



«EFECTO DE LA AIREACION MECANICA PARCIAL DE LA LAGUNA PRIMARIA EN LA REMOCION DE LA CARGA ORGANICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION EL ESPINAR DE LA CIUDAD DE PUNO, PUNO – 2010-2013»

Teófilo Chirinos Ortiz ^{1,2,3} / José Vera Santa María ^{1,2,4} / Esteban Vilca Perez ^{1,2,5}

¹Docente Facultad de Ing. Agrícola / ²Universidad Nacional del Altiplano / ³teochirinos@gmail.com / ⁴jovesan_53@hotmail.com / ⁵vilca_perez@hotmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 17 de Agosto 2014
Art. Aceptado 21 de Diciembre 2014
Publicado: 29 Diciembre del 2014

PALABRAS CLAVE:

- * Lagunas de estabilización
- * eficiencia de remoción
- * aireación mecánica
- * carga orgánica
- * descolmatación

ARTICLE INFO

Article Received August 17, 2014
Article Accepted December 21, 2014
Published: December 29, 2014

KEY WORDS:

- * Stabilization ponds
- * removal efficiency
- * mechanical aeration
- * organic load
- * desilting

RESUMEN

En octubre del 2010 se instalaron dos módulos de aireación para oxigenar 2,601 m² de la laguna primaria del Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar de la ciudad de Puno, para mejorar las condiciones de remoción de la carga orgánica de dicho sistema. Es por ello que el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la aireación mecánica parcial de laguna de primaria en la remoción de la carga orgánica durante el período 2010 – 2013, en las actuales condiciones de operación del sistema. Para las condiciones de operación, se realizaron evaluaciones de los componentes y el monitoreo de la DBO₅ a la entrada y salida del sistema; mientras que para determinar el efecto de la aireación mecánica, se compararon las eficiencias de remoción de la DBO de los escenarios sin y con aireación (Ene.2007-Nov.2010 y Dic. 2010-Dic.2013), construidos con la información disponible. Según lo evaluado, la laguna primaria está colmatada, recibe cargas superficiales orgánicas superiores a 300 Kg DBO/m³-día y caudales mayores a 250 l/s, superior a su capacidad de tratamiento; asimismo, que la aireación mecánica no tiene incidencia significativa en la eficiencia de remoción de la DBO₅ del sistema, aunque sí muy puntualmente en su área de influencia, pero que se disipa por los otros factores adversos concurrentes. Por lo que se concluye que en las actuales condiciones de operación, la aireación mecánica parcial de la laguna primaria no afecta la remoción de la carga orgánica del sistema; siendo necesario realizar trabajos de investigación complementarios para tomar decisiones para la mejora de la eficiencia de tratamiento del sistema, así también que es necesario la descolmatación inmediata de la laguna primaria.

EFFECT OF MECHANICAL VENTILATION PARTIAL OF LAGUNA ELEMENTARY IN THE REMOVAL OF THE ORGANIC LOAD OF SYSTEM OF PONDS STABILIZATION THE ESPINAR OF THE CITY PUNO, PUNO - 2010-2013.

ABSTRACT

In October 2010 two modules were installed aeration to oxygenate 2,601 m² of primary lagoon, of the System of Stabilization ponds El Espinar of the city of Puno, to improve the removal of the organic load of the system. That is why the aim of this research was to determine the effect of partial mechanical aeration of the lagoon elementary in removing the organic load during the period 2010 - 2013, under current operating conditions of the system. For the operating conditions, was made the components assessment and the monitoring of the BOD₅ to the input and output of the system; whereas to determine the effect of mechanical ventilation, were compared removal efficiencies of BOD in scenarios with and without aeration (Ene.2007-Nov.2010 and Dic. 2010-Dic.2013), built on available information. As assessed, the elementary lagoon is silted, receives a BOD higher than 300 kg / m³ and a flow higher day 250 l / s, above its processability treatment capacity; also, that mechanical ventilation does not have significant impact on the efficiency of removal of BOD₅ of the system, although very occasionally in their area of influence, but dissipated by other concurrent adverse factors. So it is concluded that under the current operating conditions, the partial mechanical aeration of the primary lagoon does not affect the removal of the organic load of the system; is necessary to make research complementary to make decisions for the improving for the treatment efficiency of the system, also is necessary the immediate desilting of the primary lagoon.

INTRODUCCION

Las Lagunas de estabilización (LE) son sistemas de tratamiento de aguas residuales de doméstica y municipales de bajo costo de operación y alta eficiencia (Peña y Mara, citado por Sánchez y Ortiz 2012). Las eficiencias pueden ser tal altas como cualquier proceso para la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Sólidos en Suspensión (SS), si están diseñadas y operadas adecuadamente (Feachem et al, Mara et al y Yañez, citados por Oakley 2005). Pero estos, como tantos otros, tienden al decremento de su eficiencia por crecimiento poblacional (Zapata, 2,000) y/o las inadecuadas condiciones de operación y mantenimiento de los mismos (Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento – SUNASS, 2008).

