



Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú

Pollution by heavy metals in the Moche River Basin, 1980 - 2010, La Libertad - Peru

Félix Huaranga Moreno^{1,*}, Eduardo Méndez García², Vito Quilcat León³, Félix Huaranga Arévalo⁴

¹ Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

² Departamento de Agronomía y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

³ Departamento de Química², Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

⁴ Agrosolutions EIRL, Trujillo, Perú.

Recibido 18 enero 2012; aceptado 30 julio 2012

Resumen

La contaminación de las aguas continentales es un problema de escala mundial, principalmente debido al impacto de los relaves mineros. Utilizando tecnologías de punta, como plantas de neutralización de aguas ácidas, muchas empresas están mitigando el impacto de su funcionamiento; por lo que tomando como referencia los cambios en la concentración de metales pesados presentes en aguas, suelos y cultivos de la cuenca alta, media y baja del río Moche, se realizaron muestreos de agua en ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), y en cuatro sectores de sus márgenes para suelos y cultivos. Los metales pesados más representativos en el agua se presentaron en el Cuenca Alta durante el año de 1980: hierro (557.500 ppm), plomo (100.375 ppm), cadmio (4.550 ppm), cobre (6.900 ppm), zinc (262.900 ppm) y arsénico (9.000 ppm); mientras que en los suelos las mayores concentraciones se encontraron en la margen derecha de la Cuenca Baja para el año 1980: hierro (83.400 mg/kg); plomo (0.820 mg/kg); cadmio (0.012 mg/kg); cobre (1.240 mg/kg); zinc (0.380 mg/kg) y arsénico (0.016 mg/kg); en relación con la acumulación de metales en los cultivos, el hierro (0.6525 mg/kg) fue el de mayor predominio, siendo la yuca (*Manihot esculentus*) el cultivo donde se presentó. Se concluye que la mayor contaminación a nivel del análisis de agua se presentó en la cuenca alta y durante el año de 1980; mientras que la margen derecha de la cuenca media presentó los mayores niveles de contaminación en las muestras de suelos; así como a nivel de los cultivos, la yuca (*Manihot esculentus*) fue la especie más contaminada.

Palabras clave: Contaminación, relave, metal pesado, yuca.

Abstract

The pollution of the continental waters is a problem at a world scale, mainly due to the impact of the mining tailings. Using top technologies as neutralization plants of acid waters, many companies are mitigating the impact of this functioning; so taking as a reference the changes in the concentration of heavy metals present in water, soils and cultivations of the high, middle and low basin of the Moche river, samplings of water were obtained at eight stations of the Moche river (Trujillo, Peru), and in four sectors of its margins for soils and cultivations. The most representative heavy metals in water were found in the high basin during the year 1980: iron (557.500 ppm), lead (100.375 ppm), cadmium (4.550 ppm), copper (6.900 ppm), zinc (262.900 ppm) and arsenic (9.000 ppm); whereas in the soils the higher concentrations were found on the right margin of median basin in the year 1980: iron (83.400 mg/kg); lead (0.820 mg/kg); cadmium (0.012 mg/kg); copper (1.240 mg/kg); zinc (0.380 mg/kg) and arsenic (0.016 mg/kg); in relation to the metal accumulation in the cultivations, iron (0.6525 mg/kg) was predominant, being the yucca (*Manihot esculentus*) the most contaminated cultivation. It is concluded that, most contamination level of water analysis was present in the high basin during 1980, whereas the right side of the median basin highest levels of contamination in the samples of soils; relating to the cultivates, the yucca (*Manihot esculentus*) was the species most contaminated.

Keywords: Pollution, tailings, heavy metal, yucca.

* Autor para correspondencia

Email: fhuaranga@unitru.edu.pe (F. Huaranga)

1. Introducción

El mundo en la actualidad afronta una serie de problemas ecológicos, siendo la contaminación uno de los que causan mayor impacto a los diferentes organismos; definiéndose a ésta como el factor que causa la modificación de las características físicas, químicas y biológicas del ambiente (Campos, 1990). Así, en los últimos años la puesta en operación de muchos proyectos mineros en el Perú, ha generado que las aguas contaminadas por relaves mineros se incrementen, porque los ríos, lagos, lagunas y el mar son los receptores finales de las evacuaciones residuales provocadas por el hombre (Real Instituto de Tecnología de Suecia, 1973; Southern Perú Cooper Corporation, 1986).

Chiang (1989) afirma que los metales pesados como el Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, Cd, Mg, y algunos reactivos químicos utilizados en las plantas de tratamiento de minerales, en el corto plazo no se degradan, biológica ni químicamente en la naturaleza; por lo que son considerados tóxicos para la mayor parte de organismos. Campos (1990) sostiene que los compuestos que contienen metales pesados, se pueden alterar, pero los elementos metálicos permanecen en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo.

En el Departamento de La Libertad (Perú), muchos investigadores han realizado estudios sobre el impacto de los relaves mineros sobre las aguas, suelos y cultivos. Así, León (1992) evaluó los efectos de los metales pesados sobre la calidad del agua del río Moche.

Por otra parte, Sotelo y Palomino (1995), al evaluar el deterioro del ecosistema del río Moche por la actividad minera, determinaron que el metal de mayor

acumulación fue el hierro, el cual alcanzó hasta 720 ppm, afectando la producción de los suelos agrícolas. Asimismo, Cisneros (1996), determinó los niveles de metales pesados en los ríos Pagash y Moche, reportando 113.2 ppm de hierro, el cual es un nivel elevado para agua de riego, ya que supera los límites máximos permisibles.

Ante esta realidad, se hace necesario determinar los niveles de contaminación actual por relaves mineros que afectan las aguas, suelos y cultivos de la cuenca alta (3500 - 2220 m.s.n.m), media (2220-1420 m.s.n.m) y baja (1420- 34 m.s.n.m) del río Moche.

Así, en el presente estudio se plantea como objetivos: determinar los niveles de concentración de los metales pesados hierro, cobre, plomo, cadmio, zinc y arsénico, presentes en agua, suelos y cultivos de la cuenca alta, media y baja del río Moche, como la parte de la cuenca que soporta la mayor contaminación por metales pesados desde 1980 al 2010.

