



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA  
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS**

**ESTUDIO ESPECIAL**

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

**INGA. CINTHYA ODETH ALVARADO PAGOAGA**

**GUATEMALA, JUNIO DE 2010**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS**

**ESTUDIO ESPECIAL  
PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS – ERIS –**

**“EVALUACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE LA PLANTA SAN MIGUEL  
DE CEMENTOS PROGRESO”**

**POR:**

**INGA. CINTHYA ODETH ALVARADO PAGOAGA**

**ASESORADO POR:**

**ING. M.Sc ADÁN POCASANGRE COLLAZOS**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE:**

**MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE)  
EN INGENIERÍA SANITARIA**

**GUATEMALA, JUNIO DE 2010**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS

### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Gil
ASESOR	M.Sc. Ing. Adán Pocasangre

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

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

Tema que me fuera aprobado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, el 14 de enero de 2010.

---

Cintha Odeth Alvarado Pagoaga

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Guatemala, octubre de 2010

Señores:

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi calidad de Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

**Evaluación y Sistematización de la Operación y Mantenimiento del Humedal Artificial de la Planta San Miguel de Cementos Progreso**

Presentado por la estudiante de la maestría mencionada,

**Ingeniera Cinthya Odeth Alvarado Pagoaga**

Les manifiesto que la estudiante cumplió con los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS– y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio en forma satisfactoria.

**“ID y ENSEÑAD A TODOS”**

Ing. M.Sc. Adán Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Guatemala, octubre de 2010

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los siguientes profesores: Ing. M.Sc. Adán Pocasangre Collazos, Ing. M.Sc. Zenón Much Santos, Ing. M.Sc. Joram Gil, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, Ing. M.Sc. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la licenciada en Letras Marta Lidia Marroquín Reyes, Colegiada No. 10329 al trabajo de la estudiante Ingeniera Cinthya Odeth Alvarado Pagoaga, titulado *“EVALUACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE LA PLANTA SAN MIGUEL DE CEMENTOS PROGRESO”*. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los veintiún días del mes de octubre de 2010.

**IMPRÍMASE**

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

**Ing. M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis**  
DIRECTOR  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos -ERIS-

## **AGRADECIMIENTO**

### **A DIOS**

Por cada día de mi vida.

### **AL SERVICIO ALEMÁN DE INTERCAMBIO ACADÉMICO (DAAD)**

Por darme la oportunidad de desarrollarme en al 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.

### **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.

### **AL PERSONAL DEL LAB. DE QUÍMICA**

Por haberme permitido realizar los análisis de calidad de agua en sus instalaciones y por la asesoría prestada para ello. En especial al M.Sc. Ing. Zenón Much y Moisés Dubón.

## **DEDICATORIA**

### **A MI MADRE**

Rosa Elizabeth Paguaga, por el apoyo incondicional que me ha brindado en cada instante de mi vida. Porque este título es el fruto de todo su esfuerzo y sacrificio.

### **A MIS TÍOS**

Zita Isolina Paguaga y Rigoberto Zelaya, porque más que unos tíos han sido como mis padres. Gracias por estar siempre allí.

### **A MIS HERMANOS**

Estela, David, Kenia, Mariel, Cindy, Dinora y a Lin. Por todos y cada uno de los momentos grandiosos que hemos compartido.

### **A MIS SOBRINOS**

Luisela, Pao, Luis José, Ivana, Andrea, y Leonardo José. Para que este trabajo sea un ejemplo a seguir.



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
ABREVIATURAS.....	VI
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN EJECUTIVO.....	IX
<b>1 ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>1</b>
1.1 UBICACIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.4 HIPÓTESIS .....	4
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.6 ALCANCE .....	5
1.7 VIABILIDAD, APOYO Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.8 OBJETIVOS .....	6
1.8.1 General .....	6
1.8.2 Específicos.....	6
<b>2 MARCO TEÓRICO: HUMEDALES ARTIFICIALES.....</b>	<b>7</b>
2.1 CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES .....	7
2.1.1 Humedales de flujo libre (FWS) .....	8
2.1.2 Humedales de flujo sub-superficial (SFS) .....	10
2.2 ELEMENTOS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.....	14
2.2.1 El agua.....	14
2.2.2 Substratos, sedimentos y restos de vegetación .....	15
2.2.3 Vegetación .....	15
2.2.4 Microorganismos.....	17
2.2.5 Animales .....	18
2.2.6 Realce de la estética y paisaje.....	18
2.3 COMPOSICIÓN-MECANISMOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.....	19

