/L	0,000	0,298	0,193	0,096
Litio	m g/L	0,000	0,026	0,004	0,007
Magnesio	m g/L	1,051	3,999	1,679	0,775
Manganeso	m g/L	0,055	0,277	0,158	0,060
Niquel	m g/L	0,000	0,142	0,033	0,062
Nitratos	m g/L	0,170	0,841	0,406	0,207
Nitritos	m g/L	0,098	0,390	0,252	0,092
Nitrógeno total	m g/L	5,100	7,800	6,677	0,907
Plomo	m g/L	0,000	0,142	0,044	0,068
Sodio	m g/L	87,184	190,651	115,699	27,812
Sulfatos	m g/L	86,000	243,000	193,538	43,542
Sulfuros	m g/L	0,062	0,128	0,098	0,023
Zinc	m g/L	0,021	0,153	0,082	0,050
Endrin	µg/L	0,000	0,023	0,003	0,007
Heptacloro	µg/L	0,000	0,196	0,022	0,054
Lindano	µg/L	0,000	0,025	0,003	0,007
Metoxicloro	µg/L	0,000	0,308	0,061	0,104



**Gráfica N°2. Dendrograma**

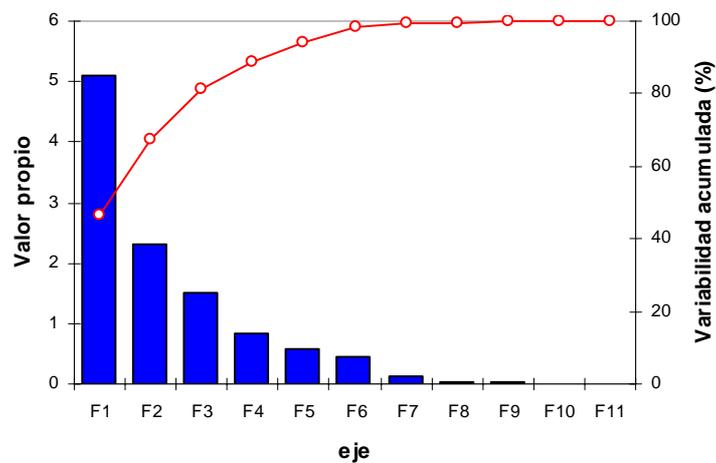


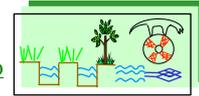
*Análisis ACP para Contaminantes de Origen Agrícola*

Normalmente se considera que las actividades agrícolas aportan principalmente Fosfatos, Nitratos y Plaguicidas a los cuerpos de agua, ubicados aguas abajo de las zonas agrícolas, sin embargo con el objeto de correlacionar estos indicadores de calidad hídrica se ha introducido al análisis ACP, las siguientes variables: Nitritos, Amoniaco, DQO, DBO<sub>5</sub> y nitrógeno total.

Los resultados del análisis ACP muestran que los tres primeros componentes acumulan el 81% de la varianza total, tal como se aprecia en la Gráfica N°3.

**Gráfica N°3.- Importancia de los Componentes**





Como se puede observar en el Cuadro N°3, el componente 1, está definido por la carga orgánica expresada como DQO y DBO<sub>5</sub>, fosfatos, nitratos y nitrógeno total con coeficientes de correlación positivos; por Endrin, Heptacloro y Metoxicloro con coeficientes negativos, todos con elevados niveles de significación.

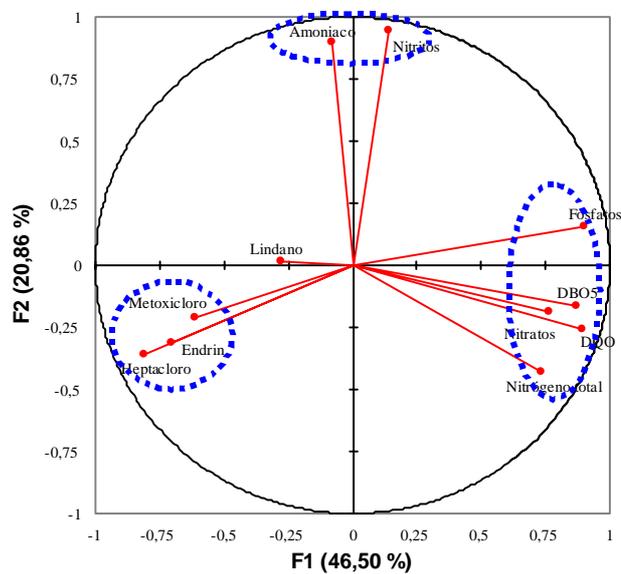
Cuadro N°3.- Componentes y Variables

	F1	F2	F3	F4	F5
DBO <sub>5</sub>	0,868	-0,163	0,374	0,180	-0,026
DQO	0,896	-0,260	0,297	0,110	0,089
Amoniaco	-0,083	0,897	0,361	0,167	-0,049
Fosfatos	0,901	0,155	0,164	-0,105	0,205
Nitratos	0,765	-0,185	0,031	0,374	-0,447
Nitritos	0,141	0,942	0,136	0,232	-0,027
Nitrógeno total	0,731	-0,427	0,178	-0,012	0,130
Endrin	-0,701	-0,310	0,541	-0,017	-0,273
Heptacloro	-0,810	-0,356	0,123	0,351	-0,126
Lindano	-0,274	0,017	0,831	-0,432	-0,013
Metoxicloro	-0,614	-0,211	0,286	0,492	0,475

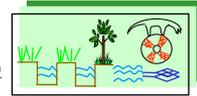
El componente 2, está definido por el nitrito y el amoniaco, mientras que el componente 3 se define claramente por el Lindano.

Para fines ilustrativos en la Gráfica N°4 se presenta el plano factorial entre los componentes 1 y 2, cubriendo el 67,3% de la varianza total.

Gráfica N° 4.- Plano Factorial de Variables



En la Gráfica 4, se puede observar las dos agrupaciones que conforman las variables del componente 1, todas asociadas a la actividad agrícola, (nitratos, fosfatos, carga orgánica y plaguicidas), la relación negativa entre las dos agrupaciones puede deberse a los distintos procesos de degradación natural y asimilación a los que están expuestos estos contaminantes dentro de la represa.



Amoníaco y nitritos que conforman un grupo distinto, son estados intermedios del proceso de oxidación del nitrógeno, mas relacionados con el metabolismo de la biota acuática.