2. Material y Métodos

Área de estudio

La cuenca del río Moche se ubica en la Costa Norte del Perú, pertenece a la vertiente del Pacífico y drena un área total de 2708 km². Políticamente se localiza en el Departamento de La Libertad, comprendiendo parte de las Provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán. Geográficamente la cuenca se halla comprendida entre los 7°46' y 8° 15' de Latitud Sur y los 78° 16' y 79° 08', de Longitud Oeste. El área de estudio se ubica desde la Laguna La Toma, asiento minero Quiruvilca (3900 m.s.n.m), siguiendo el curso del río Moche hasta el puente Panamericana (34 m.s.n.m), antes de su desembocadura en el Océano Pacífico (Figura 1).



Figura 1. Plano de ubicación del área de estudio de la cuenca del río Moche, Perú desde el asiento minero ubicado en la localidad de Quiruvilca, hasta su desembocadura en el océano Pacífico (Gráfico tomado de Compañía Minera Panamericana, 2006).

Muestreo y obtención de datos

Para la comparación histórica de la concentración de metales pesados de los años 1980, 1990 y 2000 en aguas se consideraron datos de investigaciones realizadas por: OSASA (1984), Huaranga (1990) y Soplouco (2000), para la época de estiaje, donde, por la disminución del volumen de agua los metales pesados presentes en el relave se encuentran en una mayor concentración por unidad de volumen. Durante el año 2010, se realizaron muestreos estacionales de agua en ocho estaciones del río Moche (Ver, Figura 2), desde la cuenca alta (E1) hasta la cuenca baja (E8), durante febrero (época de avenida), junio (época de transición) y noviembre (época de estiaje), y en cuatro sectores de sus márgenes derecha e izquierda, dos en la E5 y dos en la E7, para suelos y cultivos de la parte media y baja de la cuenca del río Moche (Figura 2).

En cada zona de muestreo, se determinaron *in situ*, la temperatura (del aire y superficial del agua), pH y oxígeno disuelto. La temperatura se cuantificó con

un termómetro graduado al 0,1 °C, marca MSZ 13950 de 0 a 50°C; el pH se determinó mediante un medidor de pH digital HANNA, y el oxígeno disuelto mediante el método de Winkler modificado por Alsterberg (Fukushima *et al.*, 1982).

Para el muestreo de aguas y suelos se siguió los métodos y técnicas propuestas por Aquino *et al.* (1989). Para el agua (ocho estaciones), se tomaron tres muestras por estación durante las tres épocas: avenida, transición y estiaje, en frascos blancos estériles de polietileno de 1L de capacidad, las que fueron refrigeradas para su transporte al laboratorio. Las muestras de suelos fueron obtenidas con un muestreador de suelos tipo barreno de la capa arable (1 kg por muestra) y las muestras de cultivos correspondieron a raíz de *Manihot esculentus* “yuca”, infrutescencia de *Ananas comosus* “piña” y tallo de *Saccharum officinarum* “caña de azúcar”. Las muestras de suelos y cultivos fueron colectadas por triplicado en cuatro estaciones, durante el período de

transición, las que fueron colocadas en bolsas plásticas para su traslado al laboratorio.

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Métodos Instrumentales de Análisis de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Se determinaron la concentración de: Fe, Cu, Cd, Pb, Zn y As, siguiendo la metodología de espectrofotometría de absorción atómica (Horwitz, 1984 y Cano *et al.*, 1984).

Análisis de aguas

Se filtro cada una de las muestras al vacío a través de una membrana de poro de 0.45 micras, luego se acidificó hasta un pH de 2 con ácido nítrico concentrado y a continuación se analizó directamente con el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Aanalysset 300.

Análisis de suelos y cultivos

Se pesaron 2 g de suelo y se adicionaron 20 mL de HNO₃, luego se calentó por espacio de 16 horas a 100 °C hasta extinción de HClO₄, a continuación se dejó enfriar a temperatura ambiente, se aforó a 100 mL y luego filtró; midiéndose la concentración de los metales pesados con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Aanalysset 300. Similar procedimiento se siguió para el caso de los cultivos.

3. Resultados y discusión

Aguas

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis de la concentración de Fe, cuyo valor mínimo (0.276 mg/L) fue determinado en el año 1980 en la Estación Control; mientras que el máximo valor promedio (557.5 00 mg/L) para el mismo año fue encontrado en la Cuenca Alta.