Esta problemática no escapa al Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar de la ciudad de Puno, donde las lagunas ya no trabajan de acuerdo al propósito establecido, por la excesiva sobrecarga orgánica e hidráulica que reciben y afectan la eficiencia de remoción de ciertos parámetros (Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno S. A. – EMSA PUNO S.A.). Según EMSA PUNO S.A. (2011), la eficiencia histórica promedio de remoción de la DBO_5 era de 64%, inferior al 80% establecido como mínimo para estos sistemas en la Norma Técnica de Edificación OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales aprobada con D.S. N° 022-2009-Vivienda. Esto ocasiona malos olores y la contaminación de la Bahía Interior de Puno, principal cuerpo receptor de estas LE (Municipalidad Provincial de Puno, 2007).

Para potenciar la capacidad operativa de estos sistemas, entre otros, se puede optar por la instalación de equipos de aireación para abatir las cargas incrementales (Espinoza, 2008). Por consiguiente, para mejorar las condiciones de remoción de la carga orgánica en las lagunas de estabilización, en octubre del 2010 se instalaron 02 módulos de aireación de 25 HP en la laguna primaria, que inyectan a través de 30 difusores de burbuja gruesa 688 m³/hr de oxígeno en forma alternada, durante 18 horas por día y en un área de influencia de 2,601.0 m², que es el 1.94% del área total de la Laguna primaria (EMSA PUNO S.A., 2011). Sobre el particular, EMSA PUNO S.A. (2011), señala que a mayo de ese año la aireación parcial de la laguna primaria había permitido incrementar la eficiencia de remoción de la DBO_5 hasta 73%, que viene a ser aproximadamente un 10% mayor respecto al 2009.

En base a los resultados del monitoreo realizado por EMSA PUNO S.A. (2011) entre noviembre del 2010 y mayo del 2011, es relevante determinar el efecto de la aireación mecánica parcial de la laguna primaria en la eficiencia de remoción de la carga orgánica; ya que, de acuerdo a lo planteado por Speerling (1996, citado por Pérez 2010) y el Ministerio del Ambiente - MINAM (2009) con las lagunas aireadas facultativas se pueden alcanzar eficiencias de remoción de la DBO_5 de hasta el 95%. Esto en el perspectiva inicial de que con la remoción inmediata de lodos es posible mejorar más la eficiencia de remoción de la DBO_5 del Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar, y que más adelante se puede mejorar mucho aún con la aireación mecánica total de laguna primaria, el control adecuado de efluentes industriales en su lugar de origen, la remoción oportuna de lodos y si es posible una desconcentración de las descargas de aguas residuales.

El objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la aireación mecánica parcial de la laguna primaria en la eficiencia de remoción de la DBO_5 durante el período 2010 – 2013, que corresponde al período de funcionamiento de los módulos de aireación, en las actuales condiciones de operación del sistema.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se fundamentó en la comparación de la eficiencia de remoción de la DBO_5 del Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar en dos escenarios temporales consecutivos. El primero corresponde al escenario sin aireación, comprendido entre enero del 2007 y noviembre del 2010, y el segundo al escenario con aireación, comprendido entre diciembre del 2010 y diciembre del 2013.

Materiales

Se utilizaron los datos históricos de monitoreo de la calidad del agua e información técnica del Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar de EMSA PUNO S.A.; así también, se utilizaron fichas de cotejo y esquemas de entrevistas no estructuradas para el recojo de datos de las condiciones de operación y mantenimiento del sistema.

Etapas del Estudio

Etapa 1: Sistematización de la información histórica de monitoreo de la laguna

Se recabaron datos históricos de monitoreo de la calidad del agua y de las condiciones de operación del sistema de tratamiento de EMSA PUNO S.A., para determinar la eficiencia mensual de remoción de la DBO_5 y validar las condiciones de operación del sistema.

Etapa 2: Monitoreo de la calidad del agua y detalle de los componentes del sistema

En el 2013, mensualmente se realizó el monitoreo de los parámetros considerados en el Programa de monitoreo de calidad de agua establecido por EMSA PUNO S.A., desde las 10:00 hasta las 11:00 horas de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales aprobado por el Ministerio de Vivienda (2013). Los puntos de monitoreo fueron: la entrada a la cámara de rejillas y el punto de descarga del sistema, que son los mismos que EMSA PUNO S.A. ha utilizado para el monitoreo del agua en períodos anteriores. El análisis químico correspondiente se realizó en el laboratorio de dicha institución, conforme a los métodos estándar para el análisis de las aguas residuales.

La constatación de los componentes principales del sistema de tratamiento y el detalle de sus aspectos generales se realizó mediante sendas visitas de campo.

Etapa 3: Análisis del estado operativo de la laguna primaria

En base a la información histórica de caudales disponibles y a la información disponible de la laguna primaria, se procedió al análisis del estado operativo de la laguna primaria.

