

Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del río Puyango Tumbes

Environmental management plan of hydric resource of Puyango - Tumbes river's basin

Napoleón Puño Lecarnaqué*

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo la determinación de la calidad del recurso hídrico del río Puyango Tumbes, las fuentes contaminantes, el establecimiento de un modelo de correlación entre la concentración de metales pesados y el caudal medio, así como el desarrollo de un plan de manejo ambiental. La metodología consistió en determinar una zona de evaluación del agua superficial del río en la cuenca de la parte peruana, materializándose 8 puntos de muestreo, en dos épocas del año, época lluviosa (marzo), y época seca (noviembre). Los resultados obtenidos fueron: Para el caso de los parámetros microbiológicos, todas las muestras tomadas han superado el estándar de calidad ambiental. Las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico son las actividades mineras de refinación de oro de la parte alta de la cuenca, la actividad agrícola de la parte baja, generación de aguas residuales domésticas y residuos sólidos y los efluentes de la actividad langostinera. Los principales contaminantes que afectan la calidad de las aguas de la cuenca y que sobrepasan los ECA son: los coliformes termotolerantes (> a 0 NMP/100 mL), As (>a 0,01 mg/L), Cd (>a 0,003 mg/L), Fe (>a 0,3 mg/L), Mn (>a 0,1 mg/L) y Pb (>a 0,01 mg/L). La asociación entre el caudal y la concentración de contaminantes es no significativa para los modelos estadísticos de regresión lineal y curvilínea dado que los índices de regresión y correlación son 0. Para los modelos estadísticos no paramétricos de Pearson y Spearman existe asociación entre las variables caudal promedio anual y el total de contaminantes metálicos anuales con valores de 18% y 33% respectivamente. El plan de manejo ambiental propuesto involucra 6 programas: Reubicación de la actividad minería y dragado de sedimentos de las zonas afectadas, reforestación de la parte alta, defensas ribereñas, tratamiento de aguas residuales, programas de reciclaje y disposición final de residuos sólidos; y programa de educación ambiental.

Palabras clave: Recurso Hídrico, fuentes contaminantes, metales pesados, Estándares de calidad ambiental, Plan de manejo ambiental.

Abstract

The present study aimed to determine the quality of water resources Puyango Tumbes River, polluting sources, establishing a pattern of correlation between the concentration of heavy metals and the average flow and the development of a management plan environment. The methodology used was to determine an area of evaluation of surface water in the river basin of the Peruvian part, materializing eight sampling points in two seasons, rainy season (March) and dry season (November). The results were: the case of microbiological parameters, all samples exceeded the standard of environmental quality. The main sources of pollution of water resources are mining gold refining the upper part of the basin, the agricultural activity of the lower generation from domestic wastewater and solid waste and effluents from the shrimp activity. The main pollutants affecting water quality in the basin and in excess of ACE are: thermotolerant coliforms (> 0 MPN / 100 mL), As (> 0.01 mg / L), Cd (> 0.003 mg / L), Fe (> 0.3 mg / L), Mn (> 0.1 mg / L) and Pb (> 0.01 mg / L). The association between flow and pollutant concentration is not significant for the statistical models of linear and curvilinear regression because the regression and correlation indices are 0. For non-parametric statistical models Pearson and Spearman association exists between the variables average flow annual and total annual metal contaminants with values of 18% and 33% respectively the proposed environmental management plan involves six programs: Relocation of mining and dredging of sediments affected areas, reforestation Uptown, coastal defenses activity wastewater treatment, recycling programs and solid waste disposal; and environmental education program.

Key words: Water Resources, pollution sources, heavy metals, environmental quality standards, environmental management plan.

Universidad Nacional de Tumbes, Av. Universitaria S/N - Tumbes, Perú.

* Autor correspondiente: mrsjoule1@hotmail.com (N. Puño).

Introducción

INRENA (1999), en el “Estudio Preliminar de la Calidad del agua del Río Tumbes” concluyó que los resultados de coliformes fecales arrojan valores que superan el límite de 200 coliformes por 100 ml.

Carril (2002), en su trabajo de investigación titulado “Contaminación del Río Tumbes por Residuos Químicos y Microbiológicos”, llegó a la conclusión que existen altos niveles de hierro (119,5 mg/l), manganeso (1,7 mg/l) y plomo (0,146 mg/l).

El PEBPT (2003), en el marco de su Proyecto “Caracterización del Acuífero del Valle Zarumilla” concluyó que: (a) existe una presencia de metales naturales en la cuenca (As, Cd, Cu, Zn, Hg y Pb), y (b) los metales arsénicos y plomo y los cianuros presentaron valores que excedieron los niveles guías de calidad de agua para abastecimiento público.