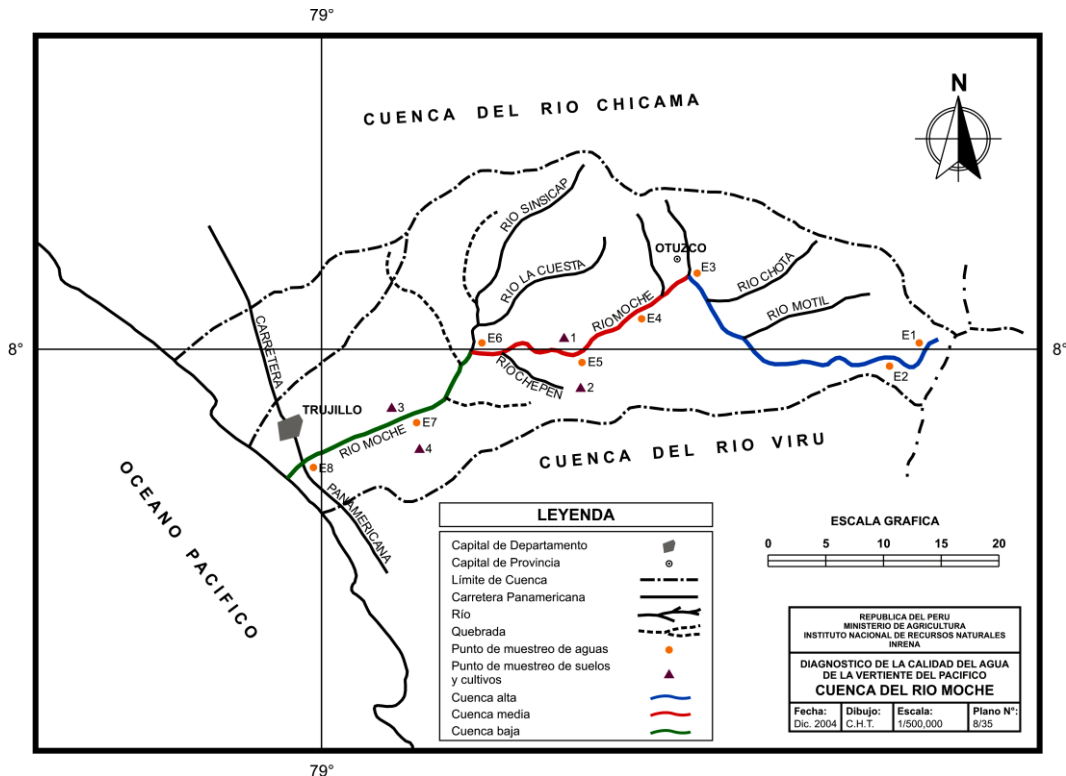


Figura 2. Ubicación de la cuenca alta, media y baja del río Moche, Perú durante el desarrollo de la investigación. Ubicación de las estaciones de muestreo a lo largo del río Moche: en círculo punto de muestreo de aguas y en triángulo de suelos y cultivos; y en colores: celeste, cuenca alta; rojo, cuenca media y verde, cuenca baja (Gráfico tomado de INRENA, 2004).

Tabla 1

Promedio de las concentraciones de los metales pesados Fe, Pb, Cd, Cu, Zn y As (mg/L) en muestras de agua de la cuenca alta, media y baja del río Moche, Trujillo - Perú; durante la época de estiaje, años 1980, 1990, 2000 y 2010. E1: Estación control.

Metal/Cuenca/Año	1980	1990	2000	2010	
Fe	Control	0.276	0.640	0.548	0.610
	Alta	557.500	529.000	51.625	11.618
	Media	33.000	35.700	37.613	10.65
	Baja	5.200	5.633	7.472	2.905
Pb	Control	0.148	0.011	0.013	0.041
	Alta	100.375	51.600	1.975	0.022
	Media	0.660	0.840	0.422	0.026
	Baja	0.297	0.180	0.178	0.005
Cd	Control	0.003	0.000	0.000	0.001
	Alta	4.550	2.000	0.486	0.010
	Media	2.150	0.160	0.004	0.009
	Baja	0.523	0.043	0.003	0.000
Cu	Control	0.009	0.001	0.018	0.001
	Alta	6.900	7.100	0.815	1.041
	Media	3.250	4.250	0.870	1.190
	Baja	0.523	0.663	0.210	0.059
Zn	Control	0.032	0.061	0.072	0.043
	Alta	262.900	213.600	45.585	1.128
	Media	17.000	20.200	7.745	0.997
	Baja	1.280	1.297	1.183	0.068
As	Control	0.000	0.000	0.000	0.000
	Alta	9.000	8.450	0.670	0.033
	Media	0.890	0.970	0.272	0.072
	Baja	0.060	0.067	0.120	0.002

Para el año 2010 el valor mínimo se encontró en la Estación Control (0.610 mg/L) durante la época de avenida; mientras que el valor promedio máximo (17.807 mg/L) se obtuvo en la Cuenca Alta para la época de transición (Tabla. 2).

En relación con la concentración de Pb, el valor promedio mínimo (0.005 mg/L) correspondió al año 2010 determinado en la Cuenca Baja, durante la época de estiaje; mientras que el máximo valor promedio (100.375 mg/L) fue determinado en el año 1980 en la Cuenca Alta (Tablas 1 y 2)

En la Tabla 1 se observa también los resultados del análisis de la concentración de Cd, cuyo valor mínimo (0.000 mg/L) se encontró en el año 1990 y 2000 en la Estación Control, así como en el 2010 en la Estación Control (épocas de avenida y transición) y Cuenca Baja época de estiaje; mientras que el máximo valor (4.550

mg/L) fue encontrado en el año 1980 en la Cuenca Alta. Para el año 2010 el valor mínimo se encontró en la Estación Control y Cuenca Baja (0.000 mg/L) durante las épocas de avenida, transición y estiaje; mientras que el valor máximo (0.198 mg/L) se obtuvo en la Cuenca Alta época de avenida (Tabla 2).

Los resultados del análisis de la concentración de Cu, el valor mínimo (0.001 mg/L) se encontró en el año 1990 y 2010 en la Estación Control; mientras que el máximo valor (7.100 mg/L) fue encontrado en el año 1990 en la Cuenca Alta (Tabla1). El valor más bajo de Cu (Tabla 2) durante el 2010 se encontró en la Estación Control (0.001 mg/l) durante la época de estiaje; y el valor más alto se determinó en la Cuenca Alta (1.190 mg/L) durante la época de estiaje.

En la Tabla 1 se observa que el valor mínimo de Zn se cuantificó en la Estación Control (0.032 mg/L) durante 1980; en cambio el valor máximo (262.900 mg/L) fue determinado durante 1980 en la Cuenca Alta. La época de avenida, transición y estiaje del 2010 en la estación Control es donde se encontró los valores mínimos (0.032, 0.061 y 0.043 mg/L), a diferencia de la Cuenca Alta (9.285 mg/L) donde se encontró el mayor valor para la época de avenida (Tabla 2).

En relación con el As se determinó su ausencia en la Estación Control durante los años de 1980, 1990, 2000 y 2010; mientras que el valor máximo (9.000 mg/L) se encontró en el año de 1980 en la Cuenca Alta (Tabla 1). Durante el 2010 en las tres épocas de muestreo y para la Estación Control sus concentraciones fueron nulas; en cambio la mayor concentración fue determinada en la Cuenca Alta (0.113 mg/L) durante la época de avenida.

Tabla 2

Concentraciones promedio de Fe, Pb, Cd, Cu, Zn y As (mg/L) en muestras de agua de la Cuenca Alta, Media y Baja del río Moche, durante la época de avenida, transición y estiaje, año 2010. E1: Estación control.