2.3.1	Sólidos suspendidos .....	19
2.3.2	Materia orgánica .....	19
2.3.3	Nitrógeno .....	20
2.3.4	Fósforo.....	22
2.3.5	Elementos traza .....	22
2.3.6	Microorganismo .....	22
2.4	CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y SALUD PÚBLICA.....	23
2.4.1	Nitrógeno .....	24
2.4.2	Fósforo.....	24
2.4.3	Patógenos.....	24
2.4.4	Bacterias .....	25
2.4.5	Virus.....	25
2.4.6	Metales .....	25
<b>3</b>	<b>UNIVERSO DE TRABAJO .....</b>	<b>26</b>
3.1	UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	26
3.2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....	26
3.2.1	Tratamiento primario.....	26
3.2.2	Tratamiento secundario .....	27
3.3	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA.....	30
3.4	CALIDAD DE AGUA .....	32
3.4.1	Caracterización del agua .....	32
3.4.2	Puntos de muestreo .....	33
3.4.3	Número de muestras.....	35
<b>4</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>36</b>
4.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	36
4.2	TÉCNICAS PARA LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	38
4.2.1	Información de libros.....	38
4.2.2	Tesis .....	38
4.2.3	Sitios web.....	39
4.2.4	Entrevistas .....	39
4.3	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN CAMPO Y LABORATORIO.....	39
4.4	TRABAJO DE GABINETE .....	40
4.4.1	Recolección de datos.....	40
4.4.2	Planteamiento e interpretación de resultados .....	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>

5.1	ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	41
5.2	PROBLEMAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ENCONTRADOS.....	43
5.3	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	47
5.4	EFICIENCIA DEL SISTEMA.....	48
5.4.1	Eficiencia en la remoción de DBO <sub>5</sub> .....	48
5.4.2	Eficiencia en la remoción de nitrógeno total.....	49
5.4.3	Eficiencia en la remoción de fósforo total.....	50
5.4.4	Eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	51
5.5	CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES.....	52
5.6	CAUDAL DE ENTRADA AL HUMEDAL.....	56
5.7	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL DEL HUMEDAL.....	59
5.7.1	Modelo para la remoción DBO <sub>5</sub> .....	61
5.7.2	Modelo para la remoción sólidos suspendidos.....	63
5.7.3	Modelo para la remoción de nitrógeno.....	64
5.7.4	Modelo para la remoción de fósforo.....	66
5.8	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	68
<b>6</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
6.1	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	71
6.2	EFICIENCIA.....	71
6.3	CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES Y REGLAMENTO 236-2006.....	73
6.4	MEDICIÓN DE CAUDAL.....	75
6.5	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL RESPECTO A LA CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA.....	76
6.6	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIETO.....	76
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>80</b>
<b>10</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Hoja cartográfica de la ubicación de Cementos Progreso.....	1
Figura 2: Ubicación del humedal artificial .....	2
Figura 3: Esquema del FWS con plantas acuáticas flotantes .....	8
Figura 4: Esquema del FWS con plantas acuáticas sumergidas.....	9
Figura 5: Esquema del HFL con plantas emergentes .....	9
Figura 6: Componentes del sistema HFSS dirección horizontal.....	10
Figura 7: Componentes del sistema SFS dirección vertical .....	12
Figura 8: Esquema de fosa séptica .....	27
Figura 9: Esquema (a) humedal artificial .....	28
Figura 10: Esquema (b) humedal artificial .....	29
Figura 12: Entrada al humedal .....	33
Figura 11: Entrada a fosa séptica.....	33
Figura 13: Punto de recolección 3- Agua reutilizada para riego .....	34
Figura 14: Curvas de niveles de confianza .....	35
Figura 15: Flujo discontinuo en el HA SFS.....	43
Figura 16: Presencia de lodos digeridos en la caja entrada al humedal .....	43
Figura 17: Jacinto en etapa de florecimiento y marchitez .....	44
Figura 18: Junco en etapa de florecimiento .....	45
Figura 19: Jacinto extraído, a la orilla de la laguna .....	45
Figura 21: Herramientas a la orilla del humedal .....	46
Figura 20: Tapaderas cerradas y otras en mal estado .....	46
Figura 22: Gráfica de variación de DBO <sub>5</sub> .....	48
Figura 23: Grafica variación de la concentración de nitrógeno.....	49
Figura 24: Gráfica de la variación de la concentración de fósforo.....	50
Figura 25: Gráfica de la variación de la concentración de sólidos suspendidos	51
Figura 26: Gráfica de la variación de caudal .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contaminantes y sus efectos potenciales .....	23
Tabla 2: Análisis de calidad de agua, garita .....	30
Tabla 3: Análisis de calidad de agua, tubo grueso .....	31
Tabla 4: Composición típica del agua residual doméstica bruta.....	32
Tabla 5: Lista de actividades de operación y mantenimiento del humedal.....	42
Tabla 6: Eficiencia en la remoción de $DBO_5$ .....	48
Tabla 7: Eficiencia en la remoción de nitrógeno.....	49
Tabla 8: Eficiencia en la remoción de fósforo.....	50
Tabla 9: Eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos .....	51
Tabla 10: Resultados de la caracterización del agua PR1 .....	52
Tabla 11: Resultados de la caracterización del agua PR2 .....	54
Tabla 12: Resultados de la caracterización del agua PR3 .....	55
Tabla 13: Resultados de la medición del caudal .....	57
Tabla 14: Caudal por población equivalente .....	58
Tabla 15: Dimensionamiento del HA de SFS para la remoción de $DBO_5$ .....	61
Tabla 16: Dimensionamiento del HA de FWS para la remoción de $DBO_5$ .....	62
Tabla 17: Dimensionamiento del HA para la remoción de sólidos suspendidos.....	63
Tabla 18: Dimensionamiento del HA para la remoción de nitrógeno total.....	64
Tabla 19: Dimensionamiento del HA para la remoción de fósforo total.....	66
Tabla 20: Resumen de las áreas requeridas para los distintos modelos .....	67
Tabla 21: Costos operación y mantenimiento .....	68