Eta 4: Procesamiento de los datos de eficiencia

El análisis de consistencia de los datos se hizo en base a criterios estadísticos, de acuerdo a la metodología sugerida por Villón (2001) para corregir los errores sistemáticos de los datos hidrológicos. Para ello, se consideró que no es necesario hacer las correcciones por tendencia en la media ni en la desviación estándar de los datos analizados, debido a que los parámetros en estudio no son aleatorios como los datos hidrológicos, sino que dependen del crecimiento poblacional, comercial e industrial de la ciudad.

La eficiencia de tratamiento de la DBO se determinó mediante la relación sugerida por Londoño y Marín (2009), en la que asumimos que el caudal de entrada es igual al caudal de salida, por falta de datos de descarga del efluente.

$$\%R = \frac{[a]A - [a]E}{[a]A} * 100 \quad (1)$$

Donde:

%R: Eficiencia de remoción del contaminante

[a]A: Es la masa del parámetro en el afluente, que es igual a la concentración del parámetro por el caudal del afluente

[a]E: Es la masa del parámetro en el efluente, que es igual a la concentración del parámetro por el caudal del efluente

El efecto de la eficiencia de tratamiento se determinó estadísticamente, comparando los promedios de eficiencia de tratamiento de ambos escenarios, mediante el estadístico Z con un nivel de confianza del 95%. Las hipótesis nula y alterna planteadas fueron:

$H_0: \bar{x}_1 < \bar{x}_2$ El promedio de la eficiencia de tratamiento del escenario sin aireación es menor que la del promedio del escenario con aireación.

$H_1: \bar{x}_1 > \bar{x}_2$ El promedio de la eficiencia de tratamiento del escenario sin aireación es mayor que la del promedio del escenario con aireación.

El efecto de la aireación en la eficiencia de tratamiento se determinó con la siguiente expresión:

$$\Delta Eficiencia = 100 * \frac{(\bar{x}_2 - \bar{x}_1)}{\bar{x}_1} \quad (2)$$

Donde:

\bar{x}_1 : Promedio de eficiencia de tratamiento del escenario sin aireación

\bar{x}_2 : Promedio de eficiencia de tratamiento del escenario con aireación.

Δ Eficiencia: Variación de la Eficiencia de Tratamiento

RESULTADOS

Eta 1: Sistematización de la información histórica de monitoreo de la laguna

El detalle de los registros de monitoreo de calidad de aguas residuales, de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Registros históricos de monitoreo de la calidad del agua

PARAMETRO	LMP para efluentes vertidos en cuerpos de agua		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Magnitud	Unid.							
pH	6.5-8.5	Unidad					X	X	X
Temperatura	< 35	°C					X	X	X
Acidos Grasas	20	mg/L							
DBO ₅	100	mg/L	X	X	X	X	X	X	X
DOO	200	mg/L					X		
Sólidos suspendidos totales	150	mL/L					X	X	
Coliformes Termotolerantes	10.000	NMP/100 ml	X	X	X	X	X	X	X

FUENTE: Elaboración propia a partir de informes técnicos de EMSA PUNO S.A.

En base a la Tabla 1, se cuenta con datos de la DBO₅ para ambos escenarios.

Eta 2: Monitoreo de la calidad del agua y detalles de los componentes del sistema

Los resultados de los análisis físico-químicos de los parámetros monitoreados en el 2013, se detallan en el Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de los monitoreos realizados en el 2013

PARAMETRO	LUGAR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
pH	Afluente	7.96	7.82	8.10	8.25	8.36	8.62	8.54	8.61	8.55	8.35	8.35	7.38
	Efluente	8.46	8.24	8.54	8.41	8.67	8.79	8.68	8.73	8.61	8.64	8.64	7.64
Temperatura	Afluente	14.60	14.40	15.90	13.50	14.20	14.50	15.30	14.50	13.50	14.20	15.20	15.20
	Efluente	15.30	14.90	15.10	14.10	14.50	15.60	15.00	15.70	14.00	14.50	15.60	15.40
DBO	Afluente	273.41	253.66	243.90	228.39	224.15	253.66	248.28	273.12	269.27	251.20	204.39	292.68
	Efluente	73.47	75.61	74.15	87.80	89.68	96.10	89.88	97.56	103.56	104.97	117.07	108.87
Coliformes	Afluente	1.8E+07	1.2E+07	7.0E+06	1.0E+07	2.0E+07	3.0E+07	4.0E+07	4.5E+07	3.5E+07	2.8E+07	2.9E+07	3.2E+07
	Efluente	8.0E+04	5.0E+04	3.0E+04	4.0E+04	4.0E+04	5.0E+04	6.0E+04	5.0E+04	8.0E+04	1.0E+05	2.2E+05	2.8E+05

FUENTE: Elaboración propia a partir de informes técnicos de EMSA PUNO S.A.

En la Tabla 2 se aprecia que los datos de temperatura y pH prácticamente se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento (6.5 – 8.5); mientras que los valores de la DBO₅, están por debajo de dichos límites de enero a septiembre y ligeramente por encima desde octubre hasta diciembre (100 mg/L).