Metal/Época/ Cuenca	Control	Alta	Media	Baja
Época de avenida				
Fe	0.276	16.280	2.755	0.804
Pb	0.148	0.905	0.132	0.019
Cd	0.000	0.198	0.003	0.000
Cu	0.009	0.287	0.673	0.045
Zn	0.032	9.285	1.011	0.219
As	0.000	0.113	0.026	0.001
Época de transición				
Fe	0.640	17.807	9.963	3.740
Pb	0.011	0.643	0.171	0.072
Cd	0.000	0.145	0.007	0.001
Cu	0.012	1.071	0.736	0.073
Zn	0.061	6.083	1.409	0.301
As	0.000	0.082	0.072	0.032
Época de estiaje				
Fe	0.610	11.618	10.400	2.905
Pb	0.011	0.022	0.026	0.005
Cd	0.001	0.010	0.009	0.000
Cu	0.001	1.041	1.190	0.059
Zn	0.043	1.128	0.997	0.068
As	0.000	0.033	0.072	0.002

Suelos

En la Tabla 3, se muestran los valores de las concentraciones de los metales pesados encontrados en los análisis de suelos de la margen derecha, y en la que podemos observar que los valores mínimos de los metales pesados Fe, Pb, Cd, Cu, Zn y As (15.800, 0.009, 0.001, 0.080, 0.020 y 0.001 mg/kg) fueron hallados en la Cuenca Media y los máximos (83.400, 0.820, 0.012, 1.240, 0.380 y 0.016 mg/kg) en la Cuenca Media.

En cambio en la Tabla 4 se muestran los valores de las concentraciones de Fe, Pb, Cd, Cu, Zn y As encontrados en los análisis de suelos de la margen izquierda, y en la que podemos observar que los valores mínimos de los metales pesados (1.000, 0.090, 0.030, 0.045, 0.015 y 0.013 mg/kg) fueron hallados en la Cuenca Baja, y los máximos (1.200, 0.200, 0.037, 1.015, 0.271 y 0.030 mg/kg) en la Cuenca Media.

Cultivos

Se observa en la Tabla 5, que el valor más bajo de Fe se da en tallo de caña de azúcar 0.2343 mg/Kg determinado en la Cuenca Baja y el más alto de 0.6525 mg/kg que correspondió a la Cuenca Media, encontrado en raíz de yuca.

En relación con el Pb el valor más bajo (0.0007 mg/kg) se encontró en la Cuenca Baja en raíz de yuca y el más alto de 0.0056 mg/kg correspondió a la Cuenca Media y al mismo cultivo (Tabla 5).

Con respecto al As (Tabla 5), se observa que el valor más bajo fue de 0.0010 mg/kg el que se encontró en la Cuenca Baja y en raíz de yuca, mientras que el más alto fue de 0.0031 mg/kg y que correspondió a la Cuenca Media, determinado en infrutescencia de piña.

En la Cuenca Baja es donde se observó el menor valor de Cd (0.0006 mg/kg) en raíz de yuca, mientras que el valor más alto 0.0021 mg/kg se determinó en la Cuenca Media en raíz de yuca e infrutescencia de piña.

Tabla 3

Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de suelos de cultivos colectados de la margen derecha de la Cuenca Media y Baja del río Moche, Trujillo - Perú, durante julio del 2010.

Cuenca /Estación		Metal pesado					
		Hierro	Plomo	Cadmio	Cobre	Zinc	Arsénico
Media	E4	48.500	0.310	0.009	1.080	0.260	0.009
	E5	83.400	0.820	0.012	1.240	0.380	0.016
Baja	E6	26.200	0.060	0.001	0.420	0.080	0.008
	E7	15.800	0.009	0.001	0.080	0.020	0.001

Tabla 4

Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de suelos de cultivos colectados de la margen izquierda de la Cuenca Media y Baja del río Moche, Trujillo - Perú, durante julio del 2010.

Cuenca/Estación		Metal pesado					
		Hierro	Plomo	Cadmio	Cobre	Zinc	Arsénico
Media	E4	1.110	0.200	0.030	1.010	0.215	0.030
	E5	1.200	0.140	0.037	1.015	0.271	0.028
Baja	E6	1.100	0.090	0.030	0.115	0.068	0.023
	E7	1.000	0.180	0.030	0.045	0.015	0.013

Tabla 5

Concentración de metales pesados (mg/kg) en muestras de cultivos de la Cuenca Media y Baja del río Moche, Trujillo - Perú, durante julio del 2010.

Cuenca/Estación/ Cultivo		Metales				
		Hierro	Plomo	Arsénico	Cadmio	
Media	E4	A	0.6525	0.0056	0.0029	0.0021
		B	0.4632	0.0047	0.0031	0.0016
	E5	A	0.3489	0.0014	0.0011	0.0013
		B	0.4516	0.0047	0.0028	0.0021
Baja	E6	A	0.3024	0.0007	0.0010	0.0006
		B	0.5321	0.0021	0.0021	0.0014
	E7	C	0.2343	0.0010	0.0014	0.0010

A = *Manihot esculentus* "yuca"

B = *Ananas comosus* "piña"

C = *Saccharum officinarum* "caña de azúcar"

Discusión

De manera general, las concentraciones de los metales pesados disminuyeron progresivamente desde la Cuenca Alta hasta la Cuenca Baja, y en relación al año. Así, las concentraciones de Fe en la Cuenca Alta, Media y Baja estuvieron por encima de los límites máximos establecidos por la Ley General de Aguas Clase III (1 mg/L) (Ministerio de Agricultura, 1997), excepto en la cuenca baja para la época de venida del año 2010. Los valores encontrados concuerdan con lo reportado por ONERN (1970), OSASA (1984), León (1992), INRENA (1996) y Cisneros (1996), quienes determinaron para la zona de

Samne (Cuenca Media) un valor máximo de 142.77 ppm, situación que confirma que el hierro es el metal que predomina en el río Moche. Por otro lado Corzo (1986), al reportar la contaminación química de los ríos Mantaro (Huancayo) y Rímac (Lima), encontró concentraciones de Fe superiores a 260 veces de lo establecido como límite máximo permisible, y para el caso del manganeso (Mn) fue de 55 veces mayor, encontrándose además concentraciones relativamente elevadas de Cd, Pb, Cr y Zn originadas por acción antrópica. Asimismo, menciona que en los ríos Locumba (Tacna) y Santa Eulalia (Lima) predominan el Cu y el Fe.

