

## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA BASADA EN EL PROCEDIMIENTO COMMPS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE INDICES DE RIESGO, APLICADA A LA CUENCA DEL RIO PILCOMAYO

JAKOMIN, MARINA L.<sup>1</sup>; ROMERO, LUCY E.<sup>2</sup> Y LABORANTI, CLAUDIO<sup>2</sup>

1: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación  
Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda  
Presidencia de la Nación Argentina  
Esmeralda 255 Piso 11 CABA  
mjakomin@mininterior.gob.ar

2: Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo  
Unidad de Monitoreo y Centro de Datos  
Iturricha e/Chaco – Sucre, Bolivia  
leromeroo@pilcomayo.net; claudiolaboranti@gmail.com

**Resumen.** *El río Pilcomayo tiene sus nacientes en Potosí, Bolivia a 4.600 m de altura. La cuenca se extiende por alrededor de 290.000 km<sup>2</sup> entre Argentina, Bolivia y Paraguay escurriendo a lo largo de más de 1.000 km. Las actividades mineras en Potosí, sostenidas desde 1545, provocan un impacto ambiental importante en la cuenca por metales pesados. Más de 1.500.000 habitantes dependen del río para diferentes usos. Desde el año 2006 se han desarrollado programas de monitoreo de agua, sedimentos y biota para evaluar los posibles riesgos de contaminación que se derivan de estas actividades. Se presenta una evaluación de las concentraciones de metales en agua (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plata, plomo y zinc) obtenidos en el período 2006 - 2014, basada en conceptos de Evaluación del Riesgo aplicados por la Comunidad Europea (COMMPS). El mismo desarrolla un índice que identifica qué sustancia es prioritaria en la cuenca. Un segundo índice permite ordenar la magnitud del riesgo relativo por estación de monitoreo, considerando todos los contaminantes presentes en ella. El níquel, cadmio, cobre y arsénico disueltos resultaron los contaminantes prioritarios de la cuenca, plasmados en un mapa de riesgos resultando una herramienta para la gestión ambiental, en general, y la evaluación de los recursos hídricos de la región en particular.*

**Palabras clave:** Evaluación de Riesgo, Calidad de Agua, Río Pilcomayo, metales pesados

### 1. INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Río Pilcomayo conforma una extensa área de, aproximadamente, 290.000 km<sup>2</sup> compartida entre Argentina, Bolivia y Paraguay (Figura I), integrando junto con la Cuenca del Río Bermejo las áreas vertientes por margen derecha del Río Paraguay, tributario en la megacuenca del Río de la Plata [1].

El río recorre más de 1.000 km desde los 4.600 m de altura en sus nacientes en Bolivia hasta los 250 m en los alrededores de Misión La Paz / Pozo Hondo, frontera entre los territorios argentino y paraguayo [2]. En la cuenca alta el Pilcomayo es un río de montaña. Al abandonar

el “subandino”, en la región de la ciudad de Villa Montes (Bolivia) entra en la planicie del Chaco y se convierte en un río de llanura.