## ABREVIATURAS

°C: Grados Celsius

CEMPRO: Cementos Progreso

cm: centímetros

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

DQO: Demanda química de oxígeno

ERIS: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

F.S: Fosa de Sedimentación

FWS: Humedal de flujo libre

HA: Humedal artificial

m: metros

NT: Nitrógeno total

O&M: Operación y mantenimiento

pH: Potencial de hidrógeno

PR1: Punto de recolección 1

PR2: Punto de recolección 2

Pr3: Punto de recolección 3

PT: Fósforo total

SFS: Humedal de flujo subsuperficial

SST: Sólidos suspendidos totales

USAC: Universidad San Carlos de Guatemala

## GLOSARIO

**Afluente:** El agua o flujo que entra al sistema.

**Aguas residuales** Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

**Caracterización de una muestra:** La determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para re-uso o lodos.

**Carga:** El resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.

**Caudal:** El volumen de agua por unidad de tiempo.

**Coliformes fecales:** El parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

**Cuerpo receptor:** Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

**Demanda bioquímica de oxígeno:** La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

**Demanda química de oxígeno:** La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

**Humedal:** El sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad.

**Límite máximo permisible:** El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para re-uso y lodos.

**Monitoreo:** El proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para re-uso y lodos.

**Muestra:** Parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para re-uso o lodos.

**Muestras compuestas:** Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para re-uso o lodos.

**Parámetro:** La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para re-uso o lodos, asignándole un valor numérico.

**Re-uso:** El aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

**Tratamiento de aguas residuales:** Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.



## RESUMEN EJECUTIVO

Cementos Progreso, S.A. –CEMPRO– es una empresa que opera en Guatemala hace más de 109 años. Actualmente, produce y comercializa cemento, así como otros materiales para la construcción. Los procesos se mejoran constantemente utilizando tecnologías de punta y cumpliendo con estándares nacionales e internacionales. La Planta San Miguel está certificada bajo la norma ISO 9000 y recientemente adquirió también la certificación ISO 14000. En su compromiso con el medio ambiente, Cementos Progreso realiza actividades compatibles con él como utilizar en forma racional los recursos naturales, evitar la contaminación y controlar los impactos en el aire, suelo, agua, flora y fauna. Existe un área funcional ambiental para respaldar las actividades de cumplimiento legal ambiental y consultoría técnica ambiental. En dicha área se desarrollan proyectos enfocados en cambio climático : Reducción de emisiones de dióxido de carbono, Tratamiento y re-uso de aguas residuales, entre otros.