Otiniano (2008) en su tesis “Evaluación del Comportamiento del Recurso Hídrico en el Río Puyango - Tumbes Periodo 1963 - 2005”, concluyó que existe la presencia de metales pesados en la cuenca (As, Cd, Cu, Zn, Hg y Pb).

La presente investigación se justifica teóricamente porque sus resultados contribuirán a elevar el conocimiento sobre el problema de contaminación de las aguas del Río Puyango - Tumbes como consecuencia de la minería metálica en la parte alta de la cuenca y contaminación biológica en su parte baja, permitirá describir, explicar y predecir los hechos que vienen sucediendo y sucederán en la cuenca, con respecto a la contaminación.

Plantear un plan de manejo tiene justificación práctica y política, para que autoridades y usuarios de la cuenca implementen acciones administrativas, técnicas y legales, para mitigar o eliminar las causas de la contaminación de las aguas del Río Puyango-Tumbes, haciéndolo un instrumento de cambio en la vida socio-económica de sus actores, mediante la ejecución de proyectos sostenibles.

El problema principal de la Cuenca del río Puyango Tumbes deriva de las fuentes contaminantes ubicadas en su parte alta y media, las que incorporan una cantidad considerable de metales pesados al agua y en mayor medida a los sedimentos. Las principales actividades que generan contaminantes y los incorporan al río Puyango-Tumbes son la actividad minera en las localidades de Portovelo y Zaruma en la Provincia del El Oro - Ecuador, así como la generación y vertido de residuos sólidos y aguas residuales de las poblaciones asentadas en las riberas del río.

La hipótesis a demostrar fue que actualmente la cuenca del río Puyango - Tumbes viene siendo manejada en una forma totalmente informal, lo que está permitiendo un paulatino y sostenido crecimiento de los problemas de contaminación de aguas superficiales. El objetivo fue elaborar un Plan de Manejo Ambiental de los Recursos Hídricos de la cuenca del río Puyango-Tumbes (Sector Peruano), para lograr una explotación sostenible, óptima y racional de sus recursos naturales renovables como el agua.

Materiales y métodos

La Cuenca del Río Puyango-Tumbes, drena un área de aproximadamente 4850 km², de lo cual, cerca del 60% de la cuenca colectora se encuentra en Ecuador y el 40% en Perú; el río desciende un total de 532 m hasta el Océano Pacífico, sobre una longitud de 230 km medidos a lo largo de su cauce, desde Portovelo en Ecuador, hasta la desembocadura en el Océano Pacífico, la cuenca

del río Puyango-Tumbes se ubica en las provincias de El Oro y Loja en la República del Ecuador y en la Región de Tumbes en la República del Perú, como se muestra en la Figura 1.

En la Cuenca Alta del Río Puyango (Ecuador) particularmente en los Cantones de Portovelo y Zaruma se ha realizado desde la época colonial, una actividad

minera artesanal de oro. Durante la primera mitad del siglo pasado, la minería fue llevada a cabo de manera mecanizada por la compañía *South American Development Company* (SADCO) de Estados Unidos. Se estima que SADCO produjo un total de 3,6 millones de onzas (108 toneladas) de oro. La presente investigación, acorde con las variables a analizar, es de tipo teórica práctica y la solución del problema está enmarcado dentro de lo descriptivo, explicativo y predicativo.

La población se encuentra constituida por la Cuenca del Río Puyango-Tumbes. La población elegida para la muestra, específicamente para la caracterización del recurso hídrico, fueron los puntos de monitoreo establecidos por la Dirección General de Salud ambiental (DIGESA) en el lado peruano. Figura 2, Estos puntos son:

- PE01 – Río Puyango Tumbes, antes de la confluencia con la Quebrada Cazaderos (cabo Inga)

- PE02 – Quebrada Cazaderos, antes de juntarse con el Río Puyango Tumbes.
- PE03 – Río Tumbes, después de la unión con la Quebrada Cazaderos
- PE04 – Río Tumbes, a 400 m del Puesto de Salud de Rica Playa.
- PE05 – Río Tumbes, Bocatoma La Peña.
- PE06 – Río Tumbes, Toma de la Captación EPS Aguas de Tumbes ATUSA.
- PE07 – Río Tumbes, a 1,5 km de la Caseta de Bombeo Coloma.
- PE08 – Río Tumbes, a 1,5 km aproximadamente antes de la Desembocadura al Océano Pacífico.