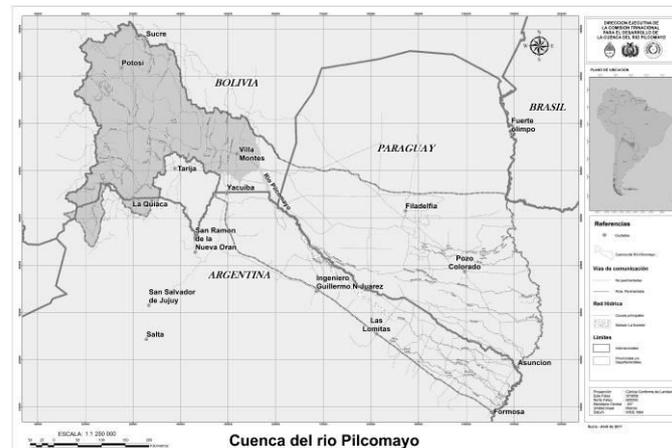


Figura I. Cuenca del Río Pilcomayo

Las variabilidades climática y geológico-geomorfológica han conformado un gran número de paisajes, hábitats de más de 20 pueblos indígenas [1]. La base de la economía de subsistencia a lo largo de la cuenca es la agricultura y la ganadería. En la cuenca alta, además de la producción campesina de subsistencia, la actividad económica principal es la minería. Su principal centro minero se encuentra en el Departamento de Potosí (Bolivia). En la cuenca media, especialmente desde el norte de la provincia O'Connor (Bolivia) hasta Misión La Paz (Argentina) se practica la pesca, cuya especie principal de aprovechamiento es el sábalo [1]. La mayor demanda de agua se encuentra concentrada en la cuenca alta en Bolivia, relacionada principalmente con el elevado requerimiento para riego como sostenedor del desarrollo agrícola en una zona de muy elevado déficit. A las limitaciones de cantidad también se suma un condicionante de calidad del agua. En la cuenca baja, se suman a esa problemática los procesos de atarquinamiento y retroceso del cauce.

Los gobiernos de los tres países han creado la Comisión Trinacional para el desarrollo de la cuenca del río Pilcomayo que tiene, desde el año 2008, como instancia técnica, a la Dirección Ejecutiva [3], encargada, entre otras funciones, de generar, recopilar y procesar información hidrológica, meteorológica y de calidad de aguas y sedimentos. El Plan de Monitoreo de la cuenca del río Pilcomayo se lleva a cabo siguiendo las directivas emanadas de talleres realizados entre los años 2006 y 2007 con participación de especialistas de los tres países [4, 5]. En dichos talleres se definió la realización de monitoreos intensivos y extensivos en la cuenca, con frecuencias aproximadamente mensuales y semestrales, respectivamente, consensuando las metodologías analíticas y los puntos de monitoreo para contar con datos analíticos confiables para su interpretación.

En lo referente a las Normativas de los países de la cuenca, se observa que éstas difieren entre sí en cuanto a los valores máximos admisibles para cada país sobre los distintos parámetros

[6, 7, 8]. No existe un criterio único por lo tanto es muy difícil realizar interpretaciones respecto de la calidad del agua. El uso de un índice puede evitar las dificultades que surjan de la simple comparación de las concentraciones determinadas en los monitoreos contra normas, estándares o niveles guía nacionales.

El procedimiento denominado COMMPS es un Sistema escalonado de priorización compuesto de los siguientes pasos.

- a. Selección de unalista de sustancias candidatas.
- b. Cálculo de los valores de exposición, en función de datos de programa de monitoreo.
- c. Cálculo de valores de efecto, en función de datos toxicológicos disponibles o modelados para las sustancias.
- d. Cálculo de un valor de clasificación basado en el riesgo, que se obtiene multiplicando los valores de efecto y de exposición para cada sustancia.

Utilizando datos relevados en tareas de monitoreo, se desarrolla un *Índice de riesgo de Contaminación por sitio de muestreo* que permite realizar una comparación relativa del estado ambiental en el sitio de muestreo y estudiar su evolución en el tiempo.

La aplicación de dos índices, Índice de riesgo para un contaminante prioritario  $i$  ( $I_{Prio_i}$ ) e Índice del Sitio ( $I_{sit_i}$ ), permite identificar a los contaminantes más relevantes de la región en estudio teniendo en cuenta tanto su abundancia como su riesgo toxicológico (toxicidad, bioacumulación y persistencia) y la clasificación de los diferentes sitios de muestreo en función de una escala relativa. Los índices obtenidos se encuentran en un rango entre 0 (mejor calidad del agua) y 1 (peor calidad de agua) divididas en cinco categorías descriptivas.

La exposición crónica a los metales pesados pueden generar: alteraciones a nivel del Sistema Nervioso Central, alteraciones dérmicas, cardiovasculares, respiratorias, gastrointestinales y renales, así como alteraciones citogenéticas e inmunológicas y del sistema reproductor.

