

EVALUACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL, PLANTA SAN MIGUEL, CEMENTOS PROGRESO

Cinthya Alvarado

RESUMEN. La evaluación y sistematización de la operación y mantenimiento del humedal artificial de la planta San Miguel de Cementos Progreso fue realizada durante los meses de marzo, abril y mayo del 2010, con la finalidad de disponer de una base de datos que permitiera determinar la eficiencia del sistema y de esta forma proponer soluciones a los posibles problemas encontrados. Se tomaron nueve muestras compuestas. Se encontró que la eficiencia del sistema está directamente relacionada con las actividades de operación y mantenimiento, el problema más significativo fue la discontinuidad del flujo y la falta de uniformidad del mismo. Las eficiencias promedio calculadas del humedal fueron de 35.80%, 33.86%, 33.63% y 34% para la remoción de DBO₅, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos respectivamente, los cuales se encuentran por debajo de los valores esperados.

PALABRAS CLAVE: aguas residuales, calidad de agua, eficiencia, monitoreo, operación y mantenimiento, humedal artificial.

ABSTRACT. The evaluation and systematization of the operation and maintenance of wetland plant San Miguel de Cementos Progreso was conducted during the months of March, April and May 2010 with the purpose of having a database that would determine the efficiency of system and thereby offer solutions to possible problems. It took nine pools. It was found that the system's efficiency is directly related to the operation and maintenance activities, the most significant problem was the disruption of the flow and the lack of uniformity. The calculated average efficiencies of the wetland were 35.80%, 33.86%, 33.63% and 34% for the removal of BOD₅, total nitrogen, total phosphorus and suspended solids, respectively, which are below the expected values.

KEY WORDS: wastewater, water quality, efficiency, monitoring, operation and maintenance, wetland.

INTRODUCCIÓN

En Cementos Progreso todas las actividades que se realizan son compatibles con el medio ambiente; utiliza de forma racional los recursos naturales, evita la contaminación, elimina, reduce y controla los impactos significativos al aire, suelo, agua, flora y fauna. El desempeño ambiental es responsabilidad de la línea gerencial de operación (Gerente de Operaciones → Gerente de Planta → Gerente de Área). Existe un área funcional ambiental para apoyar las actividades de cumplimiento legal ambiental y consultoría técnica ambiental. En dicha área se desarrollan proyectos enfocados al cambio climático: reducción de emisiones de dióxido de carbono, tratamiento y re-uso de aguas residuales, manejo de residuos sólidos: re-uso, reciclaje y disposición interna, reforestación entre otros. Respecto al tratamiento y re-uso de las aguas residuales, en el proceso de producción de Cementos Progreso no existen aguas residuales, sin embargo, como en toda actividad humana, existen aguas residuales provenientes de usos domésticos como sanitarios y duchas. En el año 2000, en la planta San Miguel se construyó un sistema de tratamiento por medio de humedales artificiales, el cual permite remover contaminantes perjudiciales para la salud pública así como para los cuerpos receptores, por medio de las plantas que simulan los procesos naturales de depuración.

METODOLOGÍA

El presente estudio de investigación fue realizado durante los meses de marzo, abril y mayo del 2010, consistió en una recopilación de información en campo y en laboratorio, con la finalidad de evaluar la eficiencia del sistema. La información en campo se recopiló a través de visitas técnicas para monitorear las actividades de operación y mantenimiento, así como, la toma de muestras para realizar los análisis de calidad del agua en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria "Alba Tabarini Molina" de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los parámetros que se analizaron fueron algunos de los que sugiere el "Reglamento de las Descargas y Re-uso Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo Número 236-2006" de Guatemala para la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, los cuales son: Temperatura y pH: in situ, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, sólidos disueltos totales, nitrógeno total, fósforo total coliformes totales y fecales, de los cuales para evaluar la eficiencia del sistema se consideraron únicamente DBO₅, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos. El cálculo del número de muestras por tomar en cada punto de muestreo, se realizó de

conformidad con el método 1060: I de los métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual, se utilizaron las curvas de nivel de confianza establecidos y a partir de la ecuación: $N \geq (ts/U)^2$; donde, N: es el número de muestras, t: es la t de Student para un nivel de confianza determinado, S: es la desviación estándar global y U: es el nivel de confianza aceptable. De resultados experimentales se tiene que $S= 0.020$ y $U=0.015$; entonces $s/U= 1.33$ para un nivel de confianza del 95%. Se procedió a interpolar en las curvas de niveles de confianza y se obtuvo que el número de muestras por recoger debe ser igual o mayor a 9 por lo tanto se realizaron nueve (9) muestras.