La información se recolectó directamente en campo mediante el uso de instrumentos especializados de muestreo y los datos fueron tratados y analizados con el uso del computador y el uso de paquetes estadísticos para investigadores, tal como el STATPAC (*Statistical Analysis Package*), Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS).

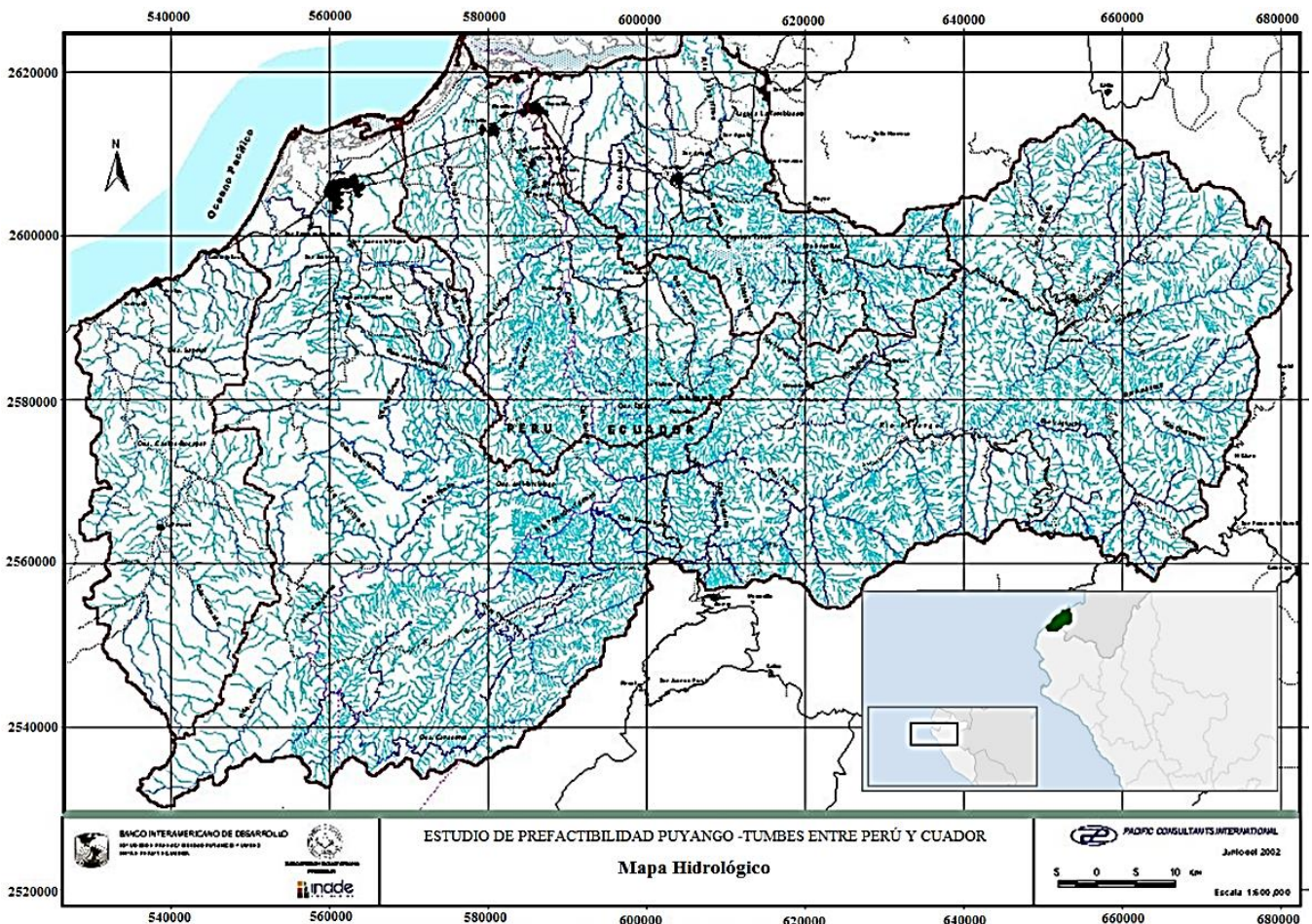


Figura 1. Mapa hidrográfico de la Cuenca del Río Puyango Tumbes.