#### *Análisis ACP para Constituyentes Inorgánicos del Agua*

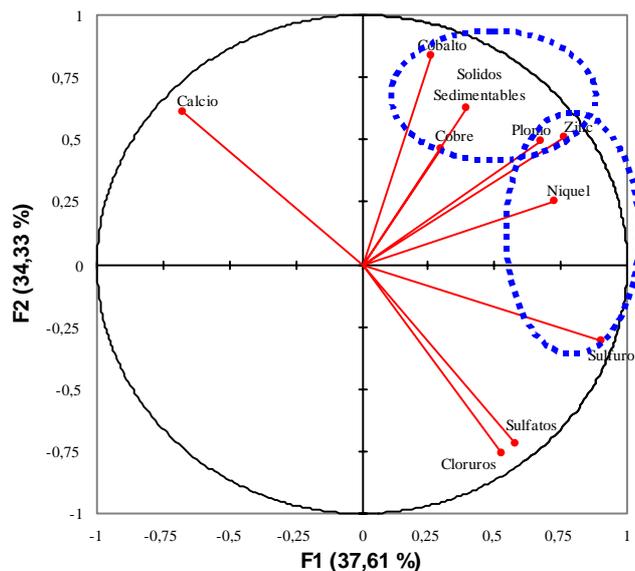
Se consideran constituyentes inorgánicos a los compuestos, elementos o iones con base metálica y no metálica como los alcalino térreos y halógenos, para este caso particular se incorpora a los metales pesados por su efecto en la calidad del agua.

Los resultados del análisis ACP muestran que los tres primeros componentes acumulan el 82.6 % de la varianza total, tal como se aprecia en la Gráfica N°5.

El primer componente agrupa a los Sulfuros, Zinc, Plomo y Níquel, lo que indica relación entre estos constituyentes, posiblemente como minerales con base sulfurosa como Sulfuro de Plomo (Galena) y Sulfuro de Zinc (Sphalerita).

El segundo componente correlaciona al Zinc, Plomo, Cobre y los Sólidos Sedimentables, lo que indica que estos constituyentes pueden estar en forma insoluble o adsorbidos en partículas sedimentables y/o en suspensión.

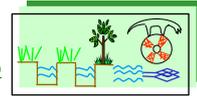
**Gráfica N° 5.- Plano Factorial de Variables**



El análisis sugiere una alta probabilidad de que la presencia de metales pesados en la represa, este asociada al arrastre de sedimentos desde afloraciones minerales naturales ubicadas en las cabeceras de la cuenca, posiblemente relacionadas a minas prehispánicas ubicadas en la Serranía de Sama.

#### *Análisis ACP para Contaminantes Microbiológicos y Originados en Actividades Domésticas*

Se consideran contaminantes microbiológicos y contaminantes originados en actividades domésticas a los siguientes: Número mas Probable de Coliformes Fecales NMPCF, Parásitos, Aceites y Grasas, Nitratos, Fosfatos y carga orgánica (DQO)



Los resultados del análisis ACP muestran que los tres primeros componentes acumulan el 86.7 % de la varianza total, tal como se aprecia en la Gráfica N°6.

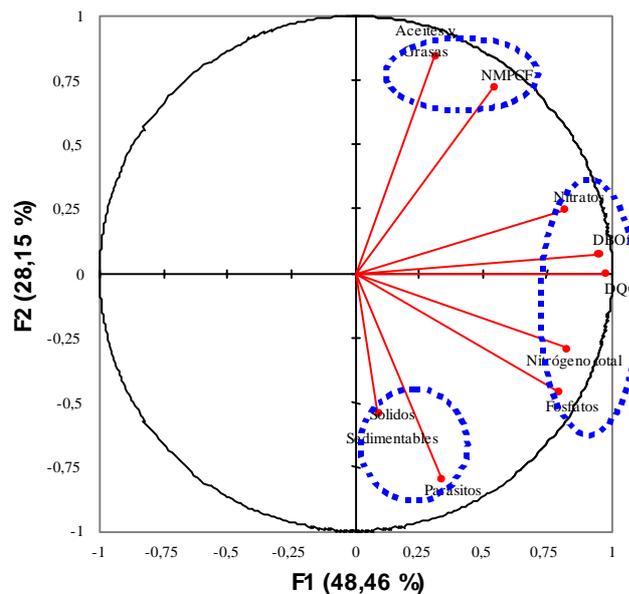
El primer componente muestra una fuerte correlación entre Nitratos, Fosfatos, Nitrógeno total y carga orgánica (DQO), lo que indica un origen común para estos constituyentes, de hecho relaciona los contaminantes nutricionales (nitrógeno y fósforo) con la carga orgánica (DQO).

El segundo componente agrupa una correlación positiva a Aceites, Grasas y NMPCF; con correlación negativa a Parásitos y Sólidos Sedimentables.

El análisis indica un origen distinto de los contaminantes nutricionales (carga orgánica) y los contaminantes microbiológicos, es posible que el primer grupo de contaminantes tenga su origen en la acumulación de nutrientes en la represa y el arrastre de suelos con materia orgánica.

Los contaminantes microbiológicos pueden tener un mismo origen (aguas residuales domésticas, aves, ganado, etc.), es importante notar que los parásitos están relacionados con los sólidos sedimentables precisamente por su tendencia a sedimentar y acumularse en el fondo de la represa, de hecho las muestras tomadas del fondo tiene mayores índices de parásitos.

**Gráfica N°6.- Plano Factorial de Variables**

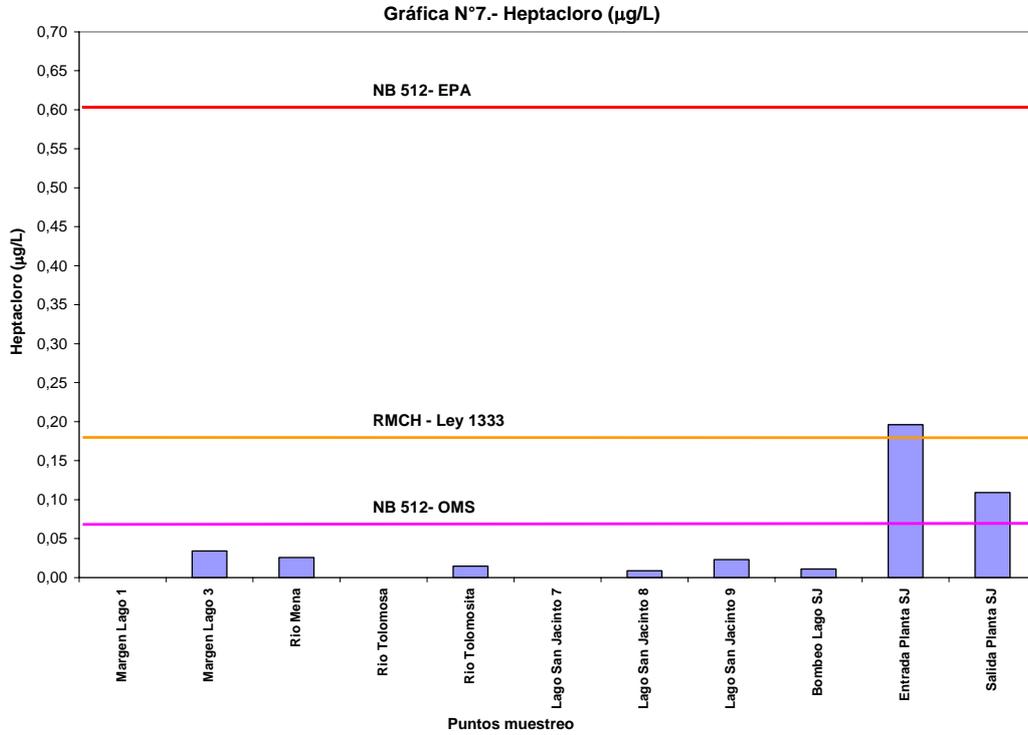
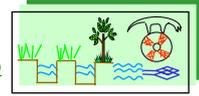


#### *Análisis de Niveles de Contaminación*

Se entiende por contaminación del agua, cuando un constituyente sobrepasa un cierto valor, establecido como guía o límite máximo de acuerdo al uso de esta. Para determinar el tipo y grado de contaminación, se ha procedido a comparar las concentraciones de cada parámetro de calidad reportados por la UNAM, con los límites máximos y/o valores guía de los diferentes reglamentos nacionales para agua potable y cuerpos de agua según su objeto de uso.