Las muestras realizadas en este estudio fueron de tipo compuesta. Se recolectaron cuatro (4) muestras en cada punto de medición con intervalos de dos (2) a tres (3) horas en promedio, se realizaron los martes semanalmente en horario de 7:00 – 16:00.

RESULTADOS

Actividades de operación y mantenimiento

A continuación se presentan los problemas de operación y mantenimiento encontrados durante la evaluación.

El sistema de tratamiento trabaja por bombeo, debido a que la bomba opera con guarda nivel, el flujo que entra al humedal artificial no es continuo y de esta forma crea cortocircuitos.

Se observó presencia de lodo digerido en la caja de entrada al humedal. Se alcanzó una profundidad de sedimentación de hasta cuarenta (40) cm.

En ciertos periodos (en los que no hay flujo de caudal) hay presencia de vectores, debido a que el agua entra en estado de reposo y a la poca velocidad del flujo.

Se desconoce el tipo y las características del medio filtrante que compone el humedal de flujo sub-superficial, así como, las velocidades del flujo a través de él.

No se cuenta con un dispositivo o una estructura hidráulica (vertedero) para medir el caudal que entra a la fosa de sedimentación, o para medir el caudal que entra al humedal. Por lo tanto, se dificulta la determinación de la carga contaminante. Actividades rutinarias como el corte del junco y la extracción del jacinto no se realizan en el tiempo estipulado en la programación. Se deja que las plantas pasen todo su ciclo de vida dentro del sistema; esto reduce de manera considerable el aporte de puedan tener en cuanto a la remoción de contaminantes. Se observó una altura de junco hasta de 5 m.

Cuando se hace la limpieza del jacinto, lo que se extrae se deja a la orilla de la laguna, es decir, sobre el muro de gaviones. Eso significa que por arrastre puede volver a caer sobre la laguna.

Algunas tapaderas de cajas de visita se encuentran cerradas con concreto y otras se encuentran en mal estado y corroídas.

No existe un lugar adecuado para almacenar las herramientas y equipos para la limpieza manual del humedal.

Análisis de calidad del Agua

En las tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados de la caracterización del agua residual hecha en los tres puntos de muestreo. Asimismo, se presenta el valor del límite máximo permisible de la concentración, establecidos en el ACUERDO GUBERNATIVO DE GUATEMALA No. 236-2006: "Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos", para el periodo actual y la etapa 1 de dicho reglamento.

Tabla 1: Resultados de la caracterización del agua Punto de recolección 1

PR1: ENTRADA A LA FOSA SÉPTICA									
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	1	2	3	4
			Valor Inicial**	Etapas 1***					
					Re-Uso	40246	40253	40274	40282
1	Temperatura ****	° C	TCR +/- 7	TCR +/- 7	-----	26,90	27,53	28,03	27,58
2	Potencial de hidrógeno pH ****	Unidad	6-9	6-9	-----	7,75	7,74	7,38	7,68
3	Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	-----	-----	200	440,00	227,00	280,00	240,00
4	Demanda bioquímica de oxígeno DBO	mg/l	-----	-----	-----	159,00	-----	92,00	115,00
5	Relación DBO/DQO					0,36	-----	0,33	0,48
6	Nitrógeno total (NT)	mg/l	1400,00	100,00	-----	47,00	24,50	30,00	43,00
7	Fósforo total (PT)	mg/l	700,00	75,00	-----	6,50	8,00	4,00	6,00
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	-----	-----	-----	601,00	615,00	451,00	502,00
9	Sólidos suspendidos	mg/l	3500,00	600,00	-----	-----	-----	-----	99,00
10	Sólidos sedimentables	cm ³ /l.h	-----	-----	-----	0,60	0,30	0,30	3,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm ³	<1,00 E+08	<1,00 E +06	<1,00 E +03	3.000E+06	<1.000E+06	1,00E+06	>0,24 E+06
12	Coliformes totales	NMP/100 cm ³	-----	-----	-----	6.300E+06	<1.000E+06	2,00E+06	>0,24 E+06