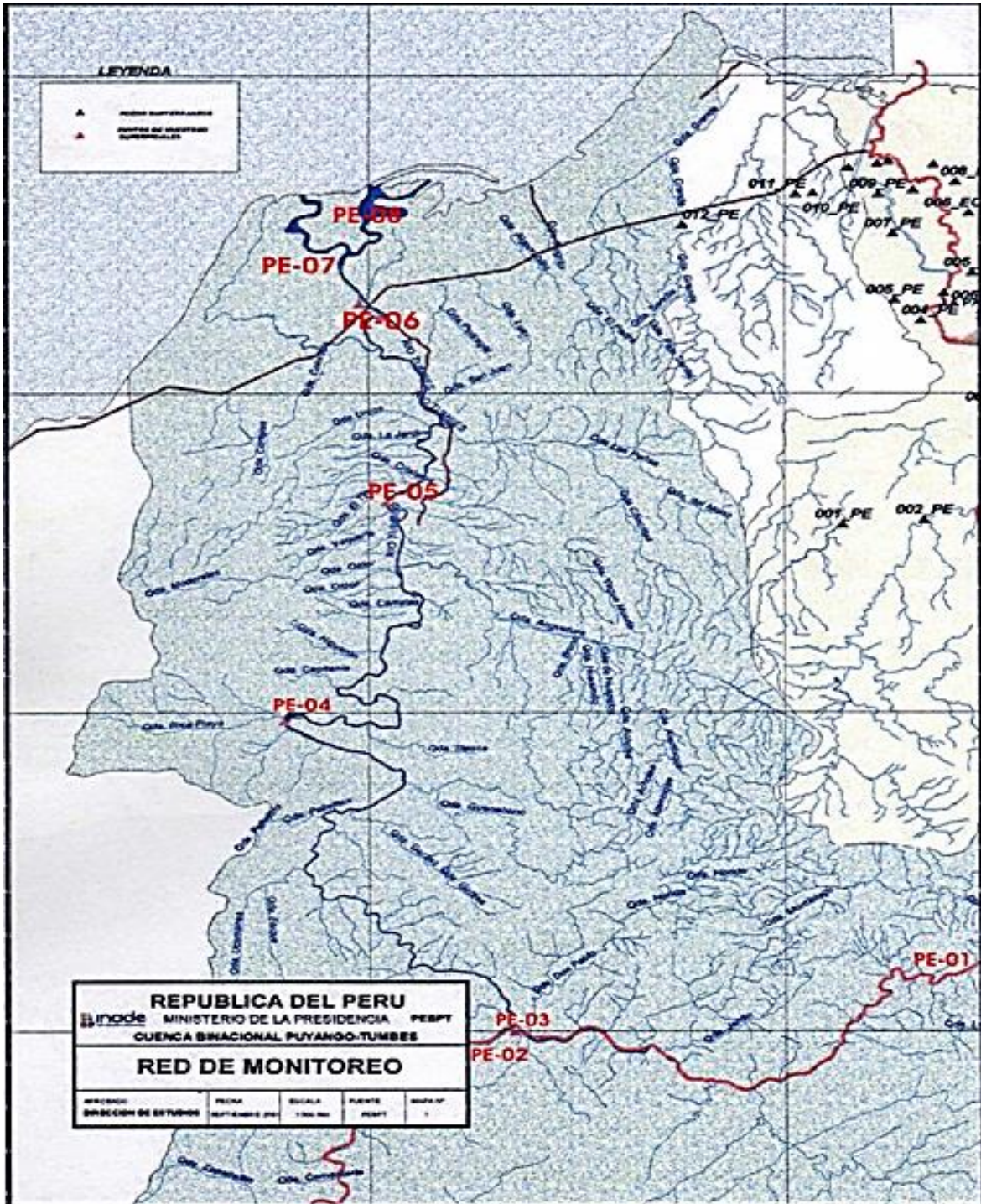


Figura 2. Estaciones de monitoreo del recurso hídrico - lado Peruano.

Resultados

Parámetros Microbiológicos

Para el caso de los parámetros microbiológicos, se analizaron los coliformes termotolerantes, los cuales muestran una situación particular desde la estación P06 en la época seca, debido a la presencia de

descargas de aguas residuales domésticas sin tratar (aguas arriba y aguas debajo de la planta de tratamiento de agua potable ATUSA), haciéndola potencialmente peligrosa para su consumo directo. En este caso todas las muestras tomadas para todas las

estaciones han superado el estándar de calidad Ambiental (ECA) (Ver Figuras 3 y 4).