#### *Contaminación por Plaguicidas en Agua*

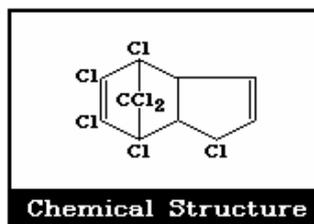
Solo el Heptacloro sobrepasa los valores guías establecidos por la NB 512 – OMS en las muestras tomadas a la entrada y salida de la Planta de San Jacinto. El mismo plaguicida sobrepasa el límite máximo admisible del RMCH –Ley 1333, pero solo en la entrada de la Planta de San Jacinto. En ningún caso sobrepasa el límite máximo admisible para agua potable establecido por la EPA a la que se adhiere la NB 512, tal como se muestra en la Gráfica N°7.

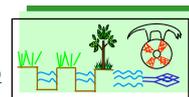


Los plaguicidas totales, están cerca del valor máximo aceptable establecido por la NB 512, a la entrada de la Planta de San Jacinto y en el margen de la represa, con ubicación en el punto de muestreo N° 3, tal como se observa en la Gráfica N°8

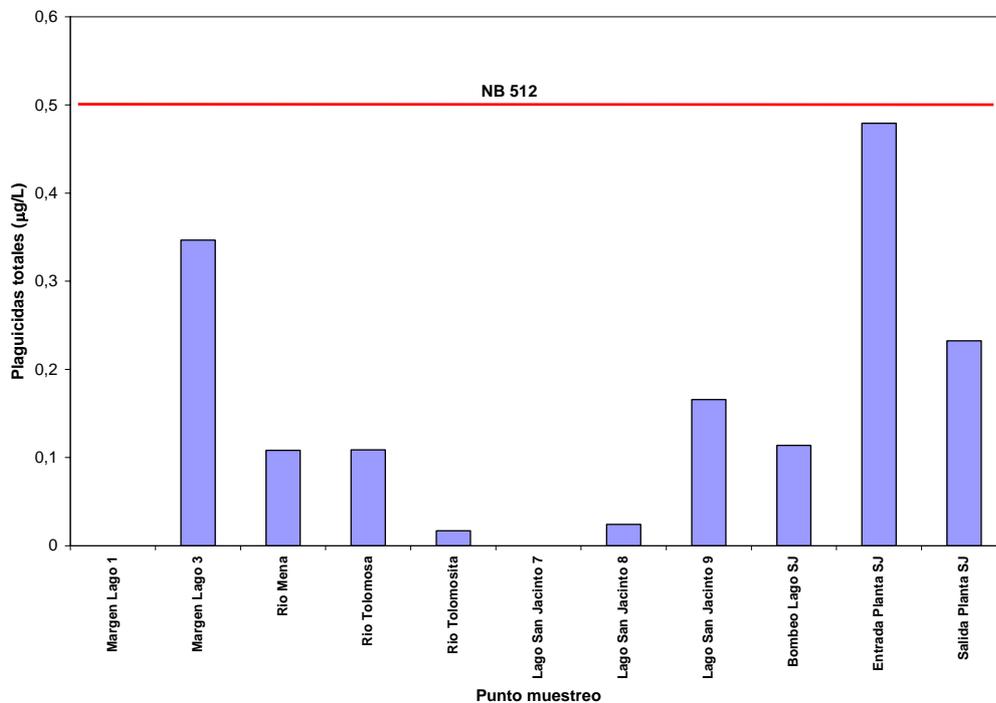
En la figura adjunta se describe la estructura molecular del Heptacloro de acuerdo al International Programme on Chemical Safety, cuyo nombre químico es: 1,4,5,6,7,8,8 - heptachloro-3<sub>a</sub>,4,7,7<sub>a</sub> -tetrahydro-4,7-methano-1H-indene.

Comercialmente es conocido como: Aahepta, Agroceres, Basaklor, Drinox, E 3314, GPKh, Heptachlorane, Heptagran, Heptagranox, Heptamak, Heptamul, Heptasol, Heptox, Rhodiachlor, Soleptax, Velsicol 104, etc.





Gráfica N°8.- Plaguicidas totales (µg/L)



#### Contaminación Microbiológica en Agua

El nivel de coliformes fecales expresado como NMPCF, es un indicador de riesgos de contaminación patogénica y de enfermedades de origen hídrico. Los niveles de este indicador están alrededor del límite permisible para agua de Clase A, establecido por el RMCH, pero no sobrepasa en ningún caso los límites para agua de Clase B, ni los niveles recomendados por la OMS para riego, como se puede apreciar en la Gráfica N°9.

El número de parásitos es otro indicador de contaminación microbiológica en varios puntos de muestreo, incluyendo el agua del rincón de la Vitoria, sobrepasa el límite máximo permisible, como se muestra en el Gráfica N°10, se observa valores elevados en muestras tomadas del fondo de la represa, donde se acumulan por sedimentación, de todas maneras en el análisis multivariable se ha demostrado que este índice está relacionado con los sedimentos.

#### Contaminación por Metales Pesados en Agua

El plomo es el único metal pesado que sobrepasa los valores guía establecidos por la NB 512- OMS y el valor máximo recomendable por la NB 512 – EPA, en las muestras tomadas en el fondo de la represa y en el canal de riego de San Jacinto. Debido a que el informe de la UNAM no establece si el análisis ha sido realizado en muestras filtradas o sin filtrar, se debe asumir que se trata de plomo insoluble y asociado a partículas en suspensión y sedimentables tal como se muestra en el análisis multivariable (muestras tomadas del fondo de la represa, Ver Gráfica N° 11).