Gomez *et al.* (2004), en un estudio de aguas superficiales del río San Pedro, Sonora, México, afectados por explotación minera encontró 1099.9 ppm de Fe, valor que estaba muy por encima de los estándares Mexicanos. De igual modo, la Comisión Pastoral Paz y Ecología (COPAE) (2008), al realizar el estudio de las aguas alrededor de la mina Marlín en Guatemala, determinó una concentración de Fe de 4,58 ppm, valor que sobrepasa los límites permitidos por normas establecidas por el Banco Mundial, la US EPA y del Ministerio del Ambiente de Guatemala.

La elevada concentración de Fe en las aguas del río Moche en el año 2010, puede deberse al aporte de residuos industriales y aguas drenadas de la mina en explotación que escapan al tratamiento en la planta de neutralización de aguas ácidas actualmente en funcionamiento. El panorama actual de la cuenca del río Moche contrasta con el existente hace 10 años, cuando el color de las aguas del río Moche era de un amarillo intenso, debido a las reacciones entre los iones férrico y el agua. Esta reacción generaba una masa amarilla y floculenta de hidróxido férrico, que causaba la acidez y el exterminio de la biota del río Moche (Malca, 1998).

Los valores de Pb, disminuyeron también desde la cuenca alta hasta la cuenca baja. Asimismo, se observa que las concentraciones de Pb estuvieron por encima de los límites máximos permisibles establecidos por la Ley General de Aguas Clase III (0.10 mg/L), siendo similares a los reportados por Cisneros (1996) quien determinó para la zona de Samne (Cuenca Media) un máximo de 0.62 mg/L para el mes de setiembre, al igual que Pelt (1999) al realizar el monitoreo de los ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del lago Titicaca, encontró valores de Pb de 0.99 mg/L.

La determinación del Pb en el agua es importante, porque tal como lo sostiene la OPS (1998), este es un metal altamente tóxico y de naturaleza acumulativa, y como tal se acumula en músculos, hígado,

y biomagnifica a lo largo de las cadenas tróficas (Duffus, 1983; Goyer, 1991), habiéndose demostrado que su estado inorgánico es más tóxico que el orgánico (OSASA, 1984).

Bustamante (1978) determinó que una concentración de 65.67 mg/l de Pb produce una mortalidad del 50% de *Chryphiops caementarius* "camarón de río". Asimismo, reportó que el período medio de supervivencia de *Oncorhynchus mykiss* "trucha arco iris" en aguas blandas conteniendo Pb disuelto en concentraciones de 1.6 mg/L, a 18 °C fue de 18 horas, aumentando su toxicidad con la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

En la cuenca baja no se registró Cd durante el 2010, mientras que en 1980 en toda la cuenca, las concentraciones de Cd superaron el límite máximo permisible de (0.05 mg/L). Sin embargo, durante 1990 y 2000 los valores comenzaron a disminuir lo que coincide con lo encontrado por Cisneros (1996), quien encontró para los meses de octubre, noviembre y diciembre en la Cuenca Media 0.12, 0.18 y 0.15 mg/L de Cd, disminuyendo la concentración de este metal al aumentar la distancia al punto de origen del impacto. Asimismo, Romero *et al.* (2010) al evaluar la concentración de metales pesados en la Cuenca Media del río Santa determinaron una concentración de Cd de 0.023 mg/L.

Duffus (1983) menciona que el Cd se encuentra normalmente en el suelo y en el agua en bajas concentraciones, del suelo se le extrae junto con minerales de zinc, especialmente en la forma de sulfuro de cadmio. Pequeñas cantidades de Cd tienen efectos tóxicos sobre el riñón, y los aparatos circulatorio y reproductor (anomalías cromosómicas) en vertebrados, y su toxicidad depende de la presencia de otros oligoelementos como el zinc y el selenio (Aquino *et al.*, 1989), demostrándose asimismo que en los ambientes dulceacuícolas es tóxico a niveles mayores de 0.01 mg/L (Bustamante, 1978); más aún, Camacho (2007) sostiene que el Cd

presente en aguas superficiales por encima de niveles normales actúa como un potente neurotóxico para organismos acuáticos al reducir la actividad de acetilcolinesterasas. En lo referente al Cu, los valores fluctuaron desde un mínimo de 0.045 mg/L en la época de avenida del 2010 a 7.100 mg/L (1990) en la Cuenca Alta, sobrepasándose en la mayoría de los casos el límite máximo permisible (0.50 mg/L). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cisneros (1996) quien encontró como valor máximo 0.95 mg/L en la zona de Samne (Cuenca Media) para el mes de noviembre, mientras que Soplopucó (2000), encontró un valor máximo de 9.3 mg/L en la zona desvío a Huamachuco (Cuenca Alta) durante el invierno, y Romero *et al.* (2010) 0.121 mg/L en muestras de agua de la cuenca media del río Santa. Bustamante (1978), sostiene que concentraciones de 0.015 a 3.0 mg/L son reportados como tóxicas para los peces, más aún si actúa sinérgicamente con el zinc en concentraciones de 1.0 mg/L.

El Cu en concentraciones superiores al límite máximo permisible en cuerpos de agua afecta la vida de peces y de otros organismos acuáticos. En relación con este metal, Huaranga (1991), encontró que la dosis letal media del Cu sobre *Poecilia reticulata* “guppy”, es de 5 mg/L a las 48 horas de exposición. El Cu también es tóxico para muchas algas, algunas resisten concentraciones entre 10 y 100 mg/L, tales como *Zymbella ventricosa*, *Scenedesmus obliquus* y *Calothryx braunii* (Aldave, 1989).

En el presente trabajo se ha encontrado como valor máximo para el Zn 262.900 mg/L para la Cuenca Alta (1980) y el valor mínimo de 0.068 mg/L en la Cuenca Baja para el 2010; mientras que Cisneros (1996) determina en la zona de Samne (Cuenca Media) una concentración máxima de 57.46 mg/L para el mes de octubre y Soplopucó (2000) reporta un valor máximo de 30.50 mg/L durante la estación de invierno en la Cuenca Alta (zona desvío a

Huamachuco); valores superiores que el máximo permisible para este metal de 25 mg/l para aguas de clase III.