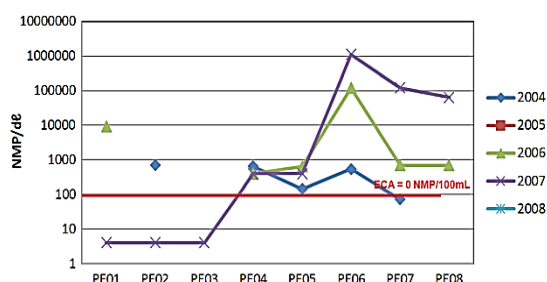


Figura 3. Comportamiento del contenido de Coliformes termotolerantes (NMP/dL) durante la época seca en el agua del río Tumbes por año y estación de monitoreo.

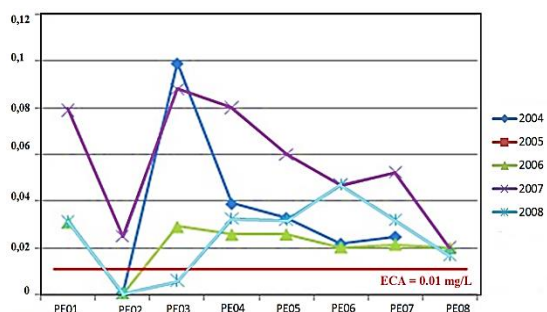


Figura 4. Comportamiento del contenido de arsenico (mg/L) durante la época seca en el agua del río Tumbes por año y estación de monitoreo.

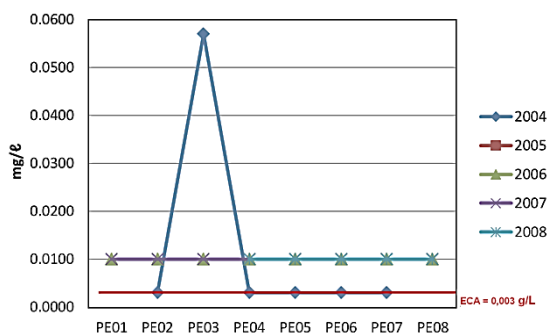


Figura 5. Comportamiento del contenido de Cadmio (mg/L) durante la época seca en el agua del río Tumbes por año y estación de monitoreo.

Metales Pesados

En los siguientes gráficos se ha sistematizado los resultados de metales pesados según estación de monitoreo, los años en los cuales se ha realizado y en estación seca (noviembre), por ser la más crítica.

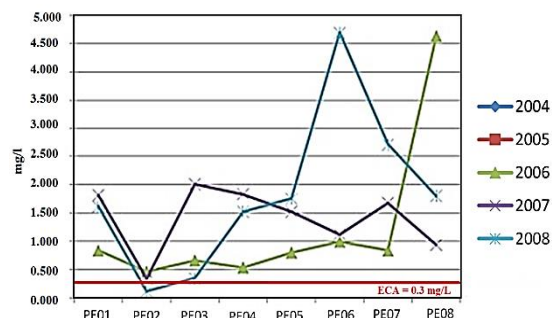


Figura 6. Comportamiento del contenido de Hierro (mg/L) durante la época seca en el agua del río Tumbes por año y estación de monitoreo.

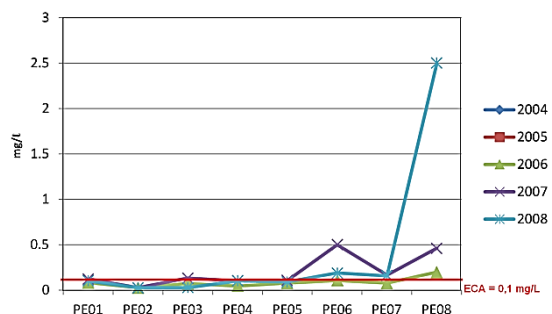


Figura 7. Comportamiento del contenido de Manganeseo (mg/L) durante la época seca en el agua del río Tumbes por año y estación de monitoreo.

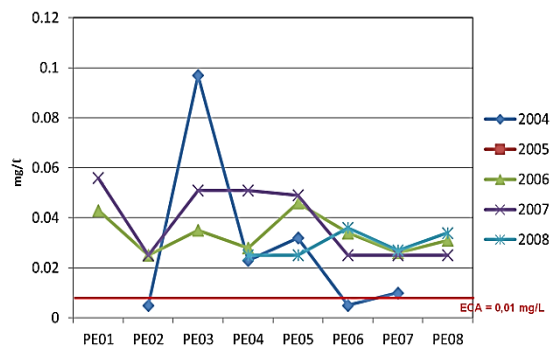


Figura 8. Comportamiento del con-tenido de Plomo (mg/L) durante la época seca en el agua del río Tumbes por año y estación de monitoreo.

Principales fuentes contaminantes

Las principales fuentes contaminantes identificadas de la Cuenca del Río Tumbes son la actividad minera artesanal de la parte alta, las descargas de la actividad agrícola, la actividad doméstica: descarga de efluentes crudos y vertido de residuos sólidos urbanos e industriales (Figura 9).