Respecto al tratamiento y re-uso de las aguas residuales, en Cementos Progreso no existen aguas residuales en el proceso de producción, 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 actualmente no opera en condiciones óptimas.

Cementos Progreso, por ser una empresa comprometida con el cuidado del medio ambiente y la seguridad de sus colaboradores, se interesa en mejorar las condiciones del sistema de tratamiento de sus aguas residuales en la planta San Miguel, con la finalidad de potenciar su eficiencia y así prevenir la contaminación del medio ambiente y proteger la salud de sus empleados.

Lo anterior fundamentó la realización este estudio de investigación, cuyo objetivo consistió en evaluar y sistematizar la operación y mantenimiento del humedal artificial 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.

La evaluación del humedal artificial de la Planta San Miguel de Cementos Progreso, consistió en la recopilación de los datos en campo, por medio del monitoreo de las actividades de O&M, observación, entrevistas, análisis de la calidad de agua, comparación de la capacidad del sistema con las condiciones actuales, así como la determinación de los costos de O&M y la elaboración del manual de O&M.

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.

Las eficiencias promedios calculadas del humedal fueron de 35.80%, 33.86%, 33.63% y 34% para la remoción de  $\text{DBO}_5$ , nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos respectivamente, los cuales se encuentran por debajo de los valores esperados.

Los valores obtenidos de las concentraciones de contaminantes en los tres puntos de recolección, cumplen con el reglamento 236-2006 en su etapa actual y etapa 1, debido a que las concentraciones del agua cruda son valores relativamente bajos.

# 1 ASPECTOS GENERALES

## 1.1 UBICACIÓN

El proyecto de investigación se realizó en la planta San Miguel de la empresa Cementos Progreso, S.A. Dicha planta se ubica en el kilómetro 46.5 carretera al Atlántico, Sanarate, El Progreso. Su ubicación cartográfica se puede observar en la figura 1.