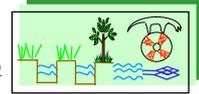


Gráfico N° 9.- NMPCF NMP/100

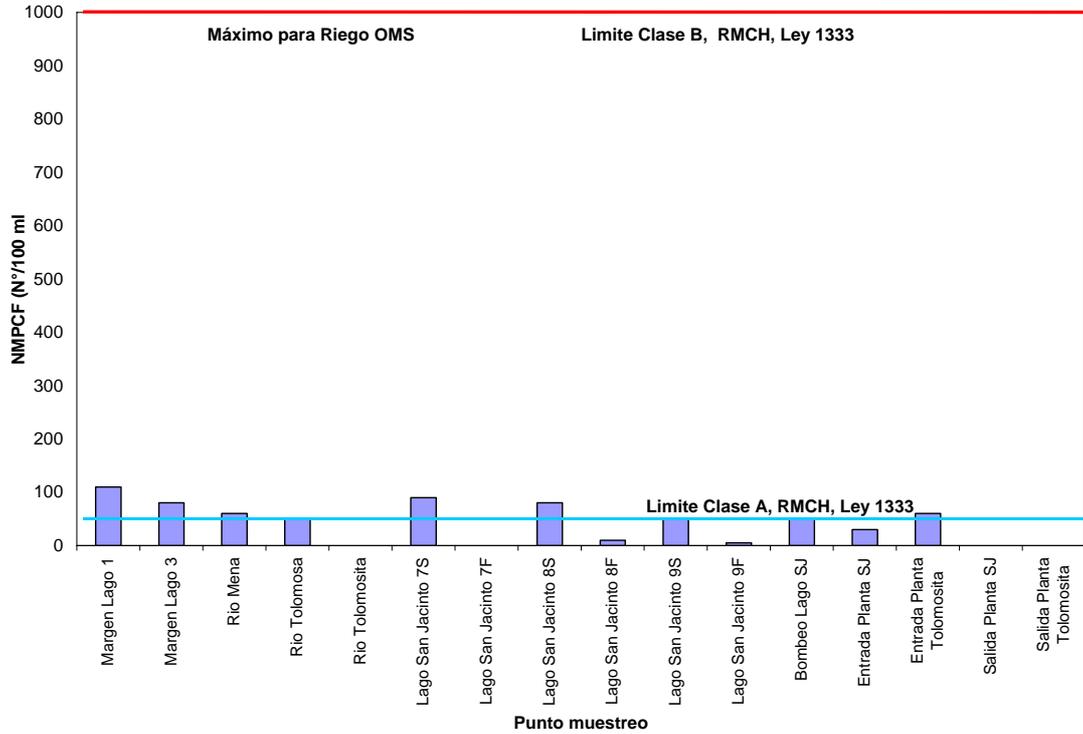
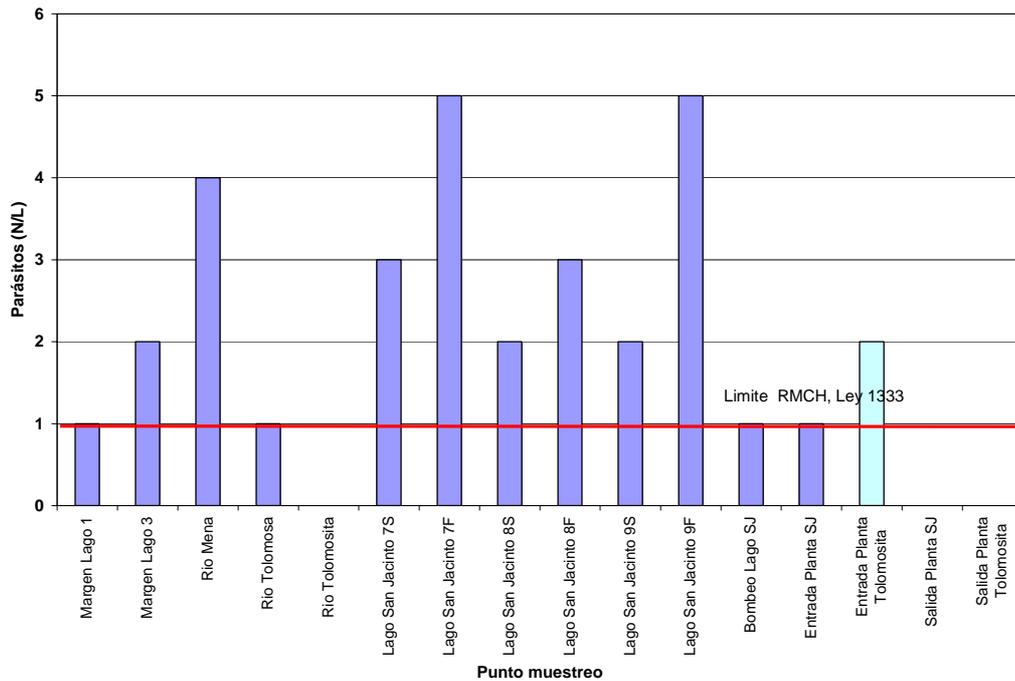
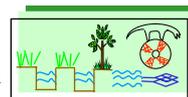
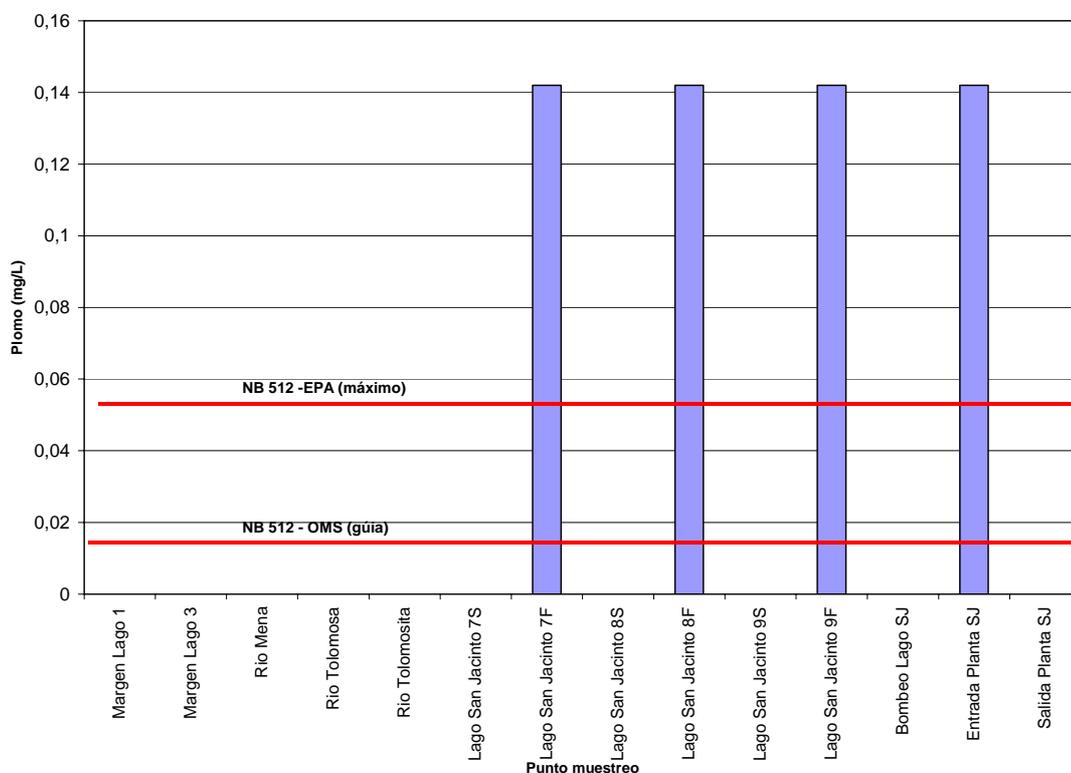


Gráfico N° 10.- Parásitos N L-1





Gráfica N°11.- Plomo (mg/L)



### Calidad de Agua para Riego

Se ha demostrado que no existen limitantes de calidad bacteriológica para el uso del agua de la represa y de sus tributarios (ríos) en riego.