La agricultura es otra de las fuentes contaminantes identificadas, básicamente por las descargas de los drenes cargados de aguas con contaminantes como nitratos y nitritos, fosfatos, metales pesados y sobretodo pesticidas de todo tipo.

En la parte baja de la cuenca del Puyango Tumbes se desarrolla una actividad langostinera intensiva, que utiliza una gran cantidad de agua y por ende genera también grandes volúmenes de aguas residuales.



Figura 9. Ubicación macro de las principales fuentes contaminantes del río Tumbes.

Las poblaciones asentadas cerca de las márgenes de los ríos que conforman la cuenca del Puyango Tumbes, además de verter aguas residuales domésticas, también vierten residuos sólidos al río, debido a la falta de sitios técnica y ambientalmente adecuados (reellenos sanitarios) para tal fin.

Modelo correlacional de caudal v/s metales pesados

En la época seca y húmeda el caudal medio anual del río Puyango – Tumbes ha venido en un incremento gradual, tal como se ve en la Figura 10, 11 y 12 se nota una disminución de los niveles de concentración de metales pesados en el agua superficial, lo que indicaría que es posible que exista una correlación entre la cantidad de agua del río y la concentración de estos contaminantes.

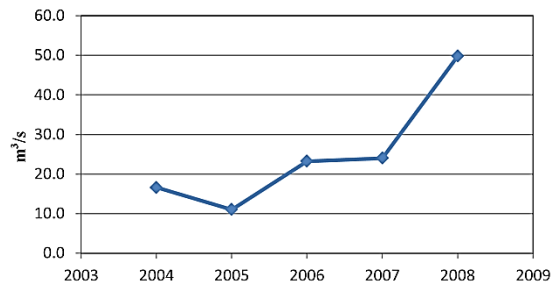


Figura 10. Variación del caudal medio en el periodo de estudio.

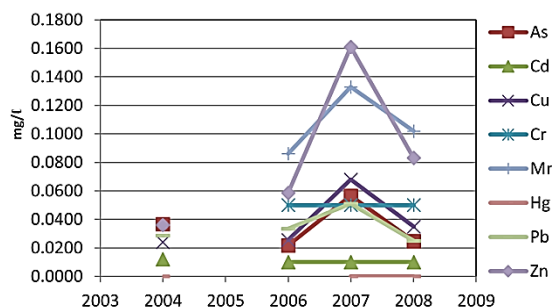


Figura 11. Correlación entre los caudales medios (m³/s) del mes de monitoreo en la época seca y los resultados de metales pesados (mg/L) en el agua del río Tumbes durante la época seca (promedio de las estaciones de monitoreo).

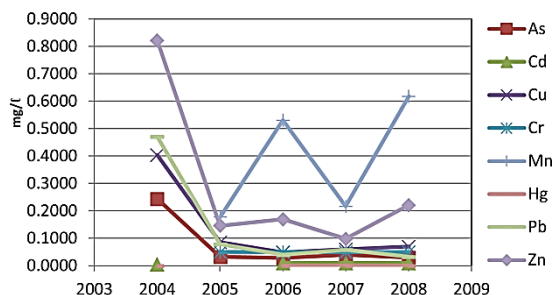


Figura 12. Correlación entre los caudales medios (m³/s) del mes de monitoreo en la época lluviosa y los resultados de metales pesados (mg/L) en el agua del río Tumbes durante la época lluviosa (promedio de las estaciones de monitoreo).

En la Tabla 1 se puede observar el promedio de la concentración de contaminantes (metales pesados) y el promedio anual del caudal (promedio de promedios).

En las Tablas 2 y 3 se aprecia el grado de asociación entre la magnitud de la concentración y el caudal promedio; existiendo una correlación positiva (+), esto es para el conjunto de la cuenca Puyango

Tumbes observándose que tanto por el método de *Pearson* y de *Spearman*, una paramétrica y una no paramétrica coinciden, al observar el 0,18 (18%) y el 0,33 (33%) que indica un grado de asociación que aparentemente es débil, sin embargo el 18 % como contaminación es considerado altamente peligroso para la salud humana, ni que decir del 33% que resulta más crítico.