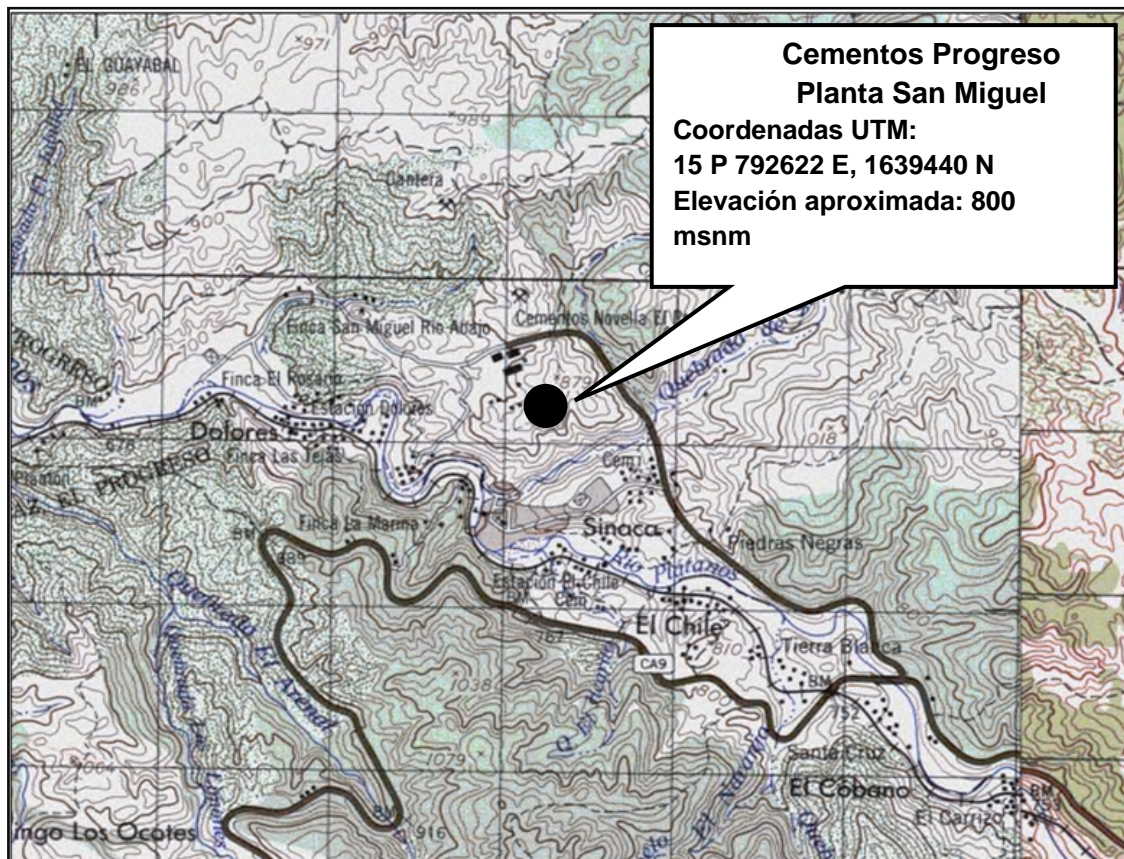


Figura 1: Hoja cartográfica de la ubicación de Cementos Progreso

La figura 2 muestra la ubicación del humedal artificial dentro de la planta San Miguel.



**Figura 2: Ubicación del humedal artificial**

## **1.2 ANTECEDENTES**

Cementos Progreso, S.A. es una empresa que opera en Guatemala hace más de 109 años; fue fundada por el señor Carlos F. Novella Kleé.

Actualmente, Cementos Progreso produce y comercializa cemento y otros materiales para la construcción, como concreto premezclado, premezclados secos y cal de la más alta calidad. Los procesos se mejoran constantemente utilizando tecnologías de punta y cumpliendo con estándares nacionales e internacionales. La planta San Miguel está certificada bajo la norma ISO 9000 y recientemente adquirió la certificación ISO 14000. Como parte del compromiso con el medio ambiente, las actividades de Cementos Progreso son compatibles con él; 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.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La operación y mantenimiento ineficaz y deficiente del humedal artificial a lo largo del tiempo, ha contribuido significativamente con su deterioro, disminuyendo el potencial en el mejoramiento de la calidad de agua.

### **1.4 HIPÓTESIS**

Con este estudio se pretende demostrar que el sistema de tratamiento por humedales artificiales de la planta San Miguel no opera de una manera óptima. Que la eficiencia del sistema está por debajo de los rendimientos esperados en cuanto a la remoción de DBO que debe ser del 85%, de nutrientes como nitrógeno y fósforo total de un 85% y 60% respectivamente, y de los sólidos suspendidos, alrededor del 90%.

Con las recomendaciones de mejoramiento que se formulen, la planta no solo mejorará su eficiencia sino también aspectos en la salud y seguridad de los colaboradores que están en contacto directo con el agua que trata el sistema.

### **1.5 JUSTIFICACIÓN**

Cementos Progreso, por ser una empresa comprometida con el cuidado del medio ambiente y la seguridad de sus colaboradores, se interesa en mejorar las condiciones del sistema de tratamiento de sus aguas residuales con la finalidad de potenciar la eficiencia del mismo y así prevenir la contaminación del medio ambiente y proteger la salud de sus colaboradores.

Con este estudio la empresa dispondrá de las herramientas necesarias que le permitirán documentar, implantar y mantener una mejora continua del sistema de tratamiento. También será un marco de referencia para sistemas que operen con condiciones similares.

## **1.6 ALCANCE**

En alcance de la investigación fue de tipo explicativo, ya que primero se dieron a conocer de manera descriptiva los componentes de un humedal, su funcionamiento y los procesos de tratamiento involucrados en él, posteriormente se evaluó la relación existente entre las actividades de operación y mantenimiento con la eficiencia del humedal, se explicaron los resultados y se verificó el cumplimiento o no de la hipótesis.

## **1.7 VIABILIDAD, APOYO Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### Viabilidad

Esta investigación se pudo realizar gracias a que se contó con la disponibilidad de tiempo y de recursos, tanto humano y económico; así como de materiales y equipo para su implementación. Se dispuso un espacio físico en las instalaciones de la planta San Miguel de Cementos Progreso y en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

### Apoyo

La investigación se realizó con el apoyo del Servicio Alemán de Intercambio Académico DAAD, de la empresa Cementos Progreso y de Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS-USAC.