PR1: ENTRADA A LA FOSA SÉPTICA										
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	5	6	7	8	9
			Valor Inicial**	Etapas 1***						
					Re-Uso	40288	40310	40317	40319	40323
1	Temperatura ****	° C	TCR +/- 7	TCR +/- 7	-----	27,19	28,20	28,70	28,70	28,53
2	Potencial de hidrógeno pH ****	Unidad	6-9	6-9	-----	7,42	7,48	7,35	7,28	7,39
3	Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	-----	-----	200	285,00	160,00	-----	-----	74,00
4	Demanda bioquímica de oxígeno DBO	mg/l	-----	-----	-----	149,00	72,00	-----	-----	16,00
5	Relación DBO/DQO					0,52	0,45	-----	-----	0,22
6	Nitrógeno total (NT)	mg/l	1400,00	100,00	-----	29,00	27,50	35,00	44,50	37,00
7	Fósforo total (PT)	mg/l	700,00	75,00	-----	6,50	4,50	15,50	6,00	5,50
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	-----	-----	-----	402,00	378,00	541,00	582,00	491,00
9	Sólidos suspendidos	mg/l	3500,00	600,00	-----	76,25	51,33	62,67	44,00	19,75
10	Sólidos sedimentables	cm ³ /l.h	-----	-----	-----	0,50	0,30	0,20	0,10	0,50
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm ³	<1,00 E+08	<1,00 E +06	<1,00 E +03	0,82E+06	2,50 E+06	10,00 E+06	24,00 E+06	< 1,00 E +06
12	Coliformes totales	NMP/100 cm ³	-----	-----	-----	11,12 E+06	4,80 E+06	110,00 E+06	48,00 E+06	1,00 E +06

Tabla 2: Resultados de la caracterización del agua Punto de recolección 2

PR2: ENTRADA AL HUMEDAL									
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	1	2	3	4
			Valor Inicial**	Etapa 1***					
1	Temperatura ****	° C	TCR +/- 7	TCR +/- 7	-----	27,70	27,00	26,85	27,60
2	Potencial de hidrógeno pH ****	Unidad	6-9	6-9	-----	7,46	7,31	7,41	7,45
3	Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	-----	-----	200	200,00	120,00	120,00	131,00
4	Demanda bioquímica de oxígeno DBO	mg/l	-----	-----	-----	102,00	-----	55,00	108,00
5	Relación DBO/DQO					0,51	-----	0,46	0,82
6	Nitrógeno total (NT)	mg/l	1400,00	100,00	-----	47,00	28,50	38,50	40,50
7	Fósforo total (PT)	mg/l	700,00	75,00	-----	6,50	7,00	5,00	5,50
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	-----	-----	-----	581,00	565,00	514,00	488,00
9	Sólidos suspendidos	mg/l	3500,00	600,00	-----	-----	-----	-----	32,45
10	Sólidos sedimentables	cm ³ /l.h	-----	-----	-----	0,10	0,00	0,00	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm ³	<1,00 E+08	<1,00 E +06	<1,00 E +03	<1.000E+06	11E+06	<1,00 E+06	>0,24 E+06
12	Coliformes totales	NMP/100 cm ³	-----	-----	-----	<1.000E+06	16,10E+06	<1,00E+06	>0,24 E+06

PR2: ENTRADA AL HUMEDAL										
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	5	6	7	8	9
			Valor Inicial**	Etapa 1***						
1	Temperatura ****	° C	TCR +/- 7	TCR +/- 7	-----	28,10	26,70	28,13	28,90	28,08
2	Potencial de hidrógeno pH ****	Unidad	6-9	6-9	-----	7,06	7,50	7,48	7,51	7,49
3	Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	-----	-----	200	259,00	150,00	-----	-----	80,00
4	Demanda bioquímica de oxígeno DBO	mg/l	-----	-----	-----	127,00	89,00	-----	-----	5,00
5	Relación DBO/DQO					0,49	0,59	-----	-----	0,06
6	Nitrógeno total (NT)	mg/l	1400,00	100,00	-----	30,00	42,00	62,00	45,00	40,50
7	Fósforo total (PT)	mg/l	700,00	75,00	-----	6,00	4,50	5,50	5,50	5,00
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	-----	-----	-----	414,00	532,00	569,00	577,00	526,00
9	Sólidos suspendidos	mg/l	3500,00	600,00	-----	49,60	32,94	21,00	32,67	16,75
10	Sólidos sedimentables	cm ³ /l.h	-----	-----	-----	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm ³	<1,00 E+08	<1,00 E +06	<1,00 E +03	1,42 E+06	22,10 E+06	48,00 E+06	>240,00 E+06	5,20 E+06
12	Coliformes totales	NMP/100 cm ³	-----	-----	-----	9,80 E+06	54,20 E+06	48,00 E+06	>240,00E+06	9,80 E+06