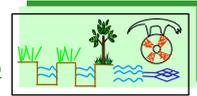
De acuerdo a las directrices de la FAO, para interpretar la calidad del agua para riego, no se ha detectado potenciales problemas por salinidad, infiltración (RAS), toxicidad (Boro, Sodio, Cloro) u Oligoelementos, si cualquiera de las fuentes de agua analizadas es utilizada para riego.

Por otro lado, la presencia de metales pesados tampoco limita el uso de las fuentes de agua estudiadas para su utilización en riego, incluso para las muestras tomadas en el fondo de la represa (con mayor contenido de metales pesados) de acuerdo a la normativa para rechazo de aguas residuales de la Junta de Andalucía (Ver Cuadro N°4), debido a los niveles de metales pesados en las muestras analizadas son menores que los valores guías para riego establecidos por dicha normativa.

### Metales Pesados en Peces

El informe de la UNAM, reporta presencia de plomo en músculos (carne) de peces, en 4 de 16 muestras pero no indica las especies analizadas.

La interpretación de estos resultados es dificultosa, pues los niveles de plomo son reportados por litro de músculo de pez, mientras que las normas disponibles establecen niveles permisibles de plomo por kilogramo de carne fresca de pez.



Assumiendo la unidad como densidad de la carne de pez analizada, se puede realizar una comparación preliminar de los niveles de Plomo y Zinc en las muestras de San Jacinto, con los valores establecidos por la Norma Holandesa y los niveles de estos metales encontrados en Sábalo (*Prochilodus lineatus*) del Pilcomayo.

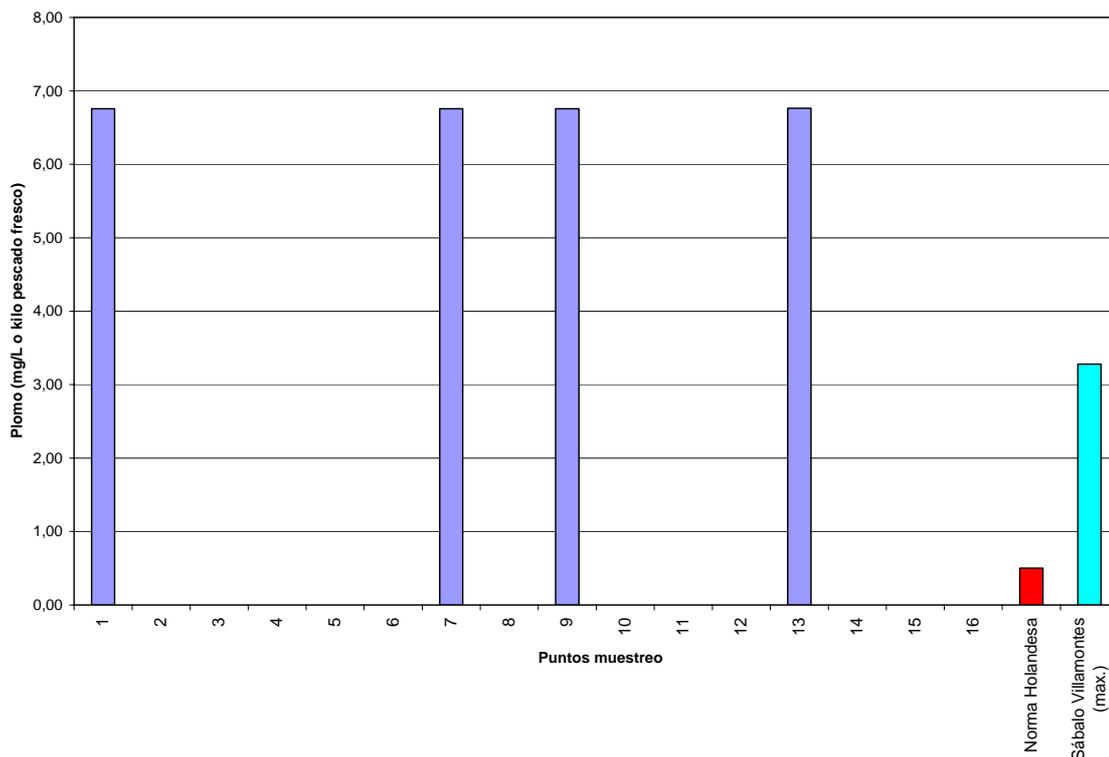
De acuerdo a la Gráfica N°12, las concentraciones de plomo encontradas en algunas muestras de peces de San Jacinto son realmente alarmantes, pues sobrepasan varias veces la norma de referencia y los niveles mas altos encontrados en Sábalo del Pilcomayo, similares relaciones se ha encontrado para el Zinc.

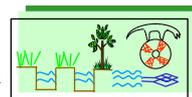
Cuadro N°4.- Valores Guía de Metales Pesados en Agua para Riego

mg/l	METODO DE ANALISIS		FRECUENCIA
<b>Cadmio</b>	0.05	Absorción atómica	Semestral
<b>Cromo</b>	0.1	Absorción atómica o espectrofotometría de absorción	Semestral
<b>Cobre</b>	5.0	Absorción atómica o espectrofotometría de absorción	Semestral
<b>Mercurio</b>	0.1	Absorción atómica	Semestral
<b>Níquel</b>	2.0	Absorción atómica	Semestral
<b>Plomo</b>	0.5	Absorción atómica	Semestral
<b>Zinc</b>	10.0	Absorción atómica o espectrofotometría de absorción	Semestral

Referencia: Grupo TAR. Reutilización de Aguas Residuales en Riegos Agrícolas. – 2006.