### Con esta investigación se espera beneficiar a:

- ✓ El autor de la investigación
- ✓ Cementos Progreso
- ✓ Estudiantes o profesionales del área de la ingeniería sanitaria
- ✓ Personas interesadas en el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales.

## **1.8 OBJETIVOS**

### **1.8.1 General**

Evaluar y sistematizar la operación y mantenimiento del humedal artificial de la planta San Miguel de Cementos Progreso, durante los meses de marzo, abril y mayo del 2010, con la finalidad de contar con una base de datos para determinar la eficiencia del sistema.

### **1.8.2 Específicos**

1. Monitorear las actividades actuales de operación y mantenimiento (O&M) de los componentes sistema.
2. Elaborar el manual de operación y mantenimiento del humedal artificial.
3. Determinar las concentraciones de contaminantes en el tiempo, con el propósito de determinar la eficiencia del humedal en cuanto a la remoción de la DBO<sub>5</sub>, nitrógeno y fósforo total, sólidos suspendidos, coliformes fecales y totales.
4. Comparar los resultados obtenidos del efluente del sistema, con el ACUERDO GUBERNATIVO DE GUATEMALA No. 236-2006: "Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos" y determinar si cumplen o no.
5. Determinar el caudal de agua residual que trata el humedal artificial.
6. Evaluar la capacidad del actual sistema en cuanto a la cantidad y calidad de agua y compararlo con el diseño bajo el cual se construyó.
7. Determinar los costos de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.



## **2 MARCO TEÓRICO: HUMEDALES ARTIFICIALES**

“Los humedales son extensiones de terreno cubiertos de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanente o temporal, estancada o con corriente, dulce o salada; y con una frecuencia y duración tales que sean suficientes para mantener el medio en condiciones saturadas” (Lara, J., 1999, p. 1).

Lara, J. (1999) menciona que los humedales tienen tres funciones básicas cuando se emplean para el tratamiento de aguas residuales, las cuales se definen a continuación.

1. Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
2. Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
3. Lograr niveles de tratamiento consistentes, con bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

### **2.1 CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES**

Lara, J. (1999) sugiere la siguiente clasificación para los humedales artificiales.

1. Humedales de flujo libre (FWS): consisten en grandes terrenos con bajos niveles de agua, provistos de plantas macrófitas que flotan libremente en la superficie.
2. Humedales de flujo sub-superficial (SFS): son sistemas con macrófitas emergentes, consisten en un filtro biológico relleno de un medio poroso (piedra volcánica o grava) en el cual las plantas macrófitas se siembran en la superficie del lecho filtrante y las aguas residuales pretratadas atraviesan de forma horizontal o vertical el lecho filtrante.

El Centro de Investigación y Estudio en Medio Ambiente de la Universidad Nacional del Ingeniería de Nicaragua (CIEMA, UNI), (2005) establece una subdivisión de los humedales mencionados, los cuales se describen en las secciones 2.1.1 y 2.1.2.

## 2.1.1 Humedales de flujo libre (FWS)

### 2.1.1.1 Sistemas con plantas acuáticas flotantes

Este sistema consiste en grandes lagunas con bajos niveles de agua, provistas de plantas que flotan libremente en la superficie. El concepto de tratamiento se basa principalmente en la recolección de la biomasa producida; las plantas más utilizadas son *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Pistia stratiotes* (lechuga de agua). En la figura 3 se observa el esquema de este tipo de sistema.