Componentes del sistema de tratamiento

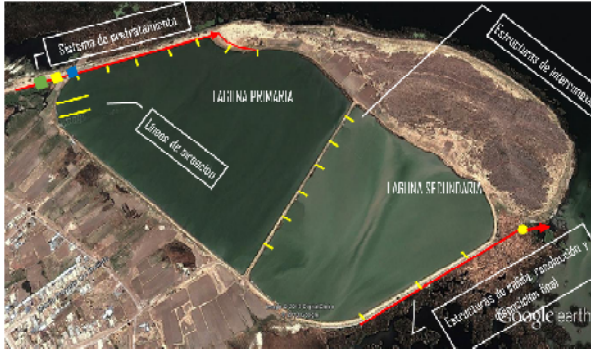
Los componentes del sistema de tratamiento se resumen en la Tabla 3 y se muestran en el Gráfico 1.

Tabla 3: Componentes de la Laguna de Estabilización El Espinar

COMPONENTE	FUNCION	ESTRUCTURAS	N°	OBSERVACIONES
Sistema de pretratamiento	Retención material flotante, gravas y arenas y medición	Cámara de rejas	1	Operativo y regular estado de conservación
		Desarenador	1	Operativo y regular estado de conservación
		Medidor	1	Operativo y regular estado de conservación
		Entregas a laguna	6	Operativo y regular estado de conservación
Laguna primaria	Tratamiento biológico	Laguna	1	13.4 Ha.; H: 2.4 y Vol.: 303,050 m ³
		Sistema aireación	1	Operativo y regular estado de conservación
		Estructura interconexión	6	Operativo y regular estado de conservación
Laguna secundaria	Maduración	Laguna	1	17.9 Ha.; H: 2.0 m y Vol.: 118,350 m ³
		Salida	3	Operativo y regular estado de conservación
		Tubería recolección	1	Operativo y regular estado de conservación
		Buzón de entrega	1	Operativo y regular estado de conservación

FUENTE: Elaboración propia a partir de informes técnicos de EMSA PUNO S.A.

GRAFICO 1: Componentes de la Laguna de estabilización El Espinar



FUENTE: Elaboración propia a partir de observaciones de campo

Los componentes del sistema de aireación se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4: Componentes del sistema de aireación de la Laguna de Estabilización El Espinar

COMPONENTE	FUNCION	Nº	ESTRUCTURAS	Nº	OBSERVACIONES
Transformador	Dotar de energía	1	Transformador	1	Operativo y buen estado de conservación
Modulo soplador/motor	Captar aire e incorporarlo al sistema	1	Soplador 42 URA-L-187 cm	1	Operativo y buen estado de conservación
		1	Motor eléctrico 25 HP	1	Operativo y buen estado de conservación
		2	Tablero control electrónico	1	Operativo y buen estado de conservación
		1	Conexión soplador - Línea de conducción	1	Operativo y buen estado de conservación
Sistema de Inyección de aire	Conducción e Inyección de aire	1	Caseta metálica	1	Operativo y buen estado de conservación
		2	Línea de conducción: PEHD, 2" y 150 m. Difusores de tubo: 6.5 mm x 0.65 m	30	Operativo y regular estado de conservación

FUENTE: Elaboración propia a partir de informes técnicos de EMSA PUNO S.A.

Detalle general de los componentes del sistema de tratamiento

El Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar fue construido en 1972 y ampliado entre 1995 y 1996, y está constituido por un sistema de pretratamiento, una laguna primaria para la degradación biológica de la materia orgánica y una laguna secundaria para la remoción de patógenos. Según el Estudio Mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno, Provincia de Puno – Puno (Municipalidad de Puno, 2013), el sistema tenía una hasta diciembre del 2010 una capacidad normal de operación de 145 l/s. y una cobertura del 64.5% de la población total, que según el INEI (2011) era aproximadamente de 134,578 habitantes.

Se constató que la cámara de rejas y desarenador, construidos ambos recién en el 2010, tenían deficiente mantenimiento, que la entrega de agua del sistema de pretratamiento a la laguna primaria no era uniforme a través de todas las tuberías de entrega, que existían bancos de lodos y arenas en diferentes zonas de la laguna primarias, así también que eventualmente las aguas de la laguna primaria se desbordan a la laguna secundaria, justo en la zona interconexión de ambas.

El Sistema de aireación, empezó a operar a partir del 03 de noviembre del 2010, fecha desde la cual ambos módulos funcionan forma alternada y por un lapso de 1.5 horas cada uno, desde las 23:00 hasta las 17:00 horas durante los siete días de la semana. EMSA PUNO S.A. (2012) indica que la capacidad de transferencia de aire de cada módulo es de 688.09 m³/hr, y el área de influencia

del sistema de aireación es de 2,601m², que es el 1.94% del área total de la Laguna primaria.

Etap 3: Análisis del estado operativo de la laguna primaria

Con los caudales promedio mensual de los afluentes a laguna primaria, determinados a partir de los datos caudal tomadas a las 07:00, 11:00, 15:00, 19:00 y 23:00 horas durante los 365 días del 2012, los valores de la DBO mensual de dicho año y las dimensiones geométricas de la misma, se ha construido la Tabla 5.