Tabla 3: Resultados de la caracterización del agua Punto de recolección 3

PR3: SALIDA DEL HUMEDAL									
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	1	2	3	4
			Valor Inicial**	Etapas 1***		Re-Usos	09-03-10	16-03-10	06-04-10
1	Temperatura ****	° C	TCR +/- 7		-----	22,95	26,88	26,60	24,95
2	Potencial de hidrógeno pH ****	Unidad	6-9	6-9	-----	7,67	7,76	7,70	7,69
3	Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	-----	-----	200	-----	38,00	160,00	60,00
4	Demanda bioquímica de oxígeno DBO	mg/l	-----	-----	-----	76,00	-----	85,00	53,00
5	Relación DBO/DQO					-----	-----	0,53	0,88
6	Nitrógeno total (NT)	mg/l	1400	100	-----	26,50	8,50	21,50	25,50
7	Fósforo total (PT)	mg/l	700	75	-----	3,50	3,00	5,00	1,00
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	-----	-----	-----	475,00	421,00	505,00	488,00
9	Sólidos suspendidos	mg/l	3500	600	-----	-----	-----	-----	5,43
10	Sólidos sedimentables	cm ³ /l.h	-----	-----	-----	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm ³	<1,00 E+08	<1,00 E +06	<1,00 E +03	1.000E+06	1.000E+06	<1,00E+06	22.1E+02
12	Coliformes totales	NMP/100 cm ³	-----	-----	-----	24.000E+06	1.000E+06	1,00E+06	>0,24 E+06

PR3: SALIDA DEL HUMEDAL										
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	5	6	7	8	9
			Valor Inicial**	Etapas 1***		Re-Usos	20-04-10	12-05-10	19-05-10	21-05-10
1	Temperatura ****	° C	TCR +/- 7		-----	24,93	26,00	26,90	25,40	27,60
2	Potencial de hidrógeno pH ****	Unidad	6-9	6-9	-----	7,57	7,65	7,85	7,68	7,91
3	Demanda química de oxígeno DQO	mg/l	-----	-----	200	122,00	127,00	-----	-----	50,00
4	Demanda bioquímica de oxígeno DBO	mg/l	-----	-----	-----	66,00	62,00	-----	-----	3,90
5	Relación DBO/DQO					0,54	0,49	-----	-----	0,08
6	Nitrógeno total (NT)	mg/l	1400	100	-----	27,50	40,00	86,50	32,00	42,00
7	Fósforo total (PT)	mg/l	700	75	-----	4,50	6,00	5,00	5,50	2,50
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	-----	-----	-----	421,00	522,00	509,00	497,00	509,00
9	Sólidos suspendidos	mg/l	3500	600	-----	35,33	12,00	33,53	19,67	8,75
10	Sólidos sedimentables	cm ³ /l.h	-----	-----	-----	0,20	0,00	0,10	0,10	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm ³	<1,00 E+08	<1,00 E +06	<1,00 E +03	0,02 E+06	49,00 E+03	93,00 E+03	>240,00E+03	3,00 E +04
12	Coliformes totales	NMP/100 cm ³	-----	-----	-----	0,38 E+06	1.600 E+03	93,00 E+03	>240,00E+03	21,30 E+04

Análisis de la eficiencia

En las tablas 4, 5, 6, y 7 se presentan los resultados de la eficiencia del sistema. Se observan las concentraciones y los porcentajes de remoción en el sistema en cuanto la DBO₅, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos.