En este trabajo se presenta la aplicación de una evaluación de riesgo en la Cuenca del Río Pilcomayo que permite priorizar metales pesados sobre la base de su ocurrencia y de sus efectos toxicológicos, utilizando en el procedimiento COMMPS [9, 10].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Metodología de muestreo y análisis de metales en agua

El plan de monitoreo sigue los lineamientos aprobados por los tres países en los Talleres de Calidad de Agua [4, 5] que contemplan entre otras cosas, la metodología de análisis de metales disueltos, lugares y frecuencias.

En la cuenca se monitorea, desde el año 2006, un total de 32 estaciones con frecuencia semestral: 10 en Argentina, 13 en Bolivia y 9 en Paraguay. La cantidad de muestras en cada sitio se indica en la Tabla I. (Figura II). Existen cinco puntos estratégicos que se muestrean con frecuencia mensual [3, 4, 5].

Los metales disueltos fueron evaluados sobre muestra obtenida y filtrada en campo ( $0,45 \mu\text{m}$ ) de acuerdo a la metodología EPA 1669 [11]. Las muestras fueron envasadas en botellas de polietileno de alta densidad (PEHD) y preservadas con  $\text{HNO}_3$  sub-boiled a  $\text{pH} < 2$  y cadena

de frío. Para la determinación de mercurio se utilizaron frascos de vidrio borosilicatado y se conservó la muestra acidificándola con HNO<sub>3</sub> al 10% en oscuridad.

Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química Analítica en Medios Activos de la Comisión Nacional de Energía Atómica, laboratorio que participó satisfactoriamente del 7th Performance Evaluation Study (2010) y del 8th Performance Evaluation Study (2013) organizado por la red GEMS WATER PNUMA durante el período de obtención de las concentraciones de metales disueltos aquí utilizadas. El análisis incluye la digestión ácida asistida por microondas [12] y la determinación de metales por ICP-MS utilizando un equipo Perkin Elmer ELAN ICP DRCII y Detector de Espectrometría de Masa [13].

Estaciones de muestreo	Total de datos	Latitud	Longitud
Potosí – Río de la Ribera	142	19° 35' 51,4"	65° 43' 53,1"
Liviara - Río Oros mayo	152	22° 32' 33,5"	66° 20' 46,5"
San Antonio (Potosí) - Río Aljamayu	150	19° 34' 42,3"	65° 48' 11,3"
La Quiaca - Río La Quiaca	152	22° 05' 51,0"	65° 35' 14,6"
Tarapaya - Río Tarapaya	412	19° 28' 18,9"	65° 47' 37,8"
Chuquiago - Río San Juan del Oro	151	21° 33' 41,3"	65° 38' 52,3"
Cotagaita - Río Cotagaita	153	20° 49' 14,2"	65° 40' 02,4"
Tumusla - Río Tumusla	152	20° 29' 14,3"	65° 37' 7,34"
Tupiza-La Angostura - Río Tupiza	141	21° 30' 14,4"	65° 42' 23,9"
El Puente - Río San Juan del Oro	426	21° 14' 22,0"	65° 12' 32,1"
Palca Grande - Río Tumusla	405	20° 44' 31,6"	65° 14' 27,9"
Puente Mendez - Río Pilcomayo	164	19° 21' 36,5"	65° 10' 14,9"
San Josecito - Río Pilaya	151	21° 09' 12,2"	64° 13' 54,7"
Puente Aruma - Río Pilcomayo	151	20° 54' 51,1"	64° 06' 40,0"
Villa Montes - Río Pilcomayo	436	21° 15' 31,7"	63° 30' 41,6"
La Paz - Río Pilcomayo	683	22° 22' 43,0"	62° 31' 0,9"
El Potrillo - Bañado La Estrella	126	23° 08' 17,2"	61° 57' 48,5"
María Cristina - Bañado La Estrella	191	22° 39' 55,1"	62° 12' 39,2"
General Díaz - Río Pilcomayo	142	23° 34' 9,5"	60° 31' 24,8"
Bañado Las Garzas - Bañado Las Garzas	52	23° 32' 19,8"	60° 15' 13,4"
Ruta 9 - Río Verde	110	23° 12' 53,9"	59° 12' 08,7"
Ruta 95 - Riacho Montelindo	124	25° 8' 55,3"	59° 40' 45,3"
Ruta 9 - Río Negro	152	24° 11' 23,4"	58° 17' 59,5"
Cadete Pando - Río Confuso	38	24° 24' 34,7"	58° 53' 09,8"
General Bruguez - Río Pilcomayo	115	24° 44' 54,0"	58° 49' 59,3"
Ruta 9 - Río Montelindo	154	23° 53' 35,8"	58° 26' 47,0"
Salida Laguna Salada - Laguna Salada	115	24° 41' 47,1"	59° 49' 03,2"
Villa Hayes - Río Confuso	165	25° 06' 26,0"	57° 32' 48,1"
Ruta 11 - Riacho Montelindo	154	25° 47' 15,8"	58° 1' 17,4"
Ruta 28-Vertedero - Bañado La Estrella	126	24° 24' 31,5"	60° 20' 03,5"
Clorinda - Riacho Porteño	139	25° 15' 55,6"	57° 43' 43,5"
Puente Loyola - Río Pilcomayo	167	25° 15' 51,3"	57° 43' 27,8"
<b>Número total de datos</b>	<b>6091</b>		

