

CONTENIDO	Pág.
PRESENTACIÓN	5
Capacidad de las plantas nativas en ambientes con drenaje ácido para la bioacumulación de metales pesados. Capability of native plants in acid drainage water environment using for bioaccumulation of heavy metals	9
Niveles de concentración de metales pesados en especies vegetales emergentes en el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz, Perú. Levels of heavy metals concentration in emergent plant species in the mining environmental liabilities Ticapampa, Catac, Huaraz Peru.	21
Rescate y sistematización de conocimientos colectivos de la comunidad campesina de cátaac vinculados al uso sostenible de la biodiversidad Rescue and systemation of collective knowledge of the contrymen in the community of catac that are tied to the sustainable use of the biodiversity	27
“Instalaciones de cocinas mejoradas en la cordillera negra de Ancash- comunidad de Chincay con el fin de conservar el medio ambiente” "Installation of improved stoves in the cordillera negra of Ancash - community Chincay to conserve the environment"	37
Evaluación de la calidad del agua de consumo humano de Shancayán y anexos. Evaluation the quality of the water of consumption of the neighborhood of Shancayán and annexes	43
Evaluación de un índice biótico en el río chicama regiones La Libertad, Cajamarca . Perú. Evaluation of a biotic index in the chicama river . Regions The Libertad, Cajamarca. Peru	51
Aplicación de la geomecanica para el mejoramiento del sistema operativo del yacimiento madrugada de la uea admirada Atila - minera Huinac sac. Application the geomecanic for the improvement of the operative system of the madrugada yacimiento uea admirada Atila - Huinac mining sac	59
Tecnología de conservación y ventajas competitivas de la pulpa de palta, producida en el Callejón de Huaylas, como materia prima para la industria. Conservation technology and competitive advantages of the avocado pulp produced in the Callejon de Huaylas, as raw material for industry.	63
“Impacto del cambio climatico sobre la producción de cinco cultivos principales en el departamento de Ancash” The impact of the change over the yield of five main cultivation in the department of Ancash	69
“La cultura organizacional como herramienta para incrementar la competitividad de la gestion de recursos humanos de la curtiembre, industrias y negocios del norte sac, del distrito de el Porvenir-Trujillo” “organizational culture as a tool to increase the competitiveness of the human resource management of the business and industry curtiembre sac north district of the Porvenir-Trujillo”	79
La empresa comunal y su impacto en la economía de la familia comunera de cátaac The communal company and his impact in the economy of the family Cátaac comunera	85
“Los costos abc y su incidencia en la determinación de costos de la prestación de servicios de las unidades vehiculares de la unasam, periodo primer semestre 2008” The costs abc and his incident in the determination of costs of the rendering of services of the traffic units of the unasam, period the first semester 2008	91
“La gestion económica y sus efectos en el crecimiento sostenido de las micro y pequeñas empresas manufactureras en el Callejon de Huaylas año 2008” The management and its effects in the sustainable growing micro and small manufactured enterprises in the Callejón of Huaylas - year 2008	97
Migración y desarrollo urbano de la ciudad de Huaraz Migration in development of the city of Huaraz	103

APORTE SANTIAGUINO

Tratamiento térmico y susceptibilidad a la corrosión del acero austenítico 316-L en solución de NaCl a diferente pH Thermal treatment and corrosion susceptibility of 316-L austenitic steel in NaCl solution at different levels of pH.	109
Influencia del estado nutricional en el rendimiento académico de los alumnos de Obstetricia de la Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", 2008. (influence of the nutritional state on the academic yield of the obstetrics students of the faculty of Medical Sciences, National University "Santiago Antúnez de Mayolo", 2008)	117
Violencia familiar y factores de riesgo en las mujeres que asistieron a la comisaría de Huaraz en el período enero-octubre 2007 (family violence and factors of risk in the women that went to the police station of Huaraz in the period of January - October 2007)	123
"Factores epidemiológicos que influyen en la morbilidad puerperal. Hospital Víctor Ramos Guardia. Huaraz. 2006" "epidemiological factors influencing morbidity postpartum. Víctor Ramos Guardia. Hospital. Huaraz. 2006"	129
Epidemiología de los factores de riesgo del retardo de crecimiento intrauterino en el Hospital "Víctor Ramos Guardia" de Huaraz 2004 - 2006 The intrauterine growth retardation epidemiology in the hospital "Víctor Ramos Guardia" Huaraz 2004 - 2006.	137
Planes de atención estandarizada para la práctica clínica de atención de enfermería en pacientes con traumatismo encefalo craneal Standardize care plans for the clinical practice of nursing care in patients with cranial trauma brain	149
Beneficios de la técnica de irrigación de colostomía de los clientes colostomizados atendidos en el servicio de cirugía del Hospital Víctor Ramos Guardia Huaraz enero 2002 - agosto 2007 Benefits of the technique of irrigation colostomy colostomized assisted customer service in the hospital for surgery of the Víctor Ramos Guardia Huaraz January 2002 - August 2007	159
"Estado nutricional, anemia ferropénica y parasitosis intestinal en niños menores de cinco años del asentamiento humano de Chayhua distrito de Huaraz 2008" Nutritional condition (state), iron deficiency anemia and parasitosis intestinal in five-year-old minor children of the human accession of Chayhua district of Huaraz 2008.	167
Infarto esplénico en la altura, Huaraz- Perú (3.100 m) Splenic infarct at high altitude, Huaraz- Perú (3.000 m)	173
"Factores epidemiológicos frecuentes del aborto clínico. Hospital de Apoyo de Barranca enero - junio 2007" "Epidemiological factors of recurrent clinical abortion. Hospital support of Barranca January - June 2007"	179
Los derechos lingüísticos como teoría y como práctica en Huaraz, Ancash Linguistic rights as theory and praxis in Huaraz, Ancash	187
Estudio gramatical y semántico de la ditransitividad en el quechua de Ancash Grammatical and semantic study of ditransitivity in Ancash quechua	193
Aprendizaje de la matemática mediante el desarrollo de experiencias significativas Mathematics teaching through significant experiences.	199
Nivel de coherencia interna del plan curricular 1993 y evidencias del mismo en la promoción 1993, de la escuela profesional de enfermería de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz Internal coherence's level of the plan curricular 1993 and evidence of the same in the promotion 1993, nursing's professional school UNASAM - Huaraz	205
Laboratorios virtuales de física Virtual laboratory of physics	213
Relación entre la satisfacción con la profesión elegida y el rendimiento académico de los estudiantes de primaria y educación bilingüe intercultural de la "UNASAM". Relation between the satisfaction with the profession chosen and the academic performance of the students of primary and bilingual education intercultural of the "UNASAM".	219

CAPACIDAD DE LAS PLANTAS NATIVAS EN AMBIENTES CON DRENAJE ÁCIDO PARA LA BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS.

Edell Doriza Aliaga Zegarra¹; Edwin Julio Palomino Cadenas²; Edson Yupanqui Torres³; Martín Lucio Salvador Poma⁴; Miguel Constante Bobadilla Alvarez⁵; Farah Hilden Acuña⁶ y Magaly Noemí López Lucio⁷.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el departamento de Ancash – Perú, en humedales altoandinos que reciben drenajes ácidos de mina o roca. El propósito fue evaluar la capacidad de bioacumulación de metales por parte de la comunidad vegetal nativa. Fueron cuatro los escenarios evaluados en período de lluvia y en estiaje: Quebrada Honda, Quillcayhuanca, Huancapetí y Mesapata. Las variables fisicoquímicas evaluadas *in situ* fueron pH, conductividad y temperatura (Método APHA). Se colectaron muestras de agua en el afluente y efluente de cada humedal, además de plantas dominantes en cada lugar, para el análisis de metales por Espectroscopia de Masa de Plasma Inductivamente Acoplado (EM-PIA) en el Laboratorio de Corrosión de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Los nutrientes analizados en agua por colorimetría, se hizo en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Los metales de mayor presencia en los cuatro escenarios son: As, Al, Pb y Zn. Las plantas mejor adaptadas y más abundantes en estos humedales ácidos son *Calamagrostis ligulata*, *Cyperus* y *Juncus imbricatus*, que logran bioacumular en promedio Pb en más de 500 mg/L., arsénico y cobre por encima de 900 mg/L., hierro y manganeso en más de 1600 mg/L., por lo que estas plantas merecen atención en los programas de biorremediación de pasivos ambientales y otros drenajes ácidos.

PALABRAS CLAVE: Humedales altoandinos, bofedales, fitorremediación, biorremediación, Drenajes Ácidos.

Capability of native plants in acid drainage water environment using for bioaccumulation of heavy metals

ABSTRACT

This research work was carried out in Department of Ancash-Perú. Environmental conditions to evaluate were into mine acid and rock acid drainages highlands wetlands. The aim of this research was assesses the capability of bioaccumulation of heavy metals from native plant communities. Four setting sites such as Quebrada Honda, Quebrada Quillcayhuanca, Huancapetí y Mesapata were choice under two climate periods: Rainy season and dry season. *In situ* physical-chemistry variables calculated were pH, electric conductivity and temperature (APHA methods). Affluent and effluent water for each wetland and dominant plant samples were collected to analyze of heavy metal by means of Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy (ICP-MS) in the Laboratory of Corrosion belonging to Pontificia Universidad Católica del Perú. Besides, nutrients in water were analyzed by colorimetry in the Laboratory of Environmental Quality belonging to National University "Santiago Antúnez de Mayolo". The mean metals in four setting sites were: As, Al, Pb, and Zn. The best adaptation and plentiful plants in acid wetlands were *Calamagrostis ligulata*, *Cyperus* y *Juncus imbricatus*. All of them bioaccumulate lead 500 mg/L., arsenic and copper over 900 mg/L. and manganese 1600 mg/L.. Those plants can be used in environmental passive treatment bioremediation programmes and other acid drainages places.

KEY WORDS: Highlands wetlands, peatlands, phytoremediation, bioremediation, acid drainages

¹ Magister. Sección de Química. Facultad de Ciencias – UNASAM. e-mail: doriza57@hotmail.com. Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

² Doctor. Facultad de Ciencias del Ambiente-UNASAM

³ Magister. Sección de Química. Facultad de Ciencias – UNASAM

⁴ Magister. Parque Nacional Huascarán – Instituto Nacional de Recursos Naturales

⁵ Doctor. Sección de Biología. Facultad de Ciencias – UNASAM

⁶ Alumna. Facultad de Ciencias del Ambiente-UNASAM

⁷ Alumna. Facultad de Ciencias del Ambiente-UNASAM

INTRODUCCIÓN

Los humedales pueden definirse como los ecosistemas acuáticos más productivos del planeta compuestos por vegetación hidrófita y caracterizados por tener aguas poco profundas con suelos saturados (Galbrand, Lemieux, Ghaly, Côte & Verma, 2008). Los humedales purifican, reciclan y retienen nutrientes, contaminantes y sedimentos mediante mecanismos de adaptación únicos que incluyen transformaciones REDOX, retención vegetal de contaminantes, degradación microbiana y sedimentación (Galbrand, Snow, Ghaly & Côte, 2008).

El impacto en la descarga de metales pesados se dirige especialmente a ambientes acuáticos como los humedales, y se evidencia por su incremento en el sedimento y biota del medio que disminuyen la productividad ecosistémica con predisposición a la exposición en humanos (Dixit & Tiwari, 2008). Las fuentes contaminantes artificiales de metales pesados son básicamente las siguientes: Los incineradores estacionarios para residuos urbanos, industria metalúrgica, materiales para la industria de la construcción, minas y las plantas para enriquecimiento de minerales no ferrosos en componentes útiles, variando considerablemente su distribución y movilidad (Dobra, Viman & Vâtca, 2006).

De otro lado, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Perú ha detectado más de 730 pasivos ambientales en todo el país bajo las formas de bocaminas y tajos abiertos, depósitos de relaves y escombros e instalaciones mineras abandonadas que están dañando los ecosistemas. El MEM considera 20 de alta prioridad: 05 en Ancash, 04 en

Cajamarca, 04 en Junín, 02 en Lima, 02 en Huancavelica, 01 en Arequipa, 01 en Madre de Dios y 01 en Puno. La problemática de los pasivos mineros es compleja; altera el paisaje, contamina el suelo y cuerpos de agua siendo inservibles para uso agrícola, pesca u otra actividad económica.

Una alternativa actual es el empleo de humedales artificiales catalogados como eficientes sistemas depuradores de utilidad en Dinamarca, Alemania, Reino Unido, Francia, España, Austria, Suiza, Bélgica, Luxemburgo, Holanda y Suecia. En Estados Unidos se investiga el uso de humedales, aplicando métodos ligeramente diferentes a los europeos: los "Free Water System" (FWS) y "Subsurface Flow System"(SFS) (Brix, 1987) (Boneto, 2001) (Anderson, 1995) (Cantú, 2000) (EPA, 1998) (EPA, 2002) (Gamonal, 2001) (Gonzales, 1998) (Palomino, 2005) (Paredes, 2004).

Tales antecedentes, conllevaron a desarrollar la presente investigación cuya finalidad fue determinar la capacidad de bioacumulación de metales pesados de aguas de drenaje ácido por plantas nativas de mayor predominancia en humedales naturales (Quebrada Honda, Huancapetí y Quilcayhuanca) y artificial (Mesapata), con influencia DAR, DAM y mixto.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el cuadro 1 se caracterizan las zonas de muestreo con influencia DAM, DAR y mixto.

Cuadro 1: Descripción de las estaciones de monitoreo

HUMEDAL SELECCIONADO	Drenaje	Longitud	Latitud Sur	Altitud (msnm)
Del Pasivo Minero de Huancapetí (Prov. de Aija – Dpto. Ancash.	DAM	9°45'21,19"	77°32'15,20"	4450
De la Planta Concentradora de Mesapata (Distrito de Cátaç, Prov. Recuay; Dpto. Ancash).	DAM	9°46'54,84"	77°25'37,20"	3539
De la Quebrada de Quilcayhuanca (Prov. Huaraz, Dpto. Ancash)	DAR	9°29'50,31"	77°24'57,27"	3828
De la Quebrada Honda, Dist. Marcará, Prov. Carhuaz, Dpto. Ancash	DAM/DAR	9° 18'47,51"	77° 21'50,27"	4145

DAM: Drenaje Ácido de Mina; DAR: Drenaje Ácido de Roca

INTRODUCCIÓN

Los humedales pueden definirse como los ecosistemas acuáticos más productivos del planeta compuestos por vegetación hidrófita y caracterizados por tener aguas poco profundas con suelos saturados (Galbrand, Lemieux, Ghaly, Côte & Verma, 2008). Los humedales purifican, reciclan y retienen nutrientes, contaminantes y sedimentos mediante mecanismos de adaptación únicos que incluyen transformaciones REDOX, retención vegetal de contaminantes, degradación microbiana y sedimentación (Galbrand, Snow, Ghaly & Côte, 2008)

El impacto en la descarga de metales pesados se dirige especialmente a ambientes acuáticos como los humedales, y se evidencia por su incremento en el sedimento y biota del medio que disminuyen la productividad ecosistémica con predisposición a la exposición en humanos (Dixit & Tiwari, 2008). Las fuentes contaminantes artificiales de metales pesados son básicamente las siguientes: Los incineradores estacionarios para residuos urbanos, industria metalúrgica, materiales para la industria de la construcción, mineras y las plantas para enriquecimiento de minerales no ferrosos en componentes útiles, variando considerablemente su distribución y movilidad (Dobra, Viman & Vátcă, 2006).

De otro lado, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Perú ha detectado más de 730 pasivos ambientales en todo el país bajo las formas de bocaminas y tajos

abiertos, depósitos de relaves y escombros e instalaciones mineras abandonadas que están dañando los ecosistemas. El MEM considera 20 de alta prioridad: 05 en Ancash, 04 en Cajamarca, 04 en Junín, 02 en Lima, 02 en Huancavelica, 01 en Arequipa, 01 en Madre de Dios y 01 en Puno. La problemática de los pasivos mineros es compleja; altera el paisaje, contamina el suelo y cuerpos de agua siendo inservibles para uso agrícola, pesca u otra actividad económica.

Una alternativa actual es el empleo de humedales artificiales catalogados como eficientes sistemas depuradores de utilidad en Dinamarca, Alemania, Reino Unido, Francia, España, Austria, Suiza, Bélgica, Luxemburgo, Holanda y Suecia. En Estados Unidos se investiga el uso de humedales, aplicando métodos ligeramente diferentes a los europeos: los "Free Water System" (FWS) y "Subsurface Flow System"(SFS) (Brix, 1987) (Boneto, 2001) (Anderson, 1995) (Cantú, 2000) (EPA, 1998) (EPA, 2002) (Gamonal, 2001) (Gonzales, 1998) (Palomino, 2005) (Paredes, 2004).

Tales antecedentes, conllevaron a desarrollar la presente investigación cuya finalidad fue determinar la capacidad de bioacumulación de metales pesados de aguas de drenaje ácido por plantas nativas de mayor predominancia en humedales naturales (Quebrada Honda, Huancapetí y Quilcayhuanca) y artificial (Mesapata), con influencia DAR, DAM y mixto.

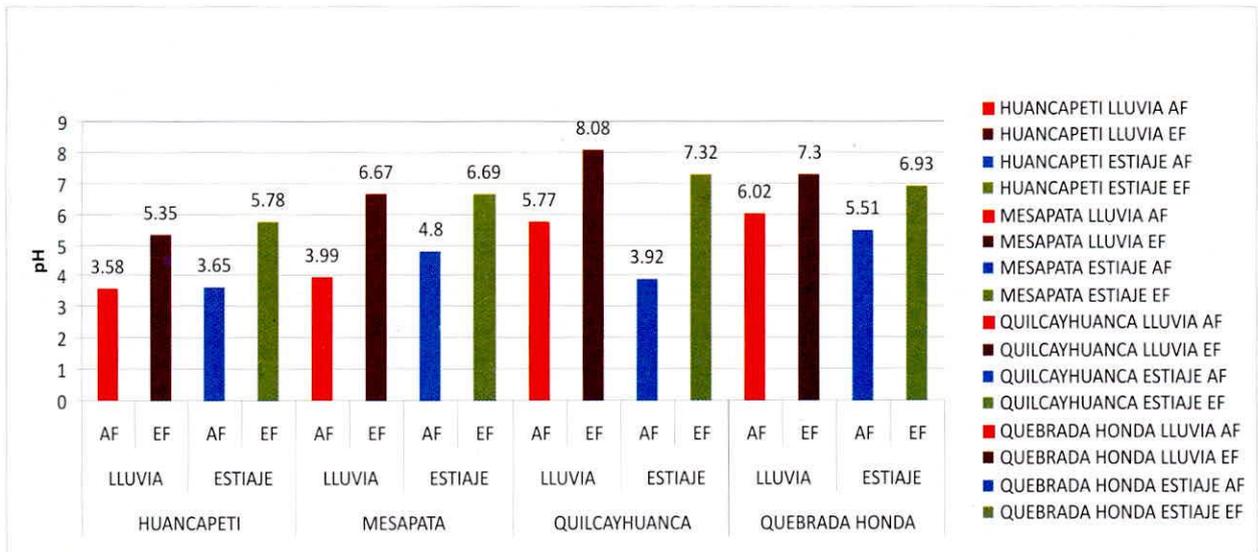


Figura 2: Valores de pH en los humedales

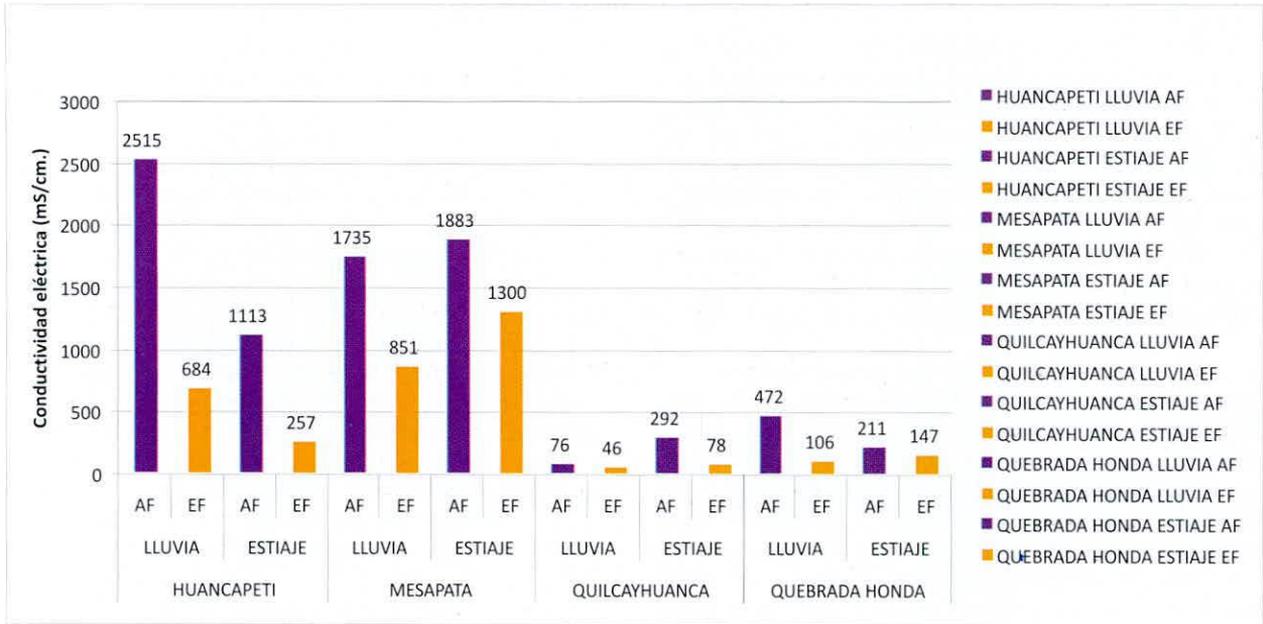


Figura 3: Valores de conductividad eléctrica en los humedales

Cuadro 2: Valores promedio de las concentraciones de nutrientes

PARAMETRO	PERIODO DE LLUVIA							
	HUANCAPETI		MEZAPATA		QUILCAYHUANCA		QUEBRADA HONDA	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
PO4-3 (mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SO4= (mg/l)	810	690	938.33	785.00	42.67	ND	41	ND
NO3- (mg/l)	0.23	0.2	ND	0.37	ND	ND	ND	ND

PARAMETRO	PERIODO DE ESTIAJE							
	HUANCAPETI		MEZAPATA		QUILCAYHUANCA		QUEBRADA HONDA	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
PO4-3 (mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SO4= (mg/l)	701.67	605	841.67	436.67	174.00	51.33	87.67	58.33
NO3- (mg/l)	ND	ND	0.33	1.06	0.14	0.35	0.31	ND

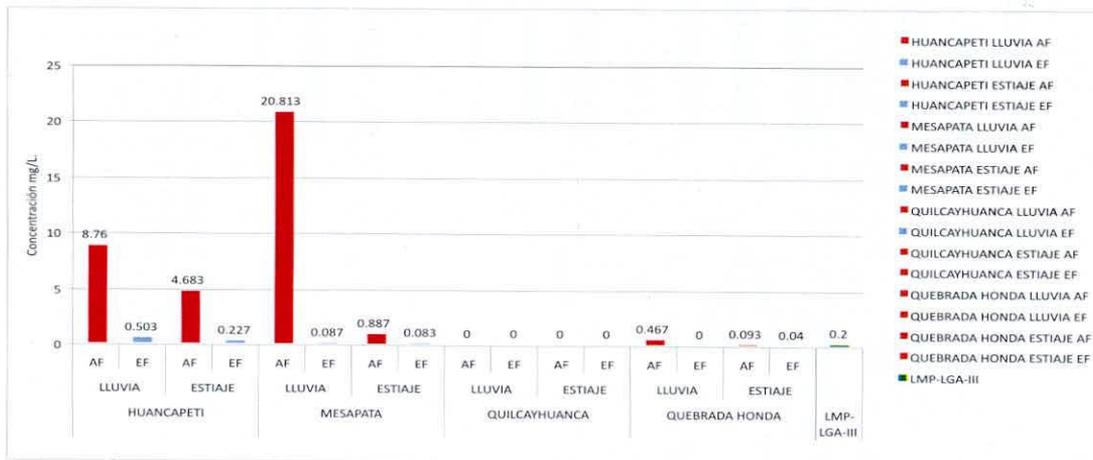


Figura 4: Concentración de arsénico en los humedales

APORTE SANTIAGUINO

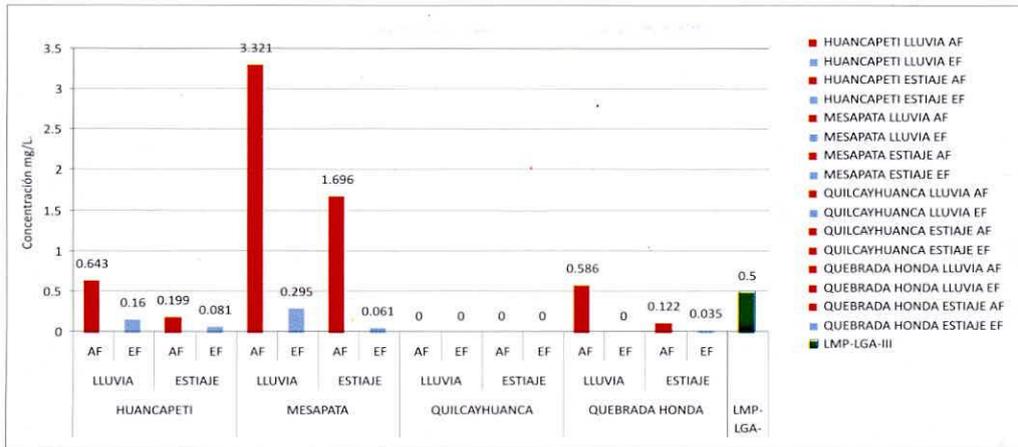


Figura 5: Concentración de plomo en los humedales

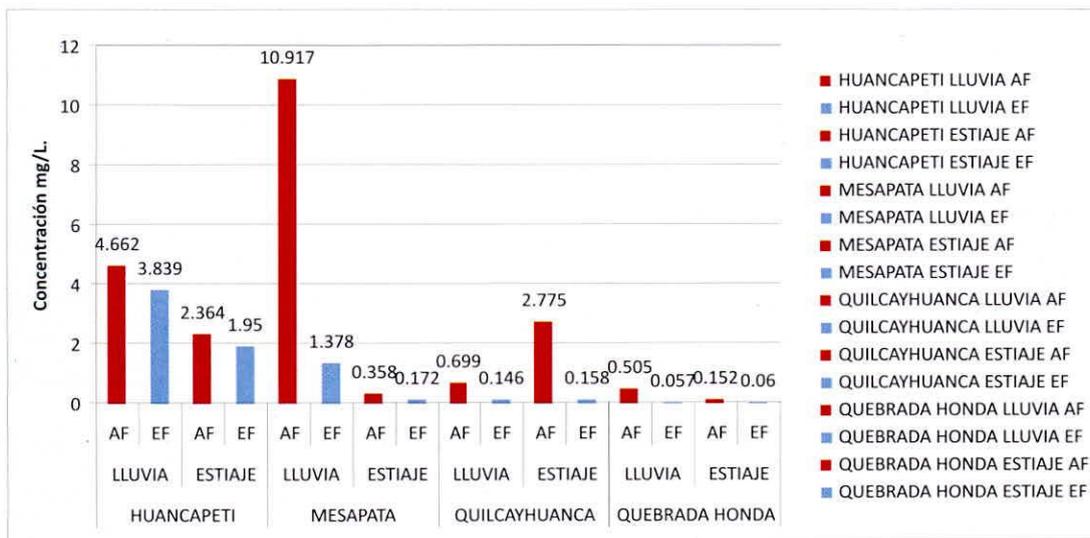


Figura 6: Concentración de aluminio en los humedales

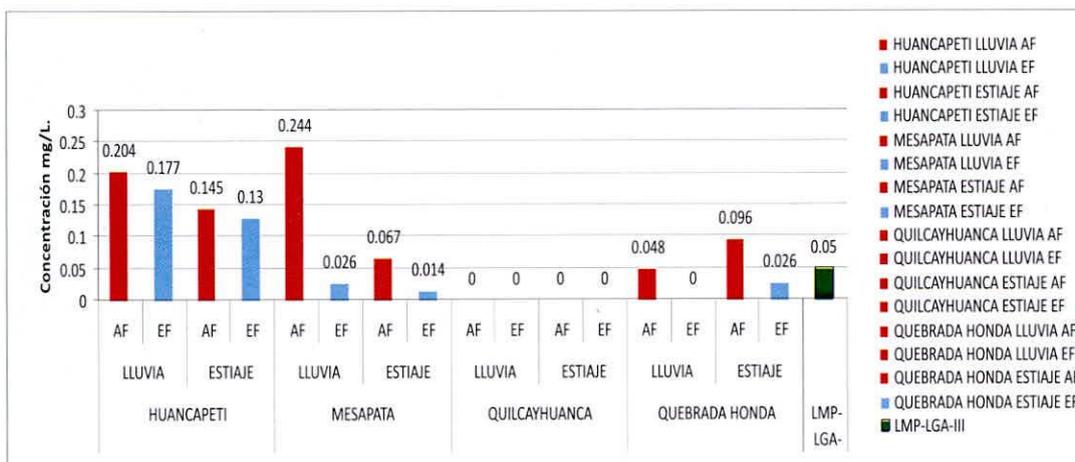


Figura 7: Concentración de cadmio en los humedales



Figura 8: Concentración de hierro en los humedales

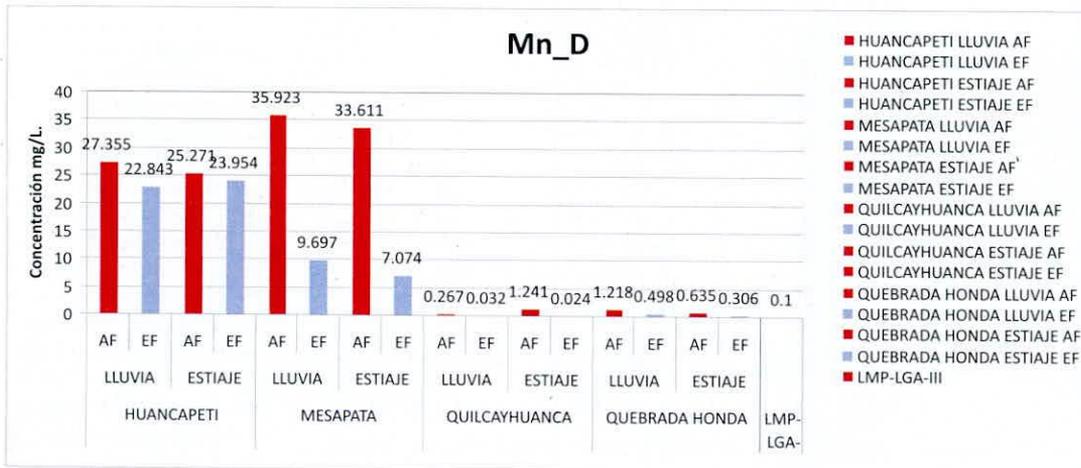


Figura 9: Concentración de manganeso en los humedales

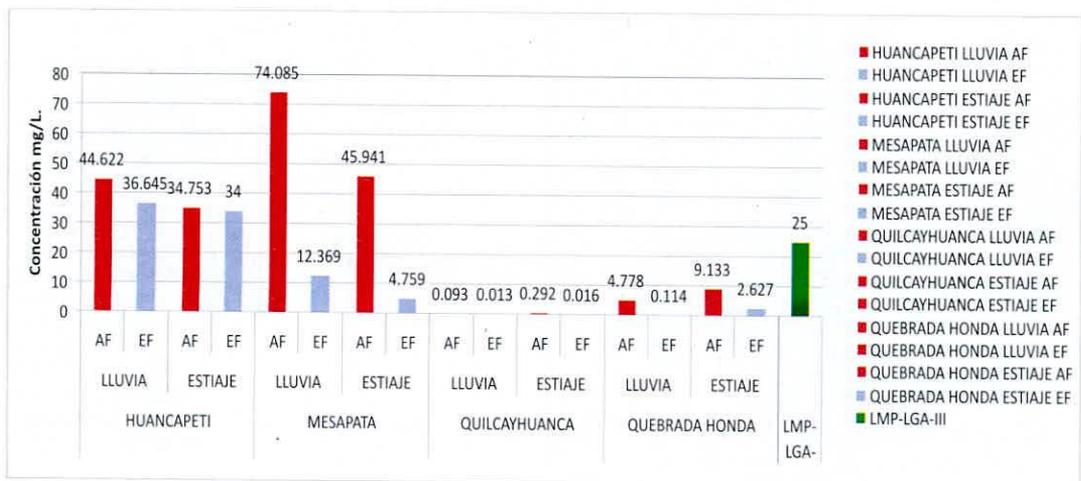


Figura 10: Concentración de zinc en los humedales

APORTE SANTIAGUINO

Cuadro 3: Promedio de metales pesados en plantas, en época de lluvia

Código PUCP		Límite de cuantificación	999	1000	Huancapetí CALI	Mesapata JUN	Quilca. CIP	Q.Honda CALI
Código UNASAM			JUNCU01	CALI01				
Al	mg/Kg	0.5	27.80	92.50	495.93	600.87	456.47	3814.23
Sb	mg/Kg	0.5	ND	ND	4.33	18.43	ND	2115.17
As	mg/Kg	0.2	6.70	28.80	652.33	557.63	7.50	2240.30
Cd	mg/Kg	0.1	0.20	0.20	9.20	13.63	0.50	29.57
Cr	mg/Kg	0.2	5.60	12.60	2.77	2.67	12.03	5.97
Co	mg/Kg	0.1	0.10	0.20	0.73	2.83	0.67	13.80
Cu	mg/Kg	0.3	3.00	2.00	29.90	129.83	10.60	129.00
Fe	mg/Kg	0.2	125.10	264.60	3350.63	4859.67	2104.4	50895.60
Pb	mg/Kg	0.1	3.00	21.00	121.30	662.87	2.23	917.80
Mg	mg/Kg	0.1	633.70	160.80	541.63	2453.33	1446.83	1362.90
Mn	mg/Kg	0.3	92.30	119.80	1322.50	2129.30	180.03	14159.27
Mo	mg/Kg	0.2	0.70	2.30	2.65	0.57	39.20	4.13
Ni	mg/Kg	0.4	3.30	11.90	2.13	4.37	8.50	12.20
Ag	mg/Kg	0.1	ND	ND	0.97	3.47	ND	13.07
Zn	mg/Kg	0.1	37.60	42.80	2097.60	3544.50	48.60	2115.17
Bi	mg/Kg	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	3.27
Sn	mg/Kg	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Li	mg/Kg	0.1	13.10	6.30	9.60	26.33	25.50	11.27
Hg	mg/Kg	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Si	Mg/Kg	0.1	190.90	447.70	592.87	696.47	982.77	877.53

ND: No Detectable

Cuadro 4: Promedio de metales pesados en plantas, en época de Estiaje

Código PUCP		Límite de cuantificación	999	1000	Huancapetí CALI	Mesapata JUNC	Quilca. CIP	Q.Honda CALI
Código UNASAM			JUNCU01	CALI01				
Al	mg/Kg	0.5	27.80	92.50	439.13	290.63	167.47	150.17
Sb	mg/Kg	0.5	ND	ND	2.70	7.07	ND	3.17
As	mg/Kg	0.2	6.70	28.80	217.00	529.00	6.67	52.23
Cd	mg/Kg	0.1	0.20	0.20	12.87	4.40	0.50	2.33
Cr	mg/Kg	0.2	5.60	12.60	1.23	6.23	14.43	1.10
Co	mg/Kg	0.1	0.10	0.20	1.43	1.30	0.40	0.37
Cu	mg/Kg	0.3	3.00	2.00	28.17	73.23	3.80	12.03
Fe	mg/Kg	0.2	125.10	264.60	1389.67	4716.27	382.87	591.17
Pb	mg/Kg	0.1	3.00	21.00	81.70	282.37	3.33	122.77
Mg	mg/Kg	0.1	633.70	160.80	1384.20	1092.13	924.53	811.30
Mn	mg/Kg	0.3	92.30	119.80	3291.33	970.93	223.43	329.87
Mo	mg/Kg	0.2	0.70	2.30	0.20	1.23	29.10	0.40
Ni	mg/Kg	0.4	3.30	11.90	1.53	5.20	10.00	1.20
Ag	mg/Kg	0.1	ND	ND	1.03	0.97	ND	0.57
Zn	mg/Kg	0.1	37.60	42.80	4320.00	847.27	50.87	224.13
Bi	mg/Kg	0.1	ND	ND	ND	0.50	ND	ND
Sn	mg/Kg	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Li	mg/Kg	0.1	13.10	6.30	4.60	36.03	18.23	11.23
Hg	mg/Kg	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Si	mg/Kg	0.1	190.90	447.70	327.07	593.00	758.47	414.20

ND: No Detectable

Cuadro 5: Factores de Bioacumulación de Metales Pesados en Plantas de humedales – 2008

Metal	Huancapetí		Mesapata		Quilcayhuanca		Quebrada Honda	
	Prom. Lluvia	Prom. Estiaje	Prom. Lluvioso	Prom. Estiaje	Prom. Lluvioso	Prom. Estiaje	Prom. Lluvioso	Prom. Estiaje
Al	106.38	185.76	55.04	811.82	653.03	60.35	7552.93	987.96
Sb	52.17	158.82	172.24	214.24	(-)	(-)	52879.25	137.83
As	74.47	46.34	26.79	596.39	750.00	667.00	4797.22	561.61
Cd	45.10	88.76	55.86	65.67	250.00	250.00	616.04	24.27
Cr	1385.00	615.00	43.77	3115.00	6015.00	7215.00	2985.00	550.00
Co	66.36	130.00	52.41	59.09	335.00	15.38	4600.00	185.00
Cu	100.67	180.58	71.65	1126.62	1766.67	292.31	3071.43	859.29
Fe	89.66	70.15	20.29	128.18	1576.35	373.53	11011.60	831.46
Pb	188.65	410.55	199.60	166.49	202.73	302.73	1566.21	1006.31
Mg	70.68	186.37	49.48	31.39	733.31	123.27	364.41	140.12
Mn	48.35	130.24	59.27	28.89	674.27	180.04	11625.02	519.48
Mo	(-)	(-)	285.00	615.00	(-)	(-)	2065.00	200.00
Ni	426.00	255.00	87.40	144.44	2125.00	243.90	762.50	42.86
Ag	161.67	257.50	867.50	485.00	(-)	(-)	1089.17	285.00
Zn	47.01	124.31	47.84	18.44	522.58	174.21	442.69	24.54
Bi	(-)	(-)	(-)	50.00	(-)	(-)	0.01	(-)
Sn	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Li	960.00	460.00	239.36	537.76	1275.00	911.50	1127.00	1123.00
Hg	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Si	1.81	59.43	30.88	66.78	285.69	162.17	205.66	110.07

MP: Metales Pesados**Factor de Bioacumulación (FBA): (mg/Kg planta)/ (mg/L agua)****(-): No determinado**

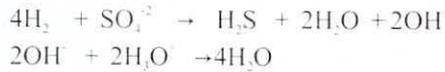
DISCUSIÓN

El pH en los humedales estudiados en el afluente es ácido y tiende a elevarse en el efluente tanto en época de lluvia y estiaje, siendo más notoria la recuperación para el Humedal de Mesapata con 3,68 unidades de pH en periodo de lluvia y en Quilcayhuanca 3,4 unidades de pH en estiaje. Debe resaltarse que la recuperación del pH en el Humedal de Huancapetí no llega a los valores mínimos permisibles por la Ley General de Aguas (pH para agua de riego: 6,5 – 8,5). Por otro lado, la concentración de sulfatos en el afluente a los humedales DAM es ligeramente más alta en periodo lluvioso (Huancapetí 810 mg/L y Mesapata 938 mg/L), que en el periodo de estiaje (Huancapetí 702 mg/L y Mesapata 842 mg/L), debido a que las lluvias arrastran contaminantes de las zonas cercanas, bocamina en Huancapetí y relavera en Mesapata, haciendo que la concentración aumente. En los humedales DAR, la concentración de

sulfatos en el afluente es mayor en el periodo de estiaje (Quilcayhuanca 147 mg/L y Quebrada honda 88 mg/L), que en el periodo lluvioso (Quilcayhuanca 42 mg/L y Quebrada honda 41 mg/L), debido a que en estos humedales la lluvia ejerce un efecto diluyente bajando su concentración. Sucede lo mismo con los metales. Este comportamiento es concordante con lo observado por L. Solórzano y R. Vizconde (2005) quienes realizaron investigaciones similares en la Quebrada de Quilcayhuanca; M. Salvador (2008) en las aguas superficiales de los humedales de Huancapetí, Mesapata y Quebrada Honda.

En todos los humedales y en ambos periodos (lluvia y estiaje respectivamente) se observó una disminución de la concentración de los sulfatos en el efluente Huancapetí (690 y 605 mg/L); Mesapata (785 y 437 mg/L); Quilcayhuanca (ND y 51 mg/L); Quebrada (ND y 58 mg/L). E. Aliaga (2003) afirma que las bacterias

sulfatoredutoras presentes en el sedimento de los humedales producen dos moles de iones OH^- los cuales neutralizan los iones hidronios haciendo que el pH se incremente, produciendo al mismo tiempo H_2S mediante las siguientes reacciones:



Entonces, la presencia de las bacterias sulfatoredutoras en los sustratos de los humedales, reduce el azufre de estado de oxidación +6 a -2 produciendo iones sulfuro que secuestran los metales pesados formando precipitados. Estas reacciones sucesivas optimizan el proceso remediador.

En el humedal de Huancapetí, en el periodo lluvioso, destaca la reducción significativa del arsénico, antimonio, hierro y plomo en 17, 8, 7 y 4 veces respectivamente. En periodo de estiaje se reducen el arsénico, hierro y plomo en 21, 7 y 2 veces. **En Mesapata**, en el periodo lluvioso, destaca la reducción significativa del arsénico, cromo, hierro, cobre y plomo en 239, 30, 16, 16 y 11 veces respectivamente. En periodo de estiaje se reduce el plomo, arsénico, zinc, hierro y cadmio en 28, 11, 10, 6 y 5 veces. **En Quilcayhuanca**, en el periodo lluvioso, destaca la reducción significativa del manganeso, zinc, aluminio y magnesio en 8, 7, 5 y 3 veces respectivamente. En periodo de estiaje se reducen el manganeso, zinc, aluminio, cobalto, magnesio y níquel en 52, 18, 18, 13, 11 y 10 veces. **En Quebrada Honda**, en el periodo lluvioso, destaca la reducción significativa del plomo, arsénico, zinc, cadmio, aluminio y hierro en 53, 47, 42, 24, 9 y 5 veces respectivamente. En periodo de estiaje se reducen el cadmio, zinc, plomo, níquel y aluminio en 4, 4, 4, 3 y 3 veces respectivamente. Estos resultados son concordantes con los obtenidos en el trabajo realizado por Palomino (2007).

En todos los humedales se observa un efecto de remediación en el agua, en salvaguarda de la calidad de esta. Sin embargo, se ha observado presencia de animales (vacunos, equinos, porcinos, lanar) que se alimentan de las plantas de los humedales que presentan metales pesados acumulados en su parte foliar.

De los ocho metales seleccionados de acuerdo a sus concentraciones en los humedales citados y comparados con los Límites Máximos Permitidos (LMP) de la Ley General de Aguas clase III se concluye que el agua de los efluentes de los humedales DAM no cumple con las exigencias para aguas de clase III para algunos elementos, mientras que los efluentes de los humedales DAR y mixto cumplen con las exigencias para aguas de clase II (consumo humano previa potabilización).

La mayor bioacumulación de metales en las plantas de humedales ácidos ocurre en el periodo de lluvia. Los que

más se bioacumulan son el Al 495, As 652, Fe 3350, Mg 541, Mn 1322, Zn 2097 y Si 593 en Huancapetí; en Mesapata: Al 600.87; As 557; Fe 4859; Pb 663; Mg 2453, Mn 2129, Zn 3544 y Si 696 en Quilcayhuanca: Al 456; el Fe 2104, el Mg 1446, el Mn 180 y el Silicio 982; en Quebrada Honda: Al 3814, Sb 2115, As 2240; Fe 50895; Pb 918, Mg 1363, Mn 14159; Zn 2115 y para el silicio 878.

Como puede observarse, los humedales con mayor capacidad de bioacumulación son los de Quebrada Honda, Mesapata y Huancapetí. Considerando la vegetación común destaca *Calamagrostis ligulata* para Quebrada Honda y Huancapetí, en tanto que Mesapata muestra como población predominante a *Juncus imbricatus*. Esto implicaría que estas plantas muestran una capacidad de remoción de metales pesados de una manera eficiente.

Por otro lado, los FBC son inversamente proporcionales a la concentración de metales. En humedales con DAM (Huancapetí) los metales con niveles más altos de FBC son Cr, Li, Ni, Pb, Fe, Ag (1385; 960; 426, 189; 190 y 162, respectivamente); (Mesapata) Cr, Cu, Al, As, Mo, Ag y pb (3115, 1126, 811; 596; 615; 485, 200 respectivamente). Humedales con DAR (Quilcayhuanca) Cr, Ni, Cu, Fe, Li y As (6015, 2125, 1767, 1576, 1275, 750 respectivamente); (Quebrada Honda) Mn, Fe, Al, As y Co (52879, 1625, 11012, 7553, 4797 y 600 respectivamente); observándose que las plantas de humedales que reciben DAR son las que muestran mayores FBC para diversos metales. Entre los más importantes están los metales tóxicos como el arsénico, antimonio, cromo, hierro y el cobre.

Consideramos que la biorremediación sigue abriendo más posibilidades para repotenciar los sistemas de tratamiento de drenajes ácidos, porque la comunidad microbiana presente en los sedimentos de humedales, y de plantas no sólo participan en el secuestro o inmovilización de metales pesados a través de procesos de reducción de sulfatos, sino que también participan en diversos procesos bioquímicos que complementan ciclos biogeoquímicos y consecuentemente la biorremediación de agentes tóxicos para el ambiente.

CONCLUSIÓN

1. En todos los humedales y en ambos periodos se observa una disminución de la concentración de los sulfatos en el efluente, notándose el efecto remediador de los humedales gracias a las bacterias sulfatoredutoras presentes en los sustratos.
2. En los humedales con influencia de drenaje ácido de mina DAM (Huancapetí y Mesapata) se observa mayor concentración de metales pesados en periodo lluvioso debido al flujo de metales

disueltos desde la bocamina y relavera respectivamente hacia los humedales, por el efecto de arrastre y disolución que ejerce la lluvia.

3. En los humedales con influencia de drenaje ácido de roca DAR (Quilcayhuanca y Quebrada Honda) se observa mayor concentración de metales pesados en periodo de estiaje debido a la concentración que experimentan los metales al disminuir el volumen de agua. No obstante, Quebrada Honda también presenta influencia minera, pero ésta se encuentra relativamente alejada del humedal.
4. Se observa una reducción significativa de los metales en los efluentes de los humedales estudiados hasta los niveles de exigencia normativa nacional e internacional para agua de riego. Excepcionalmente esto no se cumple para el Mn y el Cd en los humedales que reciben DAM.
5. Para la mayoría de los metales pesados existe una relación inversamente proporcional entre el FBC y la concentración de metales en el afluente al humedal.
6. *Juncus imbricatus* y *Calamagrostis ligulata*, presentes en humedales que reciben drenaje ácido, muestran alta capacidad de Bioacumulación que puede traducirse a un potencial económico toda vez que bioacumulan metales de importancia comercial como el aluminio plomo, plata, zinc y cobre de 50 a 860 veces, que pueden ser recuperados de la biomasa.
7. Existe remoción de metales pesados tóxicos como el Arsénico y el Cromo por plantas de humedales, principalmente *Juncus imbricatus* en el humedal de Mesapata.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, que a través de la Oficina General de Investigación decidió apoyar esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, M.T., E.Tavizón - Plantas tolerantes al arsénico y al plomo. Agrofaz; 2005
- Aliaga, Edell - Biorremediación del agua de relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de la UNASAM – Jangas, por tratamiento con quitina de crustáceos, 2001 – 2002. Tesis de Maestro en Ciencias e Ingeniería. Universidad Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz – Perú; 2003.
- Anderson, W. - Innovative Site Remediation Technology. American Academy of Environmental Engineers. New York - EE.UU; 1995.
- APHA - Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17^o Edición. Ediciones Díaz de Santos España. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF); 1992.
- Barton L.; W. Hamilton - Sulphate-reducing bacteria: environmental and engineered systems. Cambridge University Press; 2005.
- Biebl, H., and N. Pfennig - Growth of sulfate-reducing bacteria with sulfur as electron acceptor. Arch. Microbiol. 112:115-117; 1977.
- Celis H. J. et al. - Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de Concepción. Chillán. (Artículo); 2005.
- Cord-Ruwisch, R. - A quick method for the determination of dissolved and precipitated sulfides in cultures of sulfate-reducing bacteria. J. Microbiol. Methods 5:83-91; 1995.
- Gamonal, P. - Tratamiento de drenaje ácido de mina en humedales construidos. IHE – DELFT. www.sedapal.com.pe/bvs/humedales.pdf; 2001.
- López, J. et al. - Tratamientos Pasivos de Drenajes Ácidos de Mina: Estado Actual y Perspectivas de Futuro. Boletín Geológico y Minero. Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 2002.
- Mostacero, J.; F. Mejía; O. Gamarra - Taxonomía de las Gnerógamas útiles del Perú. Edit. Normas Legales. SAC Trujillo Perú. 2 tomos. 1323 p; 2002
- Palomino, E; M. Paredes, A. Villanueva - Biorremediación de DAM mediante sistema de humedales. IV Congreso internacional de Medio Ambiente en Minería y Metalurgia. Lima – Perú; 2005.
- Ruiz, A. Ministerio - Humedales altoandinos: Visión de la Dirección general de aguas. Dirección General de Aguas. Chile. 17 p; 2005.
- Villanueva, A. - Biorremediación de aguas de relaves mineros con el empleo de humus de lombriz y lodo de desagüe en el pasivo ambiental santo toribio – Independencia- Ancash, 2002 – 2003. Tesis Ing MSc. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz – Perú; 2003.

CORRESPONDENCIA: Edell Aliaga Zegarra, Ciudad Universitaria, Sancayan s/n Independencia, Huaraz-Perú. E. mail: doriza57@hotmail.com

ANEXOS

Anexo 1: Afluente y Efluente del Humedal Huancapetí



Anexo 2: Afluente y Efluente del Humedal Mesapata



Anexo 3: Afluente y Efluente del Humedal Quilcayhuanca



Anexo 4: Afluente y Efluente del Humedal Quebrada Honda