Gráfica N° 12.- Plomo (mg/L) en Peces de San Jacinto





### Eutrofización de la Represa de San Jacinto y Presencia de Sulfuros

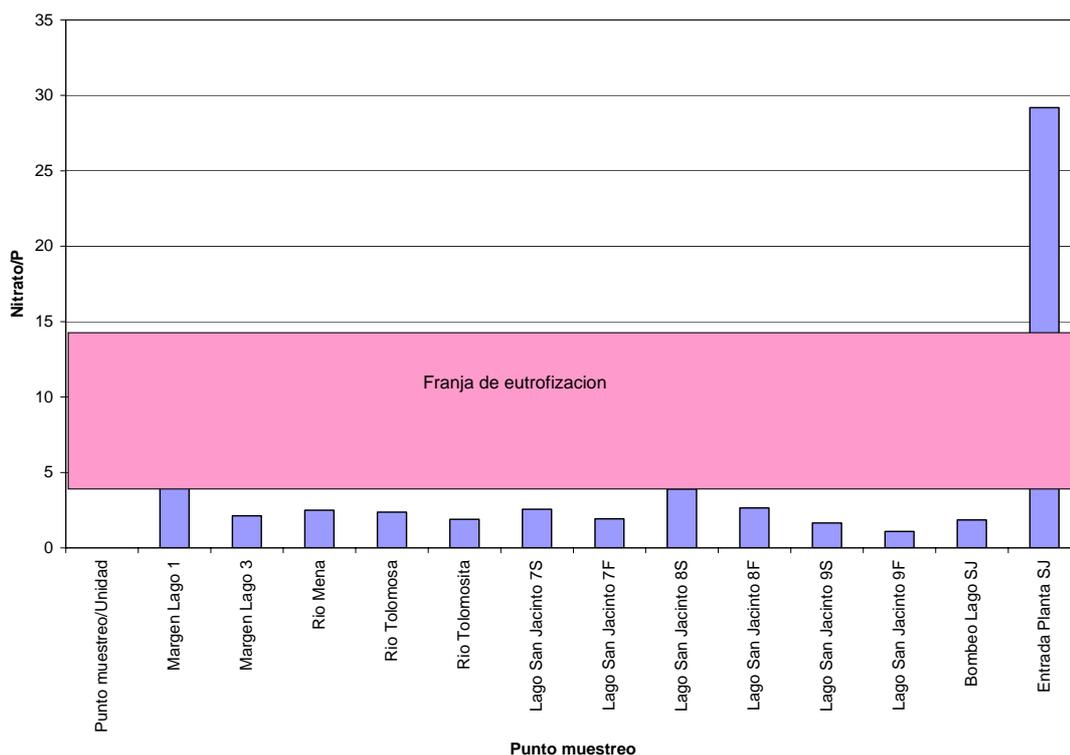
La eutrofización es un proceso de acumulación descontrolada de nutrientes en una represa, por efecto de vertidos de aguas residuales y arrastre de contaminantes desde zonas agrícolas, es un fenómeno progresivo y a mediano plazo se refleja en la proliferación de algas, plantas acuáticas y mal olor del agua; a largo plazo las aguas se tornan anaerobias (ausencia de oxígeno disuelto) y corrosivas, propiedades que afectan su uso en todas sus formas.

Indicadores bastante utilizados para evaluar el grado de eutrofización de una represa son los índices de: Nitratos/ Fosfatos y Amoniac/ Fosfatos, que para aguas eutróficas adoptan valores de:

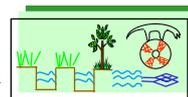
- Nitratos/ Fosfatos: 5 - 15
- Amoniac/ Fosfatos: 6,4 - 25

En la Gráfica N°13, se presentan los índices Nitratos / Fosfatos y la franja de aguas eutróficas (franja rosada). En la gráfica se puede observar que el primer punto de muestreo en el margen de represa tiene características eutróficas. En general los valores de fosfatos son relativamente altos y podrían provocar crecidas de algas en combinación con los presentes valores de Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y Amoniac ( $\text{NH}_4$ ) en aguas estancadas como en San

Gráfica N°13.- Grado de Eutrofizacion

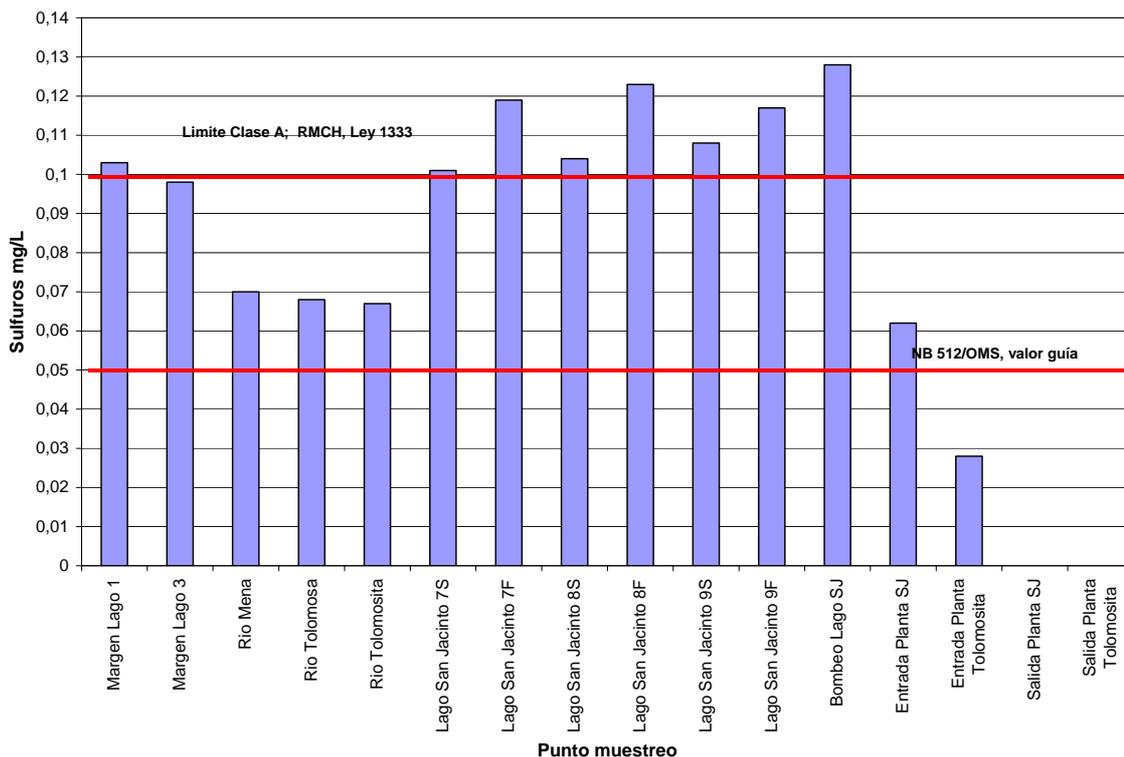


Jacinto, lo que puede considerarse como una alerta para iniciar medidas de control dirigidas a evitar un futuro proceso de eutrofización en la represa.



Otro indicador de la acumulación de carga orgánica y posiblemente la presencia de minerales piritosos en la represa, es el elevado nivel de sulfuros (ver Gráfica N°14), que en todas las muestras, sobrepasa los valores guías para agua potable NB 512, este constituyente confiere al agua el característico olor a huevo podrido.

Gráfica N°14.- Sulfuros mg/L



### *Análisis de Electro neutralidad en los Reportes Analíticos - UNAM*

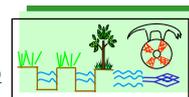
El análisis de electro neutralidad, es un criterio muy utilizado para la verificación rápida de la confiabilidad de un reporte analítico.