Tabla I. Estaciones de muestreo Cuenca del Río Pilcomayo y número de datos de concentraciones de metales disueltos relevados [3]



Figura II. Confluencia descargas dique San Antonio con Aljamayu (izq); aforo a vadeo (der)

Recibidos los informes de laboratorio, los datos fueron revisados para posteriormente ser almacenados en la Base de Datos de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional (CTN), base de libre acceso previa solicitud de una habilitación a la Dirección Ejecutiva a través de su página web.

## 2.2. Metodología de Cálculo de los Índices

### 2.2.1. Cálculo del Índice de riesgo por sustancia prioritaria (COMMPS)

El índice de riesgo prioritaria  $i$  para una sustancia particular,  $I\_Prio_i$ , se calcula a través del producto entre el Índice de exposición de la sustancia  $i$ ,  $I\_Exp_i$ , y su correspondiente Índice de Efecto,  $I\_Ef_i$ :

$$I\_Prio_i = (I\_Exp_i) * (I\_Ef_i) \quad (1)$$

El índice de exposición de una sustancia deriva de todos los valores de concentración medidos para esa sustancia en cada sitio de monitoreo. En su cálculo intervienen el valor de concentración del percentil 90,  $C_i$ , para todos los valores medios en cada sitio, y los valores  $C_{min}$  y  $C_{max}$  que corresponden a los extremos inferior y superior del rango de ocurrencia de metales en agua ambiente establecido entre 0,05 y 200  $\mu\text{g/L}$  [9].

$$I\_Exp_i = 10 * \frac{\log \frac{C_i}{10^{-1} * C_{min}}}{\log \frac{C_{max}}{10^{-1} * C_{min}}} \quad (2)$$

El Índice de Efecto  $I\_Ef_i$  calculado en el desarrollo de COMMPS en su Anexo V [9] refleja efectos tóxicos directos en organismos acuáticos,  $Ef_{di}$  y efectos indirectos sobre humanos,  $Ef_{hi}$  por ingestión de agua o comida.

$$I\_Ef_i = Ef_{d_i} + Ef_{h_i} \quad (3)$$

Se adoptan los valores toxicológicos desarrollados en [9], detallados en la Tabla II.

Sustancia i	I_Ef <sub>i</sub>
Arsénico disuelto	5,33
Cadmio disuelto	9,73
Cobre disuelto	5,63
Cromo disuelto	4,32
Mercurio disuelto	8,12
Níquel disuelto	6,73
Plata disuelto	6,24
Plomo disuelto	6,46
Zinc disuelto	3,45

Tabla II. Índices de efecto para metales[9]

El Índice de riesgo de Contaminación del sitio  $I\_Sit_j$  se calcula como una sumatoria de productos entre el Índice de exposición  $I\_Exp_{ij}$  y el Índice de efecto  $I\_Ef_i$  para cada sustancia  $i$ , en cada sitio  $j$ .

$$I\_Sit_j = \frac{\sum ((I\_Exp_{ij}) * (I\_Ef_i))}{n} \quad (4)$$

Donde:

$I\_exp_{ij}$  = el índice de exposición de la sustancia  $i$  en el sitio de muestreo  $j$

$n$  = el número de sustancias consideradas.