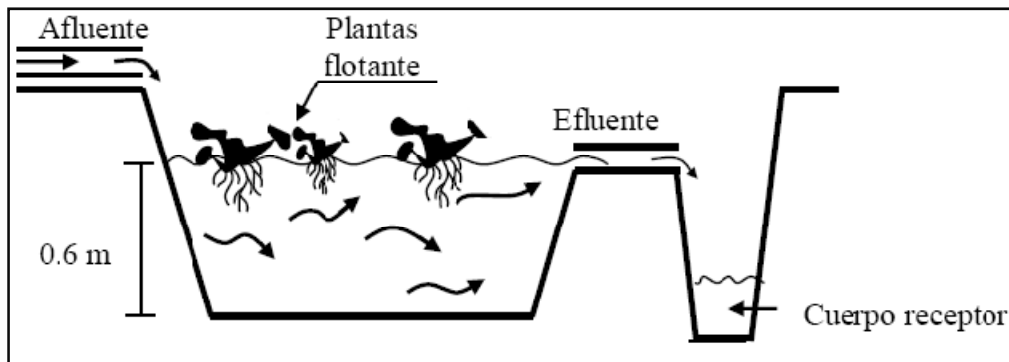


Figura 3: Esquema del FWS con plantas acuáticas flotantes

### 2.1.1.2 Sistemas con plantas acuáticas sumergidas

Consiste en lagunas con bajo nivel de agua, con plantas que tienen su tejido fotosintético totalmente sumergido, tal como se puede observar en la figura 4. Las plantas sumergidas solo crecen bien en aguas que contienen oxígeno disuelto, por lo tanto no se usan en aguas residuales con alto contenido de materia orgánica biodegradable, porque la descomposición microbiana de ésta provoca condiciones anóxicas.

Además, depende de la penetración de la luz a través del agua para que se produzca actividad fotosintética, por lo que se utilizan principalmente para tratamiento terciario (remoción de nutrientes). Entre las plantas que se utilizan en estos sistemas están *Egeria densa*, *Elodea canadensis* y *Elodea nuttalli*.

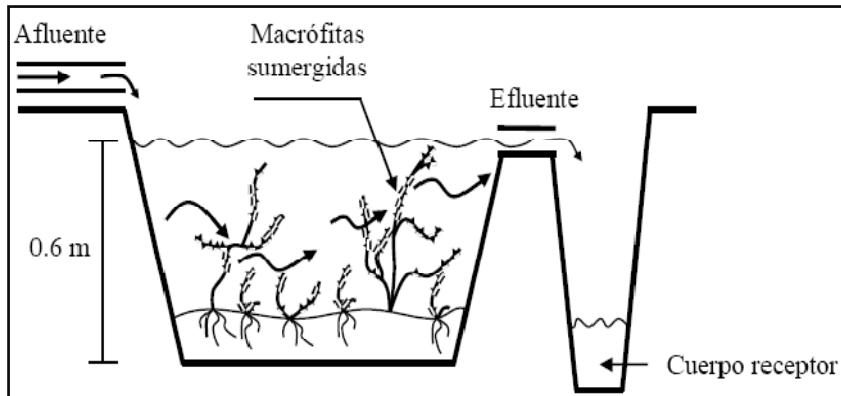


Figura 4: Esquema del FWS con plantas acuáticas sumergidas

### 2.1.1.3 Sistemas con plantas emergentes

El diseño de este sistema con superficie libre de agua consiste en trincheras de 3-5 m de ancho y cientos de metros de longitud, plantadas, por ejemplo, con *Scirpus lacustris* o *Phragmites australis*. El tratamiento biológico de las aguas residuales es favorecido por la presencia de porciones sumergidas de tallos y paja, los cuales sirven como sustrato para el crecimiento microbiano.

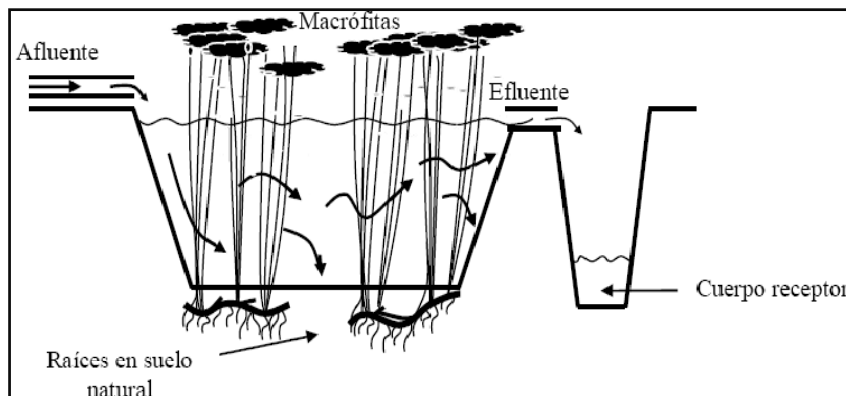