El método se basa en el principio de electro neutralidad del agua, es decir que la suma de las cargas negativas (aportadas por los aniones de electrolitos fuertes), debe ser igual a la suma de las cargas positivas (aportadas por los cationes de electrolitos fuertes), como se muestra en el Cuadro N°5

Para la verificación del principio se ha tomado en cuenta los siguientes aniones y cationes de cada muestra analizada por la UNAM:

- Aniones: Calcio, Magnesio, Hierro, Sodio y Litio.
- Cationes: Sulfatos, Cloruros y Fluoruros

Obviando los Carbonatos y Bicarbonatos (que aportan cargas negativas), para los cuales no se reportan valores, las cargas positivas deben superar a las negativas para cumplir el principio de electro neutralidad del agua. Sin embargo como se observa en el Cuadro 5, la diferencia de cargas es negativa y se acentuará aún mas si se suman las carga negativas de los bicarbonatos. El desbalance de las cargas indica deficiencias en los métodos analíticos del laboratorio responsable que resta confiabilidad y crédito a los reportes analíticos.



Cuadro N°5.- Verificación Principio de Electro Neutralidad del Agua

N°	Punto muestreo/Unidad	Sumatoria Cationes (+)	Sumatoria Aniones (-)	Diferencia
1	Margen Lago 1	5,64693	10,17632852	-4,52940
3	Margen Lago 3	7,06302	10,23629324	-3,17328
4	Rio Mena	6,85391	8,47701184	-1,62310
5	Rio Tolomosa	9,54474	8,19070688	1,35403
6	Rio Tolomosa	6,17250	7,64171056	-1,46921
7S	Lago San Jacinto 7S	5,77195	10,4264554	-4,65450
7F	Lago San Jacinto 7F	4,70011	9,86850212	-5,16839
8S	Lago San Jacinto 8S	4,71841	9,65724104	-4,93883
8F	Lago San Jacinto 8F	5,02424	9,48076276	-4,45652
9S	Lago San Jacinto 9S	5,57713	9,26972796	-3,69260
9F	Lago San Jacinto 9F	5,32780	9,02481804	-3,69702
10	Vitoria	2,95058	1,28061684	1,66996
11	Bombeo Lago SJ	4,48079	9,99729592	-5,51650
12	Entrada Planta SJ	10,72772	6,10446068	4,62326
13	Entrada Planta Tolomosa	9,62606	2,47855364	7,14751
14	Salida Planta SJ	5,51628	4,6406958	0,87558
15	Salida Planta Tolomosa	13,46072	2,04875196	11,41197

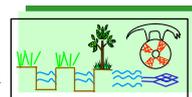
## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Plaguicidas

- En las muestras de agua tomadas a la entrada y salida de la Planta de Potabilización de San Jacinto, el Heptacloro es el único plaguicida que sobrepasa los valores Guías para agua potable establecidos por la NB 512 – OMS, sin embargo no sobrepasa el límite máximo recomendable para agua potable establecido por la NB 512 – EPA.
- En varias muestras tomadas en la represa de San Jacinto y sus ríos tributarios, se han detectado trazas de plaguicidas clorados, sin embargo en ninguna muestra de la represa y sus tributarios se ha establecido contaminación por plaguicidas, es decir estos no sobrepasan los valores reglamentarios.
- Es muy difícil explicar la contaminación de plaguicidas a la entrada y salida de la Planta de potabilización de San Jacinto y no en la fuente de agua (represa).
- Para tener mayor claridad, sobre la presencia de plaguicidas y las actividades agrícolas que los están generando, se recomienda profundizar estudios mediante nuevos monitoreos, en agua, peces y productos agrobiológicos, y ampliar el diagnóstico a la identificación de las fuentes difusas de contaminación mediante mapeo y monitoreos extensos.

### Metales Pesados

- En muestras de agua tomadas en el fondo de la represa y entrada a la Planta de San Jacinto se ha encontrado niveles de plomo que sobrepasan varias veces las normas nacionales e internacionales para agua potable, sin embargo, estos resultados son de difícil interpretación por:
  - El informe de la UNAM no indica si el análisis se ha realizado en muestra filtrada o sin filtrar, es decir si el plomo se encuentra en estado soluble o en partículas sólidas.
  - Las normas para agua potable se refieren a plomo soluble, por lo tanto mientras la UNAM no aclare las condiciones del análisis, no se puede sacar conclusiones al respecto.
- Es muy probable que el plomo detectado en el agua, esté en forma insoluble y en las partículas sedimentables, tal como se ha demostrado en el análisis multivariable.
- La presencia de plomo en sedimentos y sólidos sedimentables del agua, bajo las condiciones actuales de la cuenca, puede significar que este contaminante tiene su origen en afloraciones naturales de minerales



piritosos (plomo y zinc, correlacionan con la presencia de sulfuros) ubicados en la parte alta de la cuenca, cuyos procesos erosivos estén siendo acelerados por incendio, sobre pastoreo, etc.

- La presencia de plomo a niveles alarmantes en peces y sedimentos, sugiere la necesidad de un diagnóstico detallado, basado en mapeo y monitoreo, para ubicar las fuentes de contaminación y plantear manejo de suelos, laderas y control de la erosión sobre ellas.

### ***Contaminación Microbiológica y Saneamiento Básico***

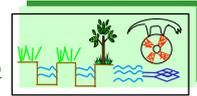
- Los niveles de coliformes fecales NMPCF, en la mayoría de los puntos de muestreo son similares o menores a los de cualquier fuente de agua superficial del departamento de Tarija, y están alrededor del límite permisibles por el RMCH para agua de Clase A, pero mucho mayores, a los valores guías por la NB 512 para agua potable.
- Los índices de parásitos, son elevados sobre todo en las muestras tomadas en el fondo de la represa y están asociados a los sólidos sedimentables, como se ha demostrado mediante el análisis multivariable. En general para muestras tomadas en los tributarios y en la superficie de la represa, el índice de parásitos es igual a la de cualquier fuente de agua superficial del departamento de Tarija.
- El informe de la UNAM, ha demostrado la alta movilidad de ciertos contaminantes desde la cuenca hacia la represa, la contaminación microbiológica originada principalmente en heces fecales, puede estar enmascarada por la alta capacidad depurativa de las represas para remover bacterias patógenas.
- Sobre esta base se recomienda iniciar un diagnóstico del saneamiento básico de la cuenca y los impactos en el recurso hídrico y la salud pública.
- Es recomendable iniciar experiencias alternativas a la NB 688, a escala demostrativa para tratamiento apropiado de aguas residuales basado en procesos naturales, focalizado al control de patógenos y la reutilización del agua tratada en los sitios donde se generan.

### ***Eutrofización***

- La contaminación por nutrientes (fosfatos y nitratos) y carga orgánica (DQO y DBO<sub>5</sub>), factores de eutrofización en una represa, no está relacionada con el vertido de aguas residuales (Gráfica N°6), para este caso en particular, mas bien parece estar relacionada y con los plaguicidas de origen agrícola indiscutible (Gráfica N°4) y/o con el arrastre de sedimentos orgánicos de los suelos.
- Los índices de eutrofización y los niveles de fosfatos, amoníaco y nitratos, plantean la necesidad de iniciar diagnósticos para identificar las fuentes de contaminación difusa y plantear posteriormente acciones para controlar el transporte de sedimentos con carga orgánica y fertilizantes desde terrenos agrícolas (zanjas de infiltración, cordones ecológicos, control de la erosión, etc.).