Una vez calculados los índices para cada una de las estaciones, se normaliza, es decir, se ajustan los índices a una escala entre 0 y 1 para todos los sitios en el área de estudio, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I\_Sit_{jnorm} = \frac{I\_Sit_j - I\_min_j}{I\_max_j - I\_min_j} \quad (5)$$

Dónde:

$I\_Sit_{jnorm}$  = Índice de riesgo de Contaminación para el sitio de muestreo normalizado

$I\_min_j$  = Valor mínimo hallado entre los sitios

$I\_max_j$  = Valor máximo hallado entre los sitios

Con la aplicación de estos algoritmos se obtiene un mapa que representa a los índices de riesgo de contaminación normalizados de los sitios en el área de estudio, divididos en cinco categorías entre 0 y 1.

Inicialmente se consideraron todos los metales monitoreados: plomo, mercurio, níquel, cadmio, arsénico, cobre, cromo, plata y zinc. Sin embargo sólo luego de un proceso de selección sugerido en el Método COMMPS se consideraron arsénico, cadmio, cobre, cromo, níquel, mercurio, plomo y zinc. El criterio de selección consiste en aplicar que para un

parámetro que se informara con diferentes límites de detección (LD) en alguna oportunidad, se seleccione como único límite de detección al mayor de ellos para todos los casos. Por otro lado se excluye a toda sustancia que no hubiera sido detectada por encima del límite de detección en más del 10 % de las mediciones. Todos los valores informados como inferiores al límite de detección fueron reemplazados por la mitad del valor del límite de detección a los fines del cálculo [14]. Con estos criterios se elimina plata que sólo tuvo un 8 % de valores informados por encima del límite de detección en todos los sitios considerados en el período estudiado.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La base de datos utilizada fue la BDU de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo. Se realizó la caracterización estadística de los datos de metales en la cuenca (Tabla III).

Sustancia (disuelta)	Datos totales	Datos < LD	% Datos positivos	Media (µg/L)	Percentilo 90 (µg/L)	Mín (µg/L)	Máx (µg/L)
Arsénico	486	15	97	6,65	13	0,95	200
Cadmio	486	344	29	3,99	0,77	0,03	264
Cobre	483	66	86	10	15	1,04	450
Cromo	487	148	70	0,75	1,16	0,21	26
Mercurio	480	401	16	0,02	0,04	0,02	8,12
Níquel	484	28	94	5,95	12	0,88	88
Plata	480	443	8	0,08	0,11	0,03	3,86
Plomo	484	245	49	0,39	0,56	0,10	15
Zinc	479	4	99	515	54	2,90	46859

Tabla III. Caracterización estadística de metales disueltos en la cuenca del río Pilcomayo

Utilizando los índices de efecto de la Tabla II, los datos de la Tabla III, y aplicando las expresiones (2) y (4) con  $C_{\min} 0,05 \mu\text{g/L}$  y  $C_{\max} 200 \mu\text{g/L}$ , se determinó el índice de exposición de cada sustancia (Figura III) y con éste el índice de riesgo por sustancia prioritaria  $i$  (Figura IV). Los índices obtenidos se comparan con los índices determinados para cuencas europeas[9].