Tabla 4: Eficiencia en la remoción de DBO₅

CONCENTRACIÓN DE DBO ₅							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1 (Mg/ l)	PR 2 (Mg/ l)	PR 3 (Mg/ l)	Eficiencia F.S (%)	Eficiencia del humedal (%)	Eficiencia del sistema (%)
1	09-03-10	159,00	102,00	76,00	36	25	52
2	06-04-10	92,00	55,00	85,00	40	-55	8
3	14-04-10	240,00	131,00	60,00	45	54	75
4	20-04-10	149,00	127,00	66,00	15	48	56
5	12-05-10	72,00	89,00	62,00	-24	30	14
6	25-05-10	16,00	5,00	3,90	69	22	76
Promedio		121,33	84,83	58,82	41,00	35,80	46,83
Desviación estándar		78,30	47,93	28,49	31,69	39,22	29,46
Máximo		240,00	131,00	85,00	69,00	54,00	76,00
Mínimo		16,00	5,00	3,90	-24,00	-55,00	8,00

Tabla 5: Eficiencia en la remoción de nitrógeno

CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL (Mg/l)							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1	PR 2	PR 3	Eficiencia F.S %	Eficiencia del humedal %	Eficiencia del sistema %
1	09-03-10	47,00	47,00	26,50	0	44	44
2	16-03-10	24,50	28,50	8,50	-16	70	65
3	06-04-10	30,00	38,50	21,50	-28	44	28
4	14-04-10	43,00	40,50	25,50	6	37	41
5	20-04-10	29,00	30,00	27,50	-3	8	5
6	12-05-10	27,50	42,00	40,00	-53	5	-45
7	19-05-10	35,00	62,00	86,50	-77	-40	-147
8	21-05-10	44,50	45,00	32,00	-1	29	28
9	25-05-10	37,00	40,50	42,00	-9	-4	-14
Promedio		35,28	41,56	34,44	3,00	33,86	35,17
Desviación estándar		8,13	9,84	21,90	27,98	32,69	64,48
Máximo		47,00	62,00	86,50	6,00	70,00	65,00
Mínimo		24,50	28,50	8,50	-77,00	-40,00	-147,00

Tabla 6: Eficiencia en la remoción de fósforo

CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL (Mg/l)							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1	PR 2	PR 3	Eficiencia F.S %	Eficiencia del humedal %	Eficiencia del sistema %
1	09-03-10	6,50	6,50	3,50	0	46	46
2	16-03-10	8,00	7,00	3,00	13	57	63
3	06-04-10	4,00	5,00	5,00	-25	0	-25
4	14-04-10	6,00	5,50	1,00	8	82	83
5	20-04-10	6,50	6,00	4,50	8	25	31
6	12-05-10	4,50	4,50	6,00	0	-33	-33
7	19-05-10	15,50	5,50	5,00	65	9	68
8	21-05-10	6,00	5,50	5,50	8	0	8
9	25-05-10	5,50	5,00	2,50	9	50	55
Promedio		6,94	5,61	4,00	13,88	33,63	50,57
Desviación estándar		3,41	0,78	1,62	23,64	35,70	41,27
Máximo		15,50	7,00	6,00	65,00	82,00	83,00
Mínimo		4,00	4,50	1,00	-25,00	-33,00	-33,00

Tabla 7: Eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos

CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS (Mg/l)							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1	PR 2	PR 3	Eficiencia F.S %	Eficiencia del humedal %	Eficiencia del sistema %
1	14-04-10	99.00	32.45	5.43	67	83	95
2	20-04-10	76.25	49.60	35.33	35	29	54
3	12-05-10	51.33	32.94	12.00	36	64	77
4	19-05-10	62.67	21.00	33.53	66	-60	46
5	21-05-10	44.00	32.67	19.67	26	40	55
6	25-05-10	19.75	16.75	8.75	15	48	56
Promedio		58.83	30.90	19.12	40.83	34.00	63.83
Desviación estándar		27.33	11.47	12.78	21.27	49.79	18.43
Máximo		99.00	49.60	35.33	67.00	83.00	95.00
Mínimo		19.75	16.75	5.43	15.00	-60.00	46.00

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Operación y mantenimiento

Las actividades de operación y mantenimiento (O&M) del humedal artificial de la planta San Miguel de Cementos Progreso incluyen actividades rutinarias como el control de la uniformidad del agua de flujo (entrada y salida de la estructura), control de la vegetación, olor, insectos, mantenimiento de reboses, limpieza y control de las estructuras, control de flujo y equipo de bombeo, monitoreo de calidad de agua, etc. En cuanto a las actividades de O&M, el problema más significativo encontrado fue la discontinuidad del flujo y la falta de uniformidad del mismo, lo cual es una situación crítica ya que en el sistema existen cortocircuitos y puntos muertos.