Tabla 5: Condiciones de operación de la laguna primaria

CONCEPTO	UNID	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Caudal promedio	m ³ /s	0.344	0.336	0.315	0.306	0.281	0.226	0.292	0.299	0.306	0.303	0.302	0.313
Caudal promedio	m ³ /día	27107	28001	27213	26804	21872	19400	24008	25167	26317	26771	26133	27018
DBO afluentes	mg/l	171.01	182.00	200.49	212.28	318.43	336.12	294.84	306.63	324.32	312.53	321.95	278.76
Area Laguna	Ha	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40
Carga superficial	kg DBO/ha-día	345.94	399.89	407.16	418.28	515.01	496.61	440.68	575.9	636.96	610.39	627.88	560.63
Volúmen	m ³	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600	204.600
Carga volumétrica	gr DBO/m ³ -día	22.66	25.80	26.67	27.39	33.73	31.87	28.86	37.72	41.72	39.88	41.12	36.72
Tratamiento	Has	7.54	7.09	7.50	7.74	9.44	10.56	10.72	8.13	7.71	7.82	7.83	7.51

FUENTE: Elaboración propia a partir de informes técnicos de EMSA PUNO S.A.

En la Tabla 5 se observa que durante todo el 2012 el caudal promedio mensual de los afluentes es superior a la capacidad normal operativa del sistema, así también que la carga orgánica superficial fluctúa entre 345.94 y 636.96 kg DBO/ha – día, y que la carga volumétrica fluctúa entre 22.66 y 41.12 gr DBO/m³-día.

Etap 4: Procesamiento de los datos de eficiencia

Datos iniciales sistematizados

Los registros de la DBO para el período 2007 – 2013 se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Registro de datos de la DBO – 2007-2013

AÑO	LUGAR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Afluente	399.05	358.20	315.89	307.38	283.16	377.32	391.96	361.81	325.99	259.27	285.71	303.62
	Efluente	85.36	86.43	83.51	74.57	75.16	111.56	117.59	122.28	129.35	96.51	102.98	112.44
2008	Afluente	303.62	332.62	368.44	372.71	381.05	386.99	382.74	396.32	386.14	370.01	325.76	251.37
	Efluente	105.47	104.98	106.47	113.22	118.32	149.66	145.09	144.40	138.46	130.01	120.39	96.76
2009	Afluente	263.34	287.28	289.25	275.31	251.37	275.31	203.49	263.34	287.28	297.03	282.18	297.03
	Efluente	101.75	107.73	89.79	77.81	72.74	77.81	48.80	35.91	41.90	68.55	73.12	77.68
2010	Afluente	267.33	311.00	366.44	371.29	341.58	332.67	368.32	344.56	354.68	366.50	331.03	307.39
	Efluente	50.27	54.84	63.98	68.55	63.98	75.25	83.17	82.25	86.40	86.40	77.30	68.21
2011	Afluente	212.81	224.63	271.92	295.57	283.74	295.57	238.45	283.74	288.94	312.53	300.74	212.00
	Efluente	50.02	46.47	63.66	66.91	67.98	81.85	86.40	86.40	92.99	122.47	81.65	86.18
2012	Afluente	171.01	182.00	200.49	212.28	318.43	336.12	294.84	306.63	324.32	312.53	321.95	278.76
	Efluente	79.38	52.16	81.65	81.65	95.26	90.72	97.52	81.65	86.18	95.26	100.00	78.05
2013	Afluente	263.41	253.66	243.90	224.39	234.15	263.66	248.78	273.17	269.27	351.20	304.39	292.68
	Efluente	73.17	75.61	74.15	87.80	92.68	96.10	92.68	97.56	103.56	108.97	117.07	108.07

FUENTE: Elaboración propia a partir de informes técnicos de EMSA PUNO S.A.

Análisis de consistencia y corrección de datos iniciales

El resultado del análisis de consistencia de los datos de la DBO₅ se resume en la Tabla 7. En ella, los datos del escenario con aireación son consistentes; pero no así algunos períodos del escenario sin aireación, por lo que estos se tuvieron que corregir.

Tabla 7: Resultados del análisis de consistencia de los datos de la DBO

ESCENARIO	CONCEPTO	ESTADISTICO	PERIODO	CORRECCION POR INCONSISTENCIA
Sin aireación: Ene.2007 -Nov.2010	AFLUENTE	Media	Ene.2007-Dic.2008	Si
			Ene.2009-No.2010	No
		Desv. Estandar	Ene.2007-Dic.2008	No
			Ene.2009-No.2010	No
	EFLUENTE	Media	Ene.2007-Dic.2008	Si
			Ene.2009-No.2010	No
Desv. Estandar		Ene.2007-Dic.2008	No	
		Ene.2009-No.2010	No	
Con aireación: Dic.2010-Dic.2013	AFLUENTE	Media	Dic.2010-Dic.2013	No
			Dic.2010-Dic.2013	No
		Desv. Estandar	Dic.2010-Dic.2013	No
	EFLUENTE	Media	Dic.2010-Dic.2013	No
			Dic.2010-Dic.2013	No
		Desv. Estandar	Dic.2010-Dic.2013	No