Comparativamente, Blanes y Giménez (2005) en un estudio sobre metales pesados realizados en aguas naturales de la región Centro Oeste de la Provincia del Chaco – Argentina, determinaron una concentración de Zn de 9.73 mg/L, valor superior a la exigida por la norma Argentina.

Se ha reportado que el Zn puede provocar no sólo la muerte de peces en los ríos, sino también en acuarios domésticos que reciben agua de tuberías de hierro galvanizado, en concentraciones inferiores a 1 mg/L. Asimismo, Huaranga (1991) y León (1992), mencionan con respecto al Zn que valores de 0.1 a 1.0 mg/L son letales para larvas de peces en aguas blandas, fundamentalmente cuando este se encuentra en la forma de sulfato de zinc. Bustamante (1978), encontró que la sensibilidad a éste metal varía en relación con la especie, edad, condición fisiológica y características físico-químicas del agua. Esto se produce por el efecto letal del bajo contenido de oxígeno que parece catalizarse por la presencia del NH₃, CN⁻, Zn, Cu, etc. (Pesson, 1979). Además, Pesson (1979), encontró que la turbulencia del agua incrementa significativamente la toxicidad del Zn y del Cu para peces, pues su acción tóxica depende de un proceso físico-químico de coagulación de la mucosidad en la región branquial que se acentuó pronunciadamente por el movimiento del agua.

Con respecto al As, se observa que en la mayoría de determinaciones las concentraciones de este metal fueron superiores al límite máximo permisible. En el reglamento de la Ley General de Aguas se establece para éste metal un valor máximo permisible de 0.20 mg/L; mientras que en comparación en éste estudio se obtuvo una concentración máxima de 9.000 mg/L para la Cuenca Alta (1980). Comparativamente, Cisneros (1996) reporta un valor máximo en Samne (Cuenca Media) de 3.68 mg/L para el mes

de noviembre y Soplopuco (2000) de 0.888 mg/L en la Cuenca Alta (zona desvío a Huamachuco), para la estación de Otoño. Asimismo, Pelt (1999) encuentra un valor de 12.54 mg/L en muestras de agua del río Ramis, así como Romero *et al.* (2010) 0.108 mg/L para muestras de agua del río Santa en su Cuenca Media.

De acuerdo con OSASA (1984), la peligrosidad de este metal pesado es su facilidad para actuar sinérgicamente al formar compuestos solubles en el agua con el Cu, Co, Pb y Zn, entre otros. Por otra parte, la susceptibilidad de las especies de peces al arsénico varía entre 0.7 a 13 mg/L, y en general se recomienda que para piscicultura la concentración de éste metal en el agua no debe sobrepasar a 1 mg/L (OSASA, 1984).

Con respecto a la distribución de los metales pesados en los suelos, se obtuvo una tendencia similar en variabilidad en relación con los metales pesados presentes en el agua. Es decir, las máximas concentraciones de metales se encontraron en la Cuenca Media, disminuyendo conforme se desciende en altitud hasta hallarse en algunos casos cantidades traza (Cd y As).

En relación al impacto que generan estos metales sobre los suelos, sobresale el Fe, el cual en su forma normal se presenta en los suelos en una concentración de 15 a 35 ppm de acuerdo a Homer y Parker (1988). Sin embargo, en el presente trabajo se han encontrado valores superiores entre 48.500 a 83.400 mg/kg en la Cuenca media. Aún cuando el Fe es importante para la nutrición de las plantas, los valores relativamente altos encontrados en los análisis nos indican un riesgo de toxicidad para las mismas.

De acuerdo a Menzer (1991), el Pb y Cd en los suelos tienen valores normales de entre 1.0 ppm y de 10 a 15 ppm, siendo más fácilmente adsorbidos por las plantas el Cd que el Pb. En el presente trabajo los valores de estos dos metales fueron menores al nivel límite permitido en suelo, explicándose la menor acumulación por su

escasez en el agua del río Moche. Sin embargo podrían acumularse en las plantas y posteriormente en los animales y el hombre.

Con respecto al Cu y Zn, las concentraciones normales presentes en los suelos son de 0.2 ppm, y entre 0.5 y 1.0 ppm respectivamente (López y López, 1978). Los valores de Cu encontrados para la Cuenca Media fueron superiores a los niveles normales de Cu, mientras que para Zn los valores estuvieron dentro de los valores normales en la Cuenca Media y Baja. En ambos casos, aún cuando el Cu está por encima de los valores normales, son bajos y son necesarios para el crecimiento de las plantas, su incremento en los suelos da lugar a su potencial toxicidad (Homer y Parker, 1988).

Duffus (1983) sostiene que aún cuando existan pequeñas concentraciones de As en el suelo, como los obtenidos en éste trabajo, se producen fenómenos de metilación por acción de organismos como los hongos de los géneros *Fusarium sp.*, *Candida sp.*, *Aspergillus sp.* Esta reacción determina la generación de arsina y trimetilarsina, gases altamente tóxicos que se evaporan o se disuelven y pueden actuar en forma letal sobre los organismos del suelo.

Los agricultores de las riberas del río Moche en su margen derecha e izquierda que se dedican al cultivo bajo riego, en épocas pasadas se vieron en la necesidad de usar las aguas ácidas de este río, hecho que afectó la productividad de los suelos agrícolas y en alguna medida de los diversos productos alimenticios e industriales, tal como *Manihot esculentus*, *Ananas comosus*, *Zea mays*, *Saccharum officinarum*, etc., cuyas cosechas resultaron menguadas como lo señalan OSASA (1984), Vera (1987) y Cisneros (1996) por efecto de la contaminación. De las entrevistas con los agricultores de la zona y de la observación de los campos de cultivo durante la ejecución del presente trabajo, se pudo constatar que en la actualidad es menor el número de

hectáreas cultivadas y que en algunas zonas se han tenido que sustituir cultivos por otros más resistentes a la acidez como son el caso del reemplazo de los cultivos de *Manihot esculentus* por el de *Ananas comosus*.