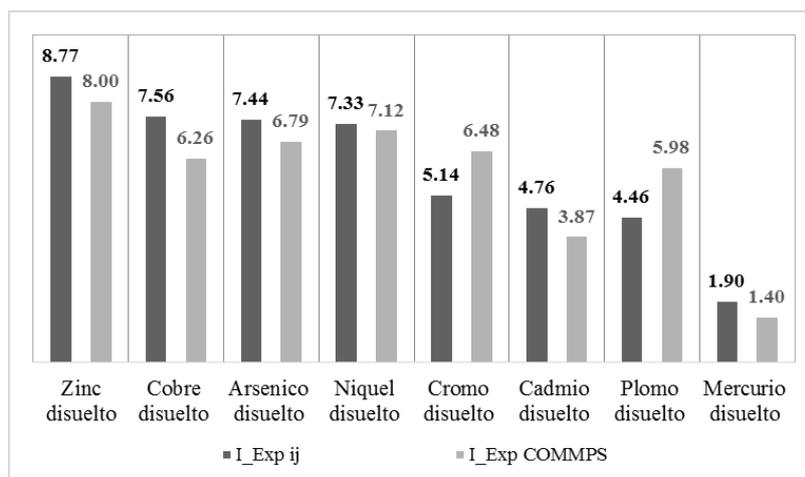


Figura III. Valores de índice de exposición para cada sustancia hallados en la Cuenca Río Pilcomayo ( $I_{Exp ij}$ ) y en cuencas de Europa ( $I_{Exp COMMPS}$ ) [9]

Los índices de exposición obtenidos en este trabajo (Figura III), con excepción de cromo y plomo, son mayores a los obtenidos en cuencas europeas. Aunque el zinc tenga un mayor índice de exposición (8,77), su índice de efecto es menor (3,45), lo que reduce su prioridad. Los índices de prioridad calculados se muestran en la Figura IV.

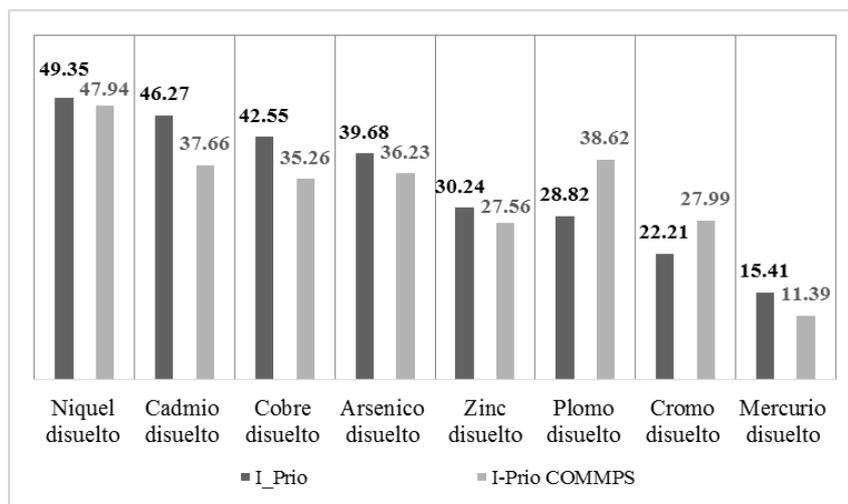


Figura IV. Índice de riesgo por sustancia prioritaria, Cuenca Río Pilcomayo ( $I_{Prio}$ ) y en cuencas de Europa ( $I_{Prio COMMPS}$ ) [9]

Los Índices de Riesgo por sustancia prioritaria hallados para la Cuenca del Río Pilcomayo, con excepción de plomo y cromo, son mayores que los obtenidos en las cuencas europeas; las sustancias con un índice de riesgo alto son el níquel, cadmio, cobre y arsénico principalmente. Comparando con los valores de  $I_{Prio COMMPS}$  hallados para Europa [9] se observa que la prioridad para el plomo es menor en el Pilcomayo en 10 unidades, que puede

ser debido a que el análisis en Europa contempla un número mayor de fuentes de contaminación (Figura IV).

Finalmente se calcula el Índice de riesgo de Contaminación del sitio  $I_{Sit}$  (Ecuación 4) y se lo normaliza en un rango de 0 (bajo riesgo de contaminación) a 1 (máximo riesgo de contaminación) (Ecuación 5, Figura V). Los resultados presentados en el mapa de la Cuenca (Figura V), muestran que las áreas que no corresponden a las cabeceras de cuenca presentan bajos valores de índices de riesgo de contaminación (color verde oscuro y claro), principalmente debido a la baja actividad antropogénica, por lo tanto baja contaminación química, y por la dilución natural de los cuerpos de agua. Por otro lado, se detectaron niveles relativamente altos en el índice de riesgo de contaminación del sitio en las cabeceras de las cuencas, río Aljamayu (en San Antonio) y río Orosmayo (en Liviara) donde se desarrolla una mayor actividad de extracción minera.