FUENTE: Elaboración propia

Los datos corregidos de la DBO se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Datos corregidos de la DBO

AÑO	CONCEPTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	Afluente	355.02	320.88	279.44	271.10	247.38	339.61	353.95	324.42	289.33	223.98	249.87	267.42
	Efluente	51.08	51.96	49.56	42.21	42.69	72.62	77.58	81.43	87.25	61.89	65.57	73.34
2008	Afluente	303.62	332.62	368.44	372.71	381.05	386.98	382.74	396.32	386.14	370.01	325.76	251.37
	Efluente	65.26	68.44	71.10	69.62	68.95	61.33	62.09	63.56	64.14	64.86	63.04	61.90
2009	Afluente	263.34	287.28	299.23	275.31	251.37	275.31	203.49	263.34	287.28	297.03	282.18	297.03
	Efluente	101.75	107.73	89.79	77.81	72.74	77.81	48.80	35.91	41.90	68.55	73.12	77.68
2010	Afluente	267.33	311.00	356.44	371.29	341.58	332.67	368.32	344.55	354.68	366.50	331.03	307.39
	Efluente	50.27	54.84	63.98	68.55	63.98	75.25	83.17	82.25	86.40	86.40	77.30	68.21
2011	Afluente	212.81	224.63	271.92	295.57	283.74	295.57	236.45	283.74	288.94	312.53	300.74	212.00
	Efluente	50.02	45.47	63.66	66.91	67.98	81.85	86.40	86.40	92.99	122.47	81.65	86.18
2012	Afluente	171.01	182.00	200.49	212.28	318.43	336.12	294.84	306.63	324.32	312.53	321.95	278.05
	Efluente	79.38	52.16	81.65	81.65	95.26	90.72	97.52	81.65	86.18	95.26	100.00	78.05
2013	Afluente	263.41	263.66	243.90	224.39	234.15	263.66	249.78	273.17	269.27	351.20	304.39	262.68
	Efluente	73.17	75.61	74.15	87.80	92.68	96.10	92.68	97.56	103.56	108.97	117.07	108.07

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 8 se aprecia que los valores de la DBO de los afluentes del 2007 y 2008 son mucho mayores que los de años posteriores; asimismo, que los valores de la DBO de los efluentes del 2013, superan los Límites máximos establecidos para los efluentes de las aguas residuales que descargan en cuerpos de agua por el Ministerio del Ambiente (2010).

Determinación de las eficiencias de remoción de la DBO

Los resultados de la eficiencia de remoción de la DBO₅ se determinaron a partir de los datos corregidos de afluentes y efluentes, y se presentan en la Tabla 9

Tabla 9: Eficiencia de remoción de la DBO

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM.
2007	85.61	83.81	82.26	84.43	82.74	78.62	78.08	74.90	69.84	72.37	73.76	72.57	78.25
2008	65.26	68.44	71.10	69.62	68.95	61.33	62.09	63.56	64.14	64.86	63.04	61.90	65.36
2009	61.36	62.50	69.99	71.74	71.06	71.74	76.02	86.36	85.41	76.92	74.09	73.85	73.42
2010	81.20	82.37	82.05	81.54	81.27	77.38	77.42	76.13	75.64	76.43	76.65	77.81	78.82
2011	76.50	79.76	76.59	77.36	76.04	72.31	63.46	69.55	67.82	60.81	72.85	59.35	71.03
2012	53.58	71.34	59.27	61.54	70.08	73.01	66.92	73.37	73.43	69.52	68.94	71.93	67.75
2013	72.22	70.19	69.60	60.87	60.42	62.11	62.75	64.29	61.54	68.97	61.54	58.86	64.45

FUENTE: Elaboración propia

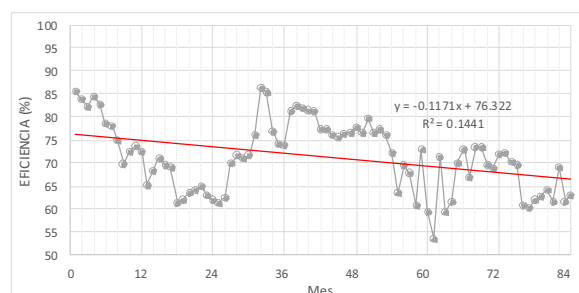
En la Tabla 9, se tiene que en el escenario sin aireación el 26% de los valores mensuales son superiores al mínimo establecido por el Ministerio de Vivienda (2006); por el contrario, en el otro escenario

ninguno es mayor que el mínimo. Es más, el promedio anual de los tres últimos años disminuye significativamente, tanto así que la eficiencia promedio anual del 2013 es el menor para el período analizado.

Tendencia de la eficiencia de la DBO

La tendencia de la eficiencia de remoción de la DBO durante el período de análisis se muestra en los Gráfico N° 2.