Comparando las concentraciones de Fe en muestras de cultivos, con la de los otros metales analizados, se observa que el Fe fue el de mayor acumulación en la raíz de *Manihot esculentus* y en la infrutescencia de *Ananas comosus*, siendo menor en el tallo de *Saccharum officinarum*; encontrándose en la raíz de yuca valores de 0.3024 a 0.6525 mg/kg, en la infrutescencia de piña de 0.4516 a 0.5321 mg/kg y en el tallo de caña de azúcar un valor de 0.2343 mg/kg. Estos valores se encuentran dentro de los rangos normales dados por Homer y Parker (1988), quienes indican que el contenido total de hierro en los tejidos secos de las plantas va de 20 a varios centenares de mg/kg; por lo que se debe considerarse a futuro que una acumulación progresiva de este metal en los cultivos podría conllevar a una severa intoxicación debido a su consumo.

Homer y Parker (1988), sostienen que el máximo contenido total permisible de Pb en vegetales frescos es de 2 ppm. En el presente estudio se determinaron valores en la raíz de yuca de 0.0007 a 0.0056 mg/kg, en la infrutescencia de piña de 0.0021 a 0.0047 mg/kg, en cambio en el tallo de caña de azúcar un valor de 0.0010 mg/kg. Estos valores se encuentran dentro de los rangos normales de acuerdo a lo establecido por la OPS (1998).

La concentración de As encontrado en la raíz de yuca, fluctuó entre 0.0010 y 0.0029 mg/kg, en cambio en infrutescencia de piña fue de 0.0021 a 0.0031 mg/kg, y en tallo de caña de azúcar fue de 0.0014 mg/kg. Según Homer y Parker (1988), por lo común, el contenido de arsénico en los tejidos vegetales va de menos 1 mg/kg a 10 mg/kg; mientras que Duffus (1983), indica que el As es un tóxico acumulativo que a nivel celular puede desacoplar la fosforilación oxidativa y competir con el

fósforo en las reacciones metabólicas. Teniendo en cuenta que aún cuando se ha analizado solo una parte de cada vegetal, y al determinarse la presencia de este metal en las muestras, podríamos afirmar que este metal se está acumulando a nivel de éstos.

La OPS (1998) establece para el Cd 1 mg/kg de concentración en peso seco presente en vegetales como estándar de seguridad alimentaria. En la presente investigación el valor máximo de cadmio encontrado a nivel de yuca, fue de 0.0021 mg/kg y el mínimo de 0.0006 mg/kg. En infrutescencia de piña se encontró un máximo de 0.0021 mg/kg y un mínimo de 0.0014 mg/kg, mientras que en el tallo de caña de azúcar una concentración de 0.0010 mg/kg. Comparativamente, Sotelo y Palomino (1995), encontraron valores promedios menores a 1 mg/kg en raíz y tallo de yuca y fruto de piña, similares a los encontrados en la presente investigación, señalando que el Cd en plantas y el suelo en condiciones naturales se encuentran en concentraciones trazas. En cambio, Justin *et al.* (2001) encontraron concentraciones de 0.92 a 1.39 mg/kg en tejido foliar y de 0.77 a 2.40 mg/kg en grano de *Triticum vulgare* "trigo". Más aún, Díaz *et al.* (2008) determinaron valores superiores al recomendado como seguro para *Coriandrum sativum* "cilantro" (19.50 mg/kg), *Capsicum annuum* "pimiento" (14.23 mg/kg), *Spinacea oleraceae* "espinaca" (12.58 mg/kg), *Lycopersicon esculentum* "tomate" (8.00 mg/kg), *Phaseolus vulgaris* "habichuela" (7.96 mg/kg) y *Carica papaya* "papaya" (0.52 mg/kg). En el presente trabajo se observa que los niveles de acumulación de Cd tanto en raíz, tallo e infrutescencia de yuca, caña de azúcar y piña son bajos; esto se explica debido a la baja concentración de Cd presentes en agua y suelos.

4. Conclusiones

Del estudio realizado en la cuenca del río Moche, Trujillo - Perú, se concluye que:

La mayor contaminación por metales pesados del agua se presentó en la cuenca alta y el Fe fue el metal de mayor concentración durante el año de 1980. Los suelos de la margen derecha de la Cuenca Media presentaron los mayores niveles de contaminación por metales pesados. La yuca, *Manihot esculentus*, fue la especie más contaminada.