Tabla 1. Estadística descriptiva de los datos obtenidos

Variable	Media	Desviación estándar	N° de datos
Total metales pesados (mg/L)	7,7	13,6	199
Caudal	103,6	125,9	199

Tabla 2. Correlación Método Pearson

Variable	Total metales pesados (mg/L)	Caudal
Total metales pesados (mg/L)	1	0,186
Caudal	0,186	1

Tabla 3. Correlación Método de *Spearman*

Variable	Total metales pesados (mg/L)	Caudal
Total metales pesados (mg/L)	1	0,337
Caudal	0,337	1

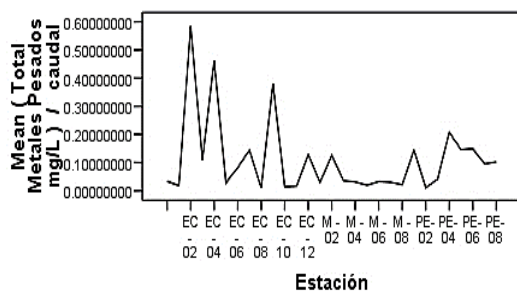


Figura 13. Concentraciones medias anuales de metales pesados (mg/L) por estaciones (Perú - Ecuador).

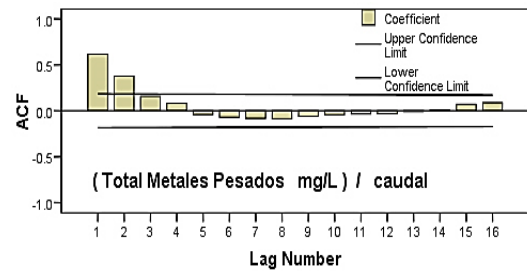


Figura 14. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias anuales de metales pesados (mg/L) por estaciones.

Al calcular los coeficientes de *Pearson* y *Spearman* para el lado peruano se puede apreciar que son positivos 0,29 y 0,48 respectivamente; mientras que, para el lado ecuatoriano, la asociación es negativa (-) o una relación decreciente, por lo que indica que aumente o disminuya el caudal en el Ecuador los niveles de contaminación se mantienen constantes, mientras que el Perú el efecto del caudal influye directamente sobre los niveles de contaminantes.

En la Figura 13 se indica que las mayores masas de contaminantes se encuentran en el Ecuador y además muestra por estaciones de control, apreciándose una variación con el tiempo; con este criterio se hace la autocorrelación para determinar si están asociados en el tiempo y de qué manera.

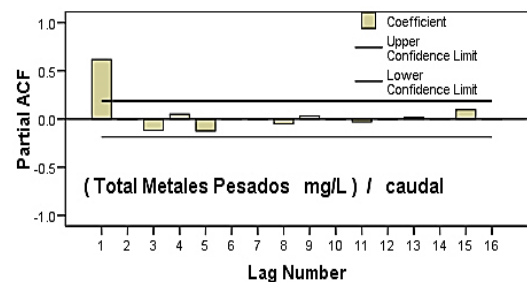


Figura 15. Coeficientes de autocorrelación entre concentraciones medias anuales de metales pesados (mg/L) por estaciones.

De acuerdo con las figuras 14 y 15, para Perú, se aprecia la existencia de correlación de primer y segundo grado, es decir existen dos periodos consecutivos pasados que influyen en el periodo presente para cualquier estación, por lo que se determinó la siguiente ecuación deducida de ambos gráficos:

$$y_t = 0,4469y_{t-1} + 0,0399$$

Donde

$$y = \frac{\text{Total_metales_pesados(mg/L)}}{\text{Caudal(m}^3/\text{s)}}$$

Plan de Manejo Ambiental

El presente Programa de Adecuación contiene básicamente las Medidas de Mitigación de los impactos negativos ejercidos sobre la Cuenca del río Puyango Tumbes y un Programa de Implementación con su respectivo Cronograma de Actividades e Inversiones. Los programas que contendría este plan de mitigación serían los siguientes:

- Reubicación de la actividad minería en la parte alta de la Cuenca (provincias de Portovelo y Zaruma) y dragado de sedimentos de las zonas afectadas (8 km del río Calera y 4 km del río Amarillo).
- Reforestación en la parte alta de la Cuenca.
- Defensas ribereñas a lo largo del río Puyango Tumbes.
- Aplicación de sistemas de tratamiento de aguas residuales para las poblaciones que descargan sus efluentes al río.
- Programas de reciclaje y disposición final de residuos sólidos.
- Educación Ambiental.

Discusión

Con respecto a la contaminación biológica, coliformes fecales, se superaron los índices ECA (0, NMP/100ml), tanto para la época seca como lluviosa, y tal como los resultados obtenidos por INRENA (1999), cuyos parámetros de coliformes fecales arrojó valores superiores a 200 coliformes por 100 ml, haciendo las aguas del río Puyango – Tumbes sumamente peligrosas para la salud humana.