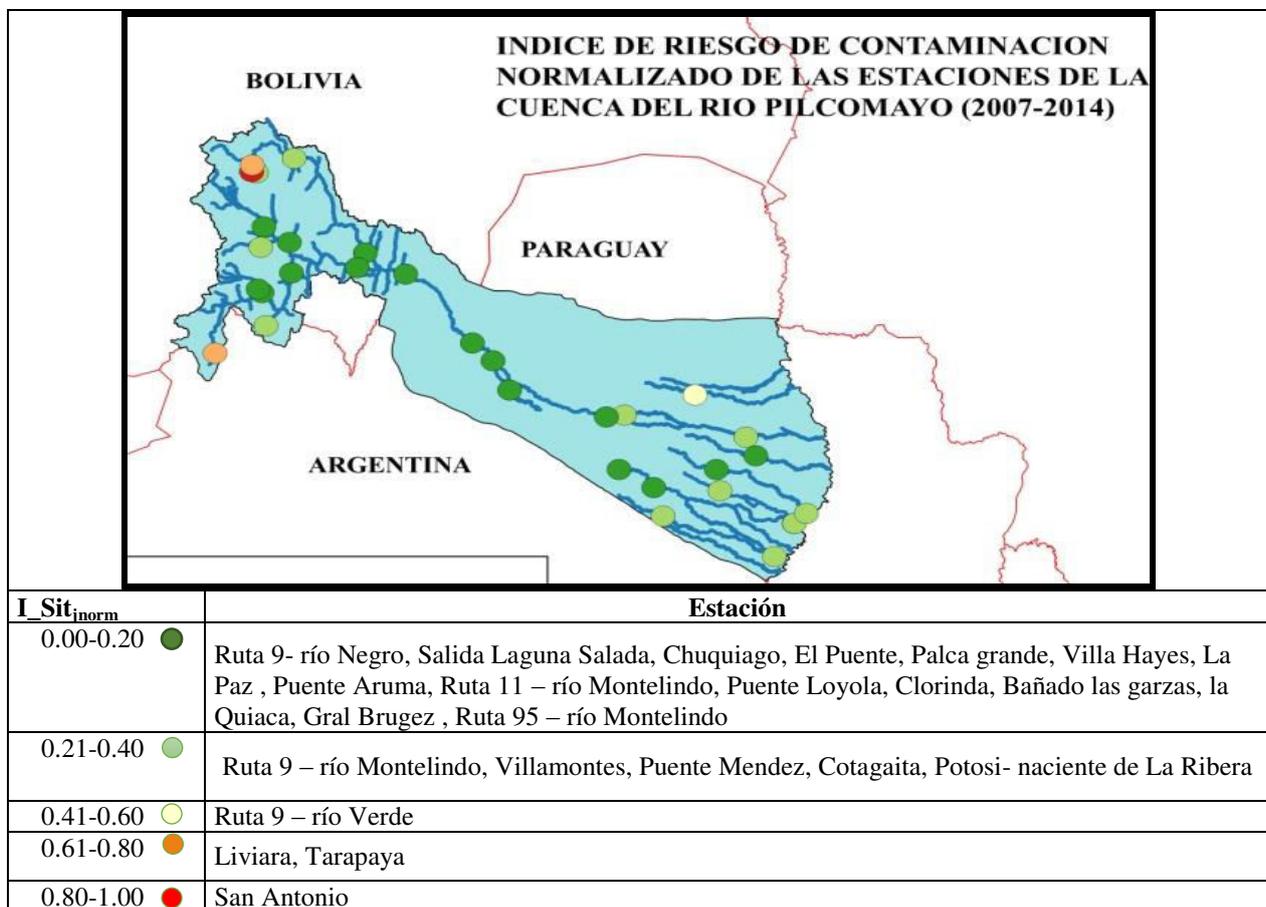


Figura V. Índice de Riesgo de Contaminación normalizado de las estaciones de la Cuenca del Río Pilcomayo