Análisis de calidad del agua

En las tablas 2, 3 y 4 se presentaron los resultados de los análisis de temperatura, pH, DBO, DQO, NT, FT, SST, SDT, SS, coliformes fecales y totales de los puntos de recolección 1,2 y 3 respectivamente. Los valores que se discuten son comparados con los límites máximos permisibles (LMP) del Reglamento 236-2006 para descarga en cuerpos receptores y reutilización del agua. Los LMP se consideran en su etapa inicial (valores que se deben cumplir en la actualidad), y en la etapa 1 (que tiene fecha máxima de cumplimiento el 2 de mayo del año 2012). También el LMP del agua para re-uso. Cabe mencionar que las descargas al cuerpo receptor (río Plátano) durante el periodo de evaluación fueron casi nulas porque el agua tratada se reutiliza para riego de áreas verdes.

TEMPERATURA: los valores obtenidos de la temperatura fueron medidos in situ de la muestra recolectada. El reglamento 236-2006 no limita su valor en el agua tratada, sino en la temperatura del cuerpo receptor al momento de la descarga.

POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): todos los valores obtenidos del pH en los tres puntos de recolección están dentro del rango del LMP, tanto en la etapa actual como en la etapa 1, valor que ha de estar entre 6-9 unidades de pH. Se señala que los rangos de los valores de pH son óptimos para el buen desarrollo de la vegetación. En el agua de re-uso este parámetro no es limitante.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): cuando el afluente del sistema es enviado a un cuerpo receptor el LMP está en función de la carga contaminante, la cual no fue posible determinar para este estudio, porque no se pudo efectuar la medición del caudal en la salida del humedal. Las concentraciones del efluente del humedal artificial están por debajo del LMP del agua para re-uso.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): esta característica no está limitada por el reglamento 236-2006, sin embargo, se considera su análisis para ver la relación de (DBO/DQO) y de esta manera determinar si el agua por tratar es biodegradable o no, (valores <0,20 poco biodegradable, valores entre 0,20-0,40 degradable, valores >0,40 muy biodegradable). La mayoría de valores obtenidos están por arriba de 0,40, por lo tanto el agua se considera muy biodegradable; eso es lógico por tratarse de aguas residuales domésticas.

NITRÓGENO TOTAL: como se observa en las tablas 2, 3 y 4 de resultados en los tres puntos de recolección están por debajo del LMP en la etapa actual, así como, en la etapa 1. De continuar su tendencia en los resultados del punto de recolección tres, podrían estar cumpliendo el reglamento hasta finalizar la etapa 3 (2 mayo del año 2020) ya que el LMP es de 50 mg/l.

FÓSFORO TOTAL: en el caso del fósforo las concentraciones encontradas en los tres puntos de recolección están por debajo del LMP de la etapa 4 (fecha máxima de cumplimiento: 2 de mayo del año 2020) que establece que se debe cumplir con 10 mg/l.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: al igual que el fósforo todos los valores encontrados en los tres puntos de recolección están por debajo del LMP de la etapa 4 (fecha máxima de cumplimiento: 2 de mayo del año 2020) que establece que se debe cumplir con 100 mg/l.

COLIFORMES FECALES: en el caso de los coliformes fecales los resultados fueron muy variados; en la actualidad se está cumpliendo la norma, pero en la Etapa 1, los valores están por arriba de los LMP. Asimismo, los valores del punto de recolección 3 no cumplen con la norma para reutilizar el efluente.

Análisis de la eficiencia

En las tablas 5 a la 8 se presentaron los resultados respecto a la eficiencia de la DBO₅, NT, FT y SST respectivamente. En ellas se puede observar que:

La eficiencia promedio de la remoción de la DBO₅ de la fosa de sedimentación fue de 41,00%, del humedal 35,80% y del sistema completo 46,83%. Estos valores están por debajo de los esperados. Diversos estudios realizados en humedales artificiales sugieren que estos tienen la capacidad de remoción hasta de 85%.

La eficiencia promedio de la remoción NT en la fosa de sedimentación fue de 3,00% en el humedal 33,86% y del sistema completo, de 35,17%. Igualmente los valores están por debajo de los rendimientos esperados que en humedal artificial es de 85%.

Como se podrá notar en la fosa de sedimentación la eficiencia es bastante baja, cuya explicación es que este tipo de unidades tienen como finalidad la remoción de sólidos sedimentables y no la remoción de nutrientes.