Referencias bibliográficas

- Aldave, A. 1989. Algas. 1ª Edición. Editorial Libertad. Trujillo - Perú. 459 pp.
- Aquino, R.; Camacho, M.; Llanos, G. 1989. Métodos para análisis de agua, suelos y residuos sólidos. Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente (IDMA). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Lima - Perú. 106 pp.
- Blanes, P.; Giménez, M. 2005. Cuantificación y correlación del arsénico y metales pesados en aguas naturales de la región centro oeste de la provincia del Chaco - Argentina. Comunicación Científica y Tecnológica. Univ. Nac. del Nordeste. Argentina. 4 pp.
- Bustamante, L. 1978. Bioensayos de contaminantes metálicos y su efecto en el camarón juvenil *Cryphiops caementarius* M. Tesis Ingeniero Pesquero. UNLM. Lima - Perú. 91 pp.
- Camacho, M. 2007. Bioconcentración y toxicidad de metales en el langostino *Macrobrachium rosebergii* (de Man). Rev. Toxicol. 24: 14 - 17.
- Campos, N. 1990. La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa María, Caribe Colombiano, Caldasia 16: 231 - 144 pp.
- Comisión Pastoral Paz y Ecología (COPAE). 2008. Situación actual del agua alrededor de la mina Marlín, Municipios de San miguel Ixtahuacan y Sipacapa, Departamento de San Marcos, Guatemala. Documento Conclusivo Aparecida. 50 pp.
- Cano, O; Vargas, V.; Moreno, J.; Cruzado, C.; Huamán, A.; Castilla, V. 1984. Análisis de suelos, tejido vegetal, aguas y fertilizantes. Departamento de Suelos de la Estación Experimental Agrícola. La Molina. Lima - Perú. 118 pp.
- Cisneros, I. 1996. Contaminación por metales pesados procedentes de los relaves mineros en la fauna del distrito de Samne, Otuzco. Tesis para Optar el Título de Biólogo Pesquero. Universidad Nacional de La Libertad. Trujillo - Perú. 103 pp.
- Corzo, R. 1986. El problema de los residuos mineros en el Perú. Encuentro Latinoamericano sobre Residuos Peligrosos y Residuos Mineros. Ministerio de Salud, Dirección Técnica de Saneamiento Ambiental. Lima, Perú. 15 pp.
- Chiang, A. 1989. Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile. Memorias del Simposio Internacional sobre los recursos vivos, Santiago. Serie CPPS: 205 - 215 pp.
- Díaz; E; Acevedo, P.; Massol - Deyá, A. 2008. Evaluación de metales pesados en productos agrícolas en una Finca Orgánica en el Barrio Luján Sector Destino de Vieques (Puerto Rico). Inf. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de Puerto Rico Mayagüez, Puerto Rico. 15 pp.
- Duffus, J. 1983. Toxicología ambiental. 1ª Edición. Editorial Omega. España. 173 pp.
- Fukushima, M; G. Sifuentes; G. Saldaña; G. Castillo; J. Reyes y L. Shimokawa. 1982. Métodos Limnológicos. Tercera Edic. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo - Perú. 182 pp.
- Gomez, A; Villalva, A; Acosta, G; Castañeda, M y D. Kareup. 2004. Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro, Sonora, México. Rev. Int. Contam. Ambiental. 20(1): 5 - 12.
- Goyer, R. 1991. Toxic effects of metals. 4ª Ed. Pergamon Press, Inc. USA. 623 - 680.
- Homer, D.; Parker, F. 1988. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México . 195 pp.
- Horwitz, W. 1984. Official methods of analysis of the association of official agricultural chemistres fourteenth. Edition (Centennial Edition, 1884 - 1984). Washigton, D.C. 1141 pp.
- Huaranga, F. 1990. Concentración de metales pesados en muestras de agua provenientes de la cuenca del río Moche durante 1990. XI Jornadas de Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo - Perú.
- Huaranga, F. 1991. Toxicidad letal del cobre, zinc y hierro en *Poecilia reticulata* Peters, 1859, a diferentes tiempos de exposición. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 34 pp.
- Compañía Minera Panamerican. 2006. Informe estado de PAMA del funcionamiento de minas Quiruvilca, La Libertad, Perú. 12 pp.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 1996. Diagnóstico de la calidad de agua de la vertiente del Pacífico. Ministerio de Agricultura. Lima-Perú. Vol. I: 151-170.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 2004. Diagnóstico de la calidad de agua de la cuenca del río Moche, La Libertad, Perú. Ministerio de Agricultura. Lima-Perú: 55 pp.
- Justin, L; Vázquez, A; Siebe, C; Alcántar, G.; De la Isla, M. 2001. Cadmio, níquel y plomo en agua residual, suelo y cultivos en el valle del mezquital, hidalgo, México: Agrociencia, Postgraduados Texcoco, México 35 (3):267 - 274.
- Léon, M. 1992. Evaluación de algunos metales que afectan la calidad del río Moche. Tesis. Universidad Agraria la Molina. Lima - Perú. 97 pp.
- López, J.; López, J. 1978. El diagnóstico de suelos y plantas. 3ª ed. Edit. Mundi Prensa. Madrid-España. 336 pp.
- Malca, L. 1998. Macroinvertebrados bénticos como indicadores de contaminación por metales pesados en el ría Moche. Tesis para Optar el Grado de Maestro en Ciencias, Mención Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo - Perú. 70 pp.
- Menzer, R. 1991. Water and soil pollutants. 4ª ed. Mc Graw - Hill. Pergamon Press. USA: 872-902.
- Ministerio de Agricultura. 1997. Compendio de Normas legales. Tomo I. Disposiciones Generales en Materia de Aguas. Lima - Perú. 75 pp.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). 1970. Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa. Cuenca del río Moche. Lima - Perú. 12 - 41.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1998. Guías para la calidad del agua potable. Publicación científica N° 508. Washington. EE.UU. 132 pp.

- Organización de Servicios y Asesoría S.A. (OSASA). 1984. Estudios de la contaminación y prevención del río Moche durante 1980. Dirección General del Medio Ambiente. Ministerio de Salud. Lima - Perú. 613 pp.
- Pelt, H. 1999. Investigación y monitoreo de los ríos Carabaya – Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca. Proyecto Especial Lago Titicaca. Puno, Perú. 62 pp.
- Pesson, P. 1979. La contaminación de las aguas continentales. Editorial Mundí Prensa. Madrid - España. 630 pp.
- Real Instituto de Tecnología de Suecia. 1973. Las aguas residuales en la industria minera metálica. Misión Minera del Perú. Tomo I. Estocolmo - Suecia. 1 – 12 pp.
- Romero, A; Flores, S.; Pacheco, W. 2010. Contaminación por metales pesados del río Santa. Rev. Inst. Investig. Fac. Ing. Geológica, Minera - Metalúrgica y Geográfica de la Univ. Nac. de Ingeniería 13: 15.
- Soplopuco, M. 2000. Contaminación por relaves sobre agua, suelos y cultivos en la cuenca baja del río Moche, Enero-Diciembre de 1998. Tesis para Optar el Grado de Maestro en Ciencias, Mención Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 87 pp.
- Sotelo, M.; Palomino, H. 1995. Niveles de acumulación de metales pesados en agua, suelo y productos agrícolas y la importancia de sus efectos en la proliferación de *Allium cepa* en el Valle de moche. Tesis para Optar el Título de ingeniero Ambiental. Universidad nacional Santiago Antunes de Mayolo. Huaraz, Perú. 84 pp.
- Southern Perú Copper Corporation. 1986. La Ecología y las operaciones minero metalúrgicas en Toquepala, Cuajone e Ilo. Southern Perú Co. Corporation. 30 pp.
- Vera, C. 1987. Proyecto de protección y manejo integral de la cuenca del río Moche. Dirección de aguas y suelos. Región Agraria IV La Libertad. Perú. 133 pp.