El arsénico, en época seca con un valor de 0,1 mg/L y 0,45 mg/L en época lluviosa, corrobora lo indicado por Otiniano (2008) que concluye con que este metal pesado supera los límites permisibles tanto en la época de estiaje como la época de caudales normales, índices que superan el ECA que es de 0,01 mg/L.

El cadmio, en época seca de 0,6 mg/L y 0,1 mg/L en época lluviosa, corrobora lo indicado por Otiniano (2008) que concluye

con que este metal pesado supera el límite permisible tanto en la época de estiaje como en la época de caudales normales, índices que superan el ECA que es de 0,003 mg/L.

El fierro, en época seca de 4,5 mg/L y 70 mg/L en época lluviosa, son menores a los encontrados por Carril (2002) que fue de 119,5 mg/L, no cumplen con la calidad ambiental y superan el índice ECA de 0,3 mg/L.

El manganeso, en época seca de 2,5 mg/L, y 0,8 mg/L en época lluviosa, corrobora por lo encontrado por Carril (2002), no cumple con la calidad ambiental y superan el índice ECA de 1,7 mg/L.

El plomo, en época seca de 0,1 mg/L, y 1 mg/L en época lluviosa, corrobora por lo encontrado por Carril (2002) y PEBPT (2003), en 0,146 mg/L y 0,04 mg/L, no cumple con la calidad ambiental y superan el índice ECA de 0,01 mg/L.

Conclusiones

De acuerdo a las Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (Perú) para agua aprobado con DS N°002-2008-MINAM, esta agua es no apta para el consumo directo de personas y animales, no apta para riego de Vegetales de tallo corto o largo y de ser usada para potabilizarla debe ser con avanzados sistemas de tratamiento y filtrado.

Las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico de la cuenca del río Puyango Tumbes son las actividades mineras de refinación de oro de la parte alta de la cuenca (ríos Amarillo y Calera en Ecuador), la actividad agrícola de la parte baja (río Tumbes en Perú), generación de aguas residuales domésticas y residuos sólidos urbanos de las ciudades de

Portovelo, Zaruma, y Tumbes principalmente; y los efluentes de la actividad langostinera.

Los principales contaminantes que afectan la calidad de las aguas de la cuenca del Puyango Tumbes y que sobrepasan los estándares de calidad ambiental (para aguas de tipo A1) son: los coliformes termotolerantes (niveles mayores a NMP/100 mL), arsénico (niveles mayores a 0,01 mg/L), cadmio (niveles mayores a 0,003 mg/L), fierro (niveles mayores a 0,3 mg/L), manganeso (niveles mayores a 0,1 mg/L) y plomo (niveles mayores a 0,01 mg/L).

La asociación entre el caudal del río Tumbes y la concentración de contaminantes es no significativas para los modelos estadísticos de regresión lineal y curvilínea dado que los índices de regresión y correlación son 0.

Con los modelos estadísticos no paramétricos de *Pearson* y *Spearman* existe asociación entre las variables caudal promedio anual y el total de contaminantes metálicos anuales con valores de 18 % y 33% respectivamente

El plan de manejo ambiental propuesto para la cuenca del río Puyango Tumbes involucra 6 programas: Reubicación de la actividad minería en la parte alta de la Cuenca (provincias de Portovelo y Zaruma) y dragado de sedimentos de la zonas afectadas (8 km del río Calera y 4 km del río Amarillo), reforestación en la parte alta de la Cuenca, defensas ribereñas a lo largo del río Puyango Tumbes, aplicación de sistemas de tratamiento de aguas residuales para las poblaciones que descargan sus efluentes al río, programas de reciclaje y disposición final de residuos sólidos, programa de educación Ambiental.

Referencias bibliográficas

- Carril, B. 2002. Contaminación del río Tumbes por Presencia de Residuos Químicos y Microbiológicos. Universidad Nacional De Tumbes. 41 pp.
- INRENA. 1999. Estudio Preliminar de la Calidad del Agua del Río Tumbes.
- Ley General Del Ambiente. 2005. Ley N° 28611.
- Otiniano, J. 2008. Evaluación del comportamiento del recurso hídrico en el río Puyango Tumbes periodo 1963 - 2005. Universidad Nacional de Piura. Maestría en Ingeniería Ambiental.
- PEBPT (Proyecto Puyango-Tumbes). 2003. Caracterización del Acuífero del Valle Zarumilla - Análisis de Aguas Superficiales del Río Puyango - Tumbes.