En cuanto a la remoción de fósforo, los valores promedio de eficiencia obtenidos fueron: en la fosa de sedimentación de 13,88%, en el humedal, 33,63% y en el sistema completo 50,57%. Como se observa, el sistema en su totalidad es más eficiente para la remoción de FT que para la de NT; esto se puede deber a una fuerte acumulación de sedimentos encima del lecho del humedal de flujo sub-superficial.

Respecto a la remoción de sólidos suspendidos, la eficiencia promedio obtenida en la fosa de sedimentación fue de 40,83%, en el humedal, de 34% y en el sistema completo, de 65%. Estos valores también están por debajo de lo esperado. Para el humedal artificial la remoción de sólidos suspendidos alcanza valores hasta del 90%.

CONCLUSIONES

Durante el periodo de estudio se monitorearon las actividades de O&M del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta San Miguel de Cementos Progreso. Los problemas más significativos encontrados son la discontinuidad y la falta de uniformidad del flujo, lo cual es una situación crítica, porque crea cortocircuitos y puntos muertos en el humedal.

Las eficiencias promedio calculadas del humedal fueron de 35.80%, 33.86%, 33.63% y 34% para la remoción de DBO₅, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos respectivamente, las cuales se encuentran por debajo de los valores esperados; esto puede ser debido a las deficiencias hidráulicas mencionadas anteriormente.

La eficiencia del sistema también puede estar afectada por la inadecuada disposición de la vegetación cuando se realiza la poda; esto provoca que los nutrientes liberados durante la descomposición se reincorporen a las unidades, incrementando la carga orgánica y disminuyendo la eficiencia de remoción de contaminantes.

De acuerdo con los resultados la concentración de contaminantes encontrada en los tres (3) puntos de recolección, cumplen con el reglamento 236-2006 en su etapa actual y etapa 1. A excepción de los coliformes fecales que en algunos casos no cumplen en la etapa 1.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico, por darme la oportunidad de desarrollarme en el ámbito profesional y personal. Porque sin la ayuda de esta institución no hubiese sido posible realizar este trabajo. En especial a Neddy Zamora por su valioso apoyo en este proceso.

A la empresa Cementos Progreso, por el apoyo recibido de cada uno de sus colaboradores. En especial al Ing. Oscar Pérez y la Inga. Isis Mejía de la Unidad de Ambiente.

REFERENCIAS

- Manejo Integrado de Plagas. (1998). *Novedades de Agricultura*, 10, 1-27.
- BARILLAS, NÉSTOR. CÓRCEGA, MAIRET. (1999). Muestreo de aguas residuales e industriales. Universidad Gran Mariscal De Ayacucho. Venezuela.
- COOPERACIÓN AUSTRIACA PARA EL DESARROLLO (2005). Documento Taller Biofiltro. Tecnología Sostenible para el tratamiento de Aguas Residuales. Managua.
- EPA. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo sub-superficial.
- GAMBOA, W; VANDERMEER J. (1990). Comportamiento biológico del *Cyperus Rotundus* L. Fases Fenológicas, dinámica de crecimiento y capacidad reproductiva. Instituto Superior de Cincias Agropecuarias. Nicaragua.
- LARA BORRERO, JAIME A. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- METCALF & EDDY. (1996). Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo II. Capítulo 13. Sección 13.2. 3 ed. Distrito Federal, Mx. McGraw-Hill.
- MOSCOSO, J. (1993). La ninfa (*Eichhornia Crassipes* Mart), ¿Plaga o recurso? *Novedades de Agricultura*, V. 3, 9, 42-44.
- SAMPIERI, R., COLLADO, C.F. & LUCIO, P.B. (2007). Metodología de investigación. (3ª ed). México, D.F.
- SILVA R, ÁNGELA. ZAMORA, HERNÁN. Humedales artificiales. Monografía de Grado. Universidad Nacional de Colombia. 2005.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 20 th Ed. Publisher: American Public Health Association.
- ZELEDON, JUAN C. (2004). Evaluación de la operación y mantenimiento y propuesta de sostenibilidad operacional y financiera de la planta tratamiento de aguas residuales domesticas "Ingeniero Arturo Pazos Sosa" piloto. Guatemala: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Universidad San Carlos de Guatemala.
- REYES, PERES G. (2002). Diseño hidráulico de un humedal artificial a nivel de laboratorio. Mexico: División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (2004). Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Evaluación de un humedal mexicano con las variantes de flujo Subterráneo horizontal y flujo subterráneo vertical.