GRAFICO N° 2: Eficiencia de remoción de la DBO – 2007-2013



FUENTE: Elaboración propia

Según el Gráfico 2, la eficiencia de remoción de la DBO durante el período analizado es poco uniforme y tiene una tendencia negativa promedio de 1.405%/año; asimismo, que presenta tres etapas perfectamente definidas. La primera comprendida entre enero del 2007 y enero del 2009 con eficiencias que van de 85.61% a 61.36%; la segunda, entre enero y agosto del 2009 con eficiencias que fluctúan entre 61.36% y 86.36%; y la tercera, que está comprendida entre agosto del 2009 y diciembre del 2013 con eficiencias que van de 86.36% hasta 58.86%.

Efecto de la aireación en la eficiencia de remoción de la DBO

El efecto de la aireación en la eficiencia de remoción de la DBO se determinó estadísticamente a partir de los estadígrafos que se indican en la Tabla 10.

Tabla 10: Parámetros estadísticos de la DBO

Período	N° datos	\bar{X}_i	$S_i(X)$	Z calculado	Nivel de confianza	Z tabla
Ene.2007 - Nov.2010	47	73.88	7.41	3.84	95%	1.645
Dic.2010 - Dic.2013	37	68.01	6.55			

En la Tabla 10 el Z calculado es mayor que Z tabular, por lo que se acepta la hipótesis alterna de que el promedio de la Eficiencia de tratamiento del escenario sin aireación es mayor que la del escenario con aireación. Por lo tanto, la aireación mecánica parcial de la laguna primaria no ha tenido ningún efecto en la remoción de la carga orgánica del Sistema de tratamiento de agua residual - Lagunas de estabilización El Espinar durante el período 2010 y 2013 en las condiciones de operación prevalentes en dicho período.

DISCUSION

Los valores de la DBO₅ de los afluentes del 2007 y 2008 son relativamente mayores que en años posteriores, lo cual es incompatible con la dinámica del crecimiento poblacional y económico de la ciudad de Puno; pero que se explica, por la mejora del sistema de recolección de basura de la ciudad, la independización del sistema de aguas residuales del camal municipal del sistema de laguna de estabilización El Espinar, entre otros. Hecho que de alguna manera es concordante con las consideraciones que establece la FAO (1993) para reducir la carga orgánica y mejorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de mataderos medianos en países de desarrollo.

El efecto de la aireación mecánica parcial de la laguna primaria no es significativo en la eficiencia de remoción de la DBO₅ del sistema de tratamiento, al contrario de lo supuesto en base a los resultados presentados por EMSA PUNO S.A. y lo establecido por el Ministerio del Ambiente (2009) y Sperling (1996, citado por Pérez 2010) para lagunas de estabilización facultativas completamente aireadas. Esto podría explicarse, porque en el estado operativo del sistema de tratamiento ha incidido significativamente la excesiva acumulación de lodos que no se elimina desde el 2008 y la sobrecarga hidráulica en la laguna primaria, que han incidido para que los tiempos de retención hidráulica sean muy próximos al límite inferior de los 7 a 20 días que recomienda la SUNASS (2008), que en el caso de la ciudad de Puno debería de aproximarse al límite superior; así también, a la alta carga orgánica superficial mensual que recibe la laguna primaria y que fluctúa entre 350 y 650 DBO₅/Ha – día, cifra que es muy superior a los 200 y 250 Kg. DBO₅/Ha–día recomendados por la OMS para su adecuado funcionamiento en climas con temperaturas de 20 a 25°C (Rolim, 1999), que para el caso de la ciudad de Puno debería estar por debajo del límite inferior. Estas condiciones, favorecen la generación de malos olores y un caída en la eficiencia total del sistema (Rolim, 1999) y que eventualmente se den procesos anaeróbicos debido a la carga volumétrica en la laguna primaria (Mara, et al, citado por Oakley y Salguero 2010).

El comportamiento mensual de la eficiencia de remoción de la DBO₅ a lo largo del período analizado es muy irregular y con una tendencia decreciente más acentuada desde agosto del 2009 a diciembre del 2013, esto principalmente por la alta carga orgánica de los afluentes y a la cada vez mayor colmatación de la laguna primaria. La incidencia de la colmatación es evidente en el propio sistema, donde se ha logrado incrementar la eficiencia de la remoción de la DBO en 25%, luego de la descolmatación realizada a la laguna primaria en el 2008, tal como se puede visualizar en el Gráfico 2. Este hecho, también es notorio en los trabajos realizados por Matsumoto y Sánchez (2013), quienes concluyen que la reducción en 26.4% del volumen útil de la laguna anaeróbica y de 23.7% de la laguna facultativa en la Planta de Tratamiento Neves Paulista en Sao Paulo Brasil, ha incidido para que la eficiencia de remoción la DBO₅ sólo sea en promedio 73.9%, menor que el mínimo establecido por la normatividad brasileña.