### ***Uso de la Represa como Fuente de Agua Potable***

- Debido al carácter preliminar del estudio de la UNAM, el estado insoluble del plomo y el origen poco claro de altos niveles de Héptacloro en la entrada y salida de Planta de potabilización de San Jacinto, sin estar presentes en niveles alarmantes en la fuente de agua (represa y ríos tributarios), no se considera prohibitivo el uso de la represa y ríos tributarios como fuentes de agua potable, previa:
  - Ubicación de obras de toma y/o sistema de bombeo en lugares estratégicos y bombeo de agua desde los niveles mas superficiales de la represa.
  - Sedimentación (eliminación de partículas sedimentables con metales pesados y parásitos)
  - Clarificación (eliminación de turbiedad y sólidos en suspensión).
  - Aireación intensa (eliminación de sulfuros) y
  - Desinfección (eliminación de patógenos)
- Para la ubicación apropiada de las obras de toma, es necesario realizar un estudio de la distribución de la calidad del agua y los contaminantes dentro de la represa (por estratos, estaciones y en todo el espejo de agua), mediante monitoreos y modelación computacional.



### *Uso de la Represa como Fuente de Agua para Riego*

- Ningún parámetro de calidad del agua (para ningún punto de muestreo) sobrepasa los valores guías de la FAO, OMS y otras normas internacionales para el uso del agua para riego.
- Con fines preventivos, se recomienda aplicar los criterios arriba listados para la ubicación apropiada de las obras de toma.

### *Consumo de Peces de la Represa*

La presencia de plomo en sedimentos, jacintos de agua y peces de la represa, en estos últimos a niveles aparentemente alarmantes, puede plantear cautela justificada y limitaciones en el consumo de peces de la represa. Cuidado que debe estar sujeto a diagnósticos, estudios y monitoreos mas detallados y precisos, los cuales son altamente recomendables

### *Limitaciones del Estudio de la UNAM*

Durante la interpretación del estudio de la UNAM, se ha encontrado las siguientes limitaciones:

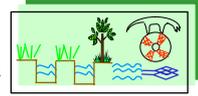
- La condición de electro neutralidad, no se cumple para la mayoría de las muestras analizadas, lo que denota deficiencias de reporte o métodos analíticos, al menos para los electrolitos fuertes y sus iones.
- Algunos parámetros de calidad como el plomo tienen exactamente los mismos valores en todas las muestras donde se ha detectado el metal, lo cual es atípico en reportes analíticos de agua.
- El informe de la UNAM, no especifica si el análisis se refiere a muestra filtrada o sin filtrar, o por lo menos si los constituyentes analizados están en estado soluble, lo que no permite hacer una interpretación adecuada del problema.
- Varios parámetros de calidad, analizados en las muestras sólidas, no son reportados en unidades compatibles con las normas que establecen los valores guía.
- En general, la sensación de inseguridad alimentaria, opinión publica y el grado de estigmatización hacia la represa de San Jacinto, el agua y los productos agrobiológicos de la cuenca, no son proporcionales a la información técnica contenida en el informe de la UNAM.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Ing. Enrique Ayarde, Gerente Técnico de COSAALT LTDA, por brindar de primera mano, al Grupo TAR – Tarija, el informe técnico de la UNAM. Se agradece de manera especial a las pasantes del programa Químico – Farmacéutico del Laboratorio RIMH – Aprotect: Yuly Ninfa Delgado Martínez; Patricia Silvestre Sirpa; Irma Vilte Sandoval y Maribel Nava López., por su colaboración en la transcripción y corrección del documento.

### **BIBLIOGRAFIA**

- Blyth F.G.H. y M.H. de Freitas. Geología para Ingenieros. Compañía Editorial Continental. S.A. de CV. ISBN 968 -26-0814-7. México, D.F. – 1997.
- Cabrera Balboa R. PRO-AGUA, FORO PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA DE TARIJA. PROMETA. Tarija – Bolivia
- De Vargas Lidia. Tratamiento del Agua para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida Manual I: Teoría, Tomo 1, Cap. 1. Aspectos Físico – Químicos de la Calidad del Agua. OPS/CEPIS/PUB/04.109. Lima . 2004.
- Fundación Medio Ambiente, Minería e Industria. Reglamentos a la Ley de Medio Ambiente. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica RMCH. Bolivia – 1998.
- Grupo TAR. Universidad de Sevilla. Reutilización de Aguas Residuales en Riegos Agrícolas. Módulo 5. Programa de Maestría en Ingeniería del Agua. Sevilla – España. – 2006.
- Grupo TAR. Universidad de Sevilla. El Agua en la Agricultura. Módulo 5. Programa de Maestría en Ingeniería del Agua. Sevilla – España. – 2006.
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. Ministerio de Servicios y Obras Públicas. Vice ministerio de Servicios Básicos. Norma Boliviana de Agua Potable – Requisitos. NB 512. La Paz – Bolivia. Octubre 2004.



- Informe del Parlamento de Andalucía. Las consecuencias de la rotura de la balsa de estériles de las minas de Aznalcollar. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. España – 1998.
- López- Pamo, D. Baretino y Col. "The extent of the Aznalcollar pyritic sludge spill and its effects on soil. Instituto Tecnológico Geominero de España. The Science of the Total Environment 242 (1999) 57-88.
- Medina Hoyos Richard Ivan. Contaminación del Río Pilcomayo y el moderno proceso de flotación en el distrito minero de Potosí. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional . Universidad de Sevilla España. Noviembre del 2004.
- Medina H. Ivan. Diagnóstico Ambiental de la Cuenca del Pilcomayo: Efectos de la Actividad Minera. Trabajo Tutelado. Programa de Doctorado Formación e Investigación en Medio Ambiente En el Contexto Iberoamericano. Universidad de Sevilla (España). U.A.J.M.S. - Tarija –2002.
- Medina Hoyos R. Ivan. Escuela Politécnica de la Universidad de Sevilla. Grupo TAR. Saneamiento Básico de Flujo Cíclico y Tratamiento Apropiado para la Innovación de la Norma Boliviana NB 688. Universidad de Sevilla (España). Sevilla – Mayo 2006.
- Polo – 2000. [http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0712101-075103/#documents](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0712101-075103/#documents).
- Smolders Alfons. El Río Pilcomayo; Estudio sobre su dinámica, el Sábalo (Prochilodus lineatus) y la contaminación minera. Katholieke Universiteit Nijmegen. Holanda –2001.
- Smolders A., Lock R. Van der Velde G., Medina Hoyos R. y Roelofs J. Effects Mining Activities on Heavy Metal Concentrations in Water, Sediment, and Macroinvertebrates in Different Reaches of Pilcomayo River, Sout America. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. Springer – Verlag New York Inc. –2003.