#### 4. CONCLUSIONES

Se han identificado como contaminantes más relevantes en la cuenca del Pilcomayo al níquel,

cadmio, cobre y arsénico disueltos. Los índices de riesgo obtenidos para la cuenca del Pilcomayo en la mayoría de los metales son mayores en comparación con Europa, principalmente debido a las actividades mineras, desarrolladas en la cuenca desde 1545, mientras que en las cuencas europeas se han considerado un mayor número de cuencas con distintas actividades antrópicas.

En la Cuenca se utilizó la técnica de amalgamación con mercurio para la extracción de la plata entre 1570 y 1900, por lo que el obtener el menor índice prioritario indicaría que es probable que éste permanezca en algún compartimento ambiental de la cuenca y solo quede expuesto por algún evento hidrológico extremo.

Las diferencias normativas de los países de la cuenca en lo que respecta a calidad de agua dificultan realizar interpretaciones respecto de la calidad del agua. El uso de los índices presentados puede subsanar las dificultades que surgen de la comparación directa parámetro por parámetro contra normas o estándares.

El mapa presentado resume de manera simple el riesgo de contaminación con metales en la zona de estudio, convirtiéndose en una valiosa herramienta de gestión para las autoridades competentes y de evaluación de la evolución de la calidad del agua a lo largo del tiempo.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo, la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación y todas las Instituciones colaborantes que participan directa o indirectamente en los Programas de Monitoreo.

## REFERENCIAS

- [1] Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo. Línea Base Ambiental y Socioeconómica de la cuenca del río Pilcomayo. (2007).
- [2] Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional Para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo (DE-CTN), Base de datos Geográfica de la DE CTN,(2014).
- [3] Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional Para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo (DE-CTN), Dirección Ejecutiva de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo, [www.pilcomayo.net](http://www.pilcomayo.net), visitado: 25/04/2017.
- [4] Primer Taller de Calidad de Agua para la Cuenca del Río Pilcomayo, Tarija, Bolivia. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo. Proyecto Pilcomayo. Biblioteca de la DECTN, (2006)
- [5] Segundo Taller Calidad de Agua para la Cuenca del río Pilcomayo, Asunción del Paraguay. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo. Proyecto Pilcomayo. Biblioteca de la DECTN. (2007).
- [6] Ley del Medio Ambiente N°1333. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica. Honorable Congreso Nacional. Bolivia, (1992).
- [7] Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente, Subsecretaría de Recursos Hídricos, Dirección Nacional de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos,

- Programa de Calidad de Agua, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, República Argentina, (2004).
- [8] Resolución N° 222/02. Padrón calidad de las aguas Paraguay. Secretaríadel Ambiente. Paraguay (2002)
- [9] Combined Monitoring-based and modelling-based priority setting scheme (COMMPS Procedure). Revised Proposal for a List of Priority Substances in the Context of the Water Framework Directive. Fraunhofer-Institut Umweltchemie und Oekotoxicologie. 98/788/3040/DEB/E1, (1999).
- [10] Teixidó E. Terrado M. Ginebreda A. and Tauler R. “Quality assessment of river waters using risk indexes for substances and sites, based on the COMMPS procedure”, *Journal of Environmental Monitoring*, 12, pp.2120–2127. (2010).
- [11] United States Environmental Protection Agency(US-EPA). Method 1669. Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Engineering and Analysis Division (4303), 401 M Street S.W. Washington, D.C. 20460, (1996).
- [12] United States Environmental Protection Agency(US-EPA). Method 3015A, Microwave assisted acid digestion of aqueous samples and extracts,(2007).
- [13] United States Environmental Protection Agency(US-EPA). Method 200.8, Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, Revision 5.4, (1994).
- [14] Farnham I. M., Singh A. K., Stetzenbach K. J. and Johannesson K. H., “Treatment of non-detects in multivariate analysis of groundwater geochemistry data”, *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, 60, pp. 265–281, (2002).