Los resultados reportados por EMSA PUNO S.A. son referenciales y válidos en alguna medida, ya que la aireación parcial de la laguna primaria pareciera que si tiene un efecto positivo en la remoción de la DBO₅, pero espacialmente restringido a su área de influencia y que no incide en la eficiencia total del sistema por efecto de los

demás factores adversos concurrentes, como son los islotes de lodo y sedimentos presentes en la laguna primaria, entre otros. Esto se sustenta por el hecho, de que el nivel de la DBO₅ tomado en la zona de aireación, se redujo en promedio de 306 mg/L antes de la instalación de los módulos de aireación a 174 mg/L después de la instalación; es decir hubo una reducción del 43% de la carga orgánica (EMSA PUNO S.A., 2011).

CONCLUSIONES

En las actuales condiciones de operación, la aireación mecánica parcial de la laguna primaria no tiene ningún efecto significativo en la eficiencia total de remoción de la DBO₅ del Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar, aunque sí puede tener un efecto espacialmente restringido a su área de influencia, que se disipa por la concurrencia de los demás factores adversos.

En ese sentido, es necesario profundizar la investigación con trabajos de batimetría de las lagunas primaria y secundaria, monitoreo del comportamiento del flujo de las aguas en la laguna primaria, monitoreo del O₂ y DBO₅ en toda la laguna primaria, evaluar la eficiencia de operación de los módulos de aireación y la eficiencia de la aireación en el nivel de oxigenación de las aguas residuales, entre otros. Esto con el objeto, de tomar decisiones de carácter urgente y de largo plazo para la mejora de la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos en el Sistema de Lagunas de estabilización El Espinar.

Sin embargo, independientemente de lo planteado, es necesario que se proceda cuanto antes a la pronta descolmatación de laguna primaria, que afectan la capacidad de tratamiento y la calidad de los efluentes del sistema, que la convierten en el principal foco de contaminación de la Bahía Interior de Puno.

BIBLIOGRAFIA

- D.S. N° 003-2010. Aprobación de los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas y Municipales. Publicado en el Diario el Peruano el 17 de marzo del 2010.
- Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno S.A. 2012. Informe Técnico: Evaluación de la eficiencia del sistema de aireación en el tratamiento de aguas residuales de las Lagunas de estabilización El Espinar - Puno (Período 2010 -2011).
- Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno S.A. 2013. Informe Técnico: Resultados de la evaluación técnica y económica de los equipos del sistema de aireación por difusión instalados en prueba para mejorar el tratamiento de las aguas residuales en las Lagunas de estabilización El Espinar - Puno (Año operacional 2012)
- Espinoza, R. 2010. Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores. Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Piura, Perú: Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura. 264 p.

«EFECTODE LA AIREACION MECANICA PARCIAL DELA LAGUNA PRIMARIA EN LA REMOCION DE LA CARGA ORGANICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION EL ESPINAR DE LA CIUDAD DE PUNO, PUNO – 2010-2013»

- Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, Perú. 2011. Puno Compendio Estadístico 2011. Colección Sistema Estadístico Regional. ODEI – PUNO.
- Londoño, L. y Marín, C. 2009. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. Memoria para título de Tecnólogo Químico. Pereira, Colombia: Escuela de Tecnología Química, Facultad de Tecnología, Universidad Tecnológica de Pereira. 215 p.
- Ministerio del Ambiente, Perú. 2009. Manual para Municipios Ecoeficientes – Parte 2 : Tratamiento y reuso de aguas residuales. Lima, Perú. Enotria S.A.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú. 2006. Norma Técnica de Edificación S.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Lima Perú: Diario El Peruano, 65 p.
- Municipalidad Provincial de Puno, 2007. Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Puno 2008 – 2012.
- Municipalidad Provincial De Puno, 2013. Estudio De Factibilidad Del Proyecto De Inversión Pública 19185: Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de Puno, Provincia de Puno - Puno
- Oakley, S. y Salguero, L. 2011. Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica en Centro América, Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad. USAID. 410 p.
- Pérez, A. 2010. Selección de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Localidad de Santa Bárbara usando metodología de decisión multicriterio AHP. Memoria Ingeniero Civil. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Universidad de Chile. 92 p.
- R.M. N° 273-2013-VIVIENDA. Aprobación del Protocolo de Monitoreo de la calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR. Publicado en el Diario el Peruano el 30 de octubre del 2013.
- Rolim, S. 1999. Lagunas de estabilización. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Organización Panamericana de Salud. 32 p.
- SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento), Perú y GTZ/PROAGUA (Cooperación Alemana al Desarrollo, Alemania. 2008. Diagnóstico situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS y Propuestas de Solución. Lima, Perú. SUNASS. 80 p.
- Matsumoto y Sánchez. 2013. Monitoreo de desempeño y estudio batimétrico de la planta de tratamiento de aguas residuales de Neves Paulista (Sao Paulo, Brasil). Revista Escuela de Ingeniería de Antioquía Año X, Volumen 10, Número 20, Julio – Diciembre 2013.
- Veall, F. 1993. Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 97, FAO. Roma.
- Villón, M. 2001. Hidrología Estadística. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago – Costa Rica.
- Zapata, D. 2000, Noviembre. La aireación en las Lagunas de Estabilización. Kuxulkab' Revista de Divulgación. Vol. V No 11: 17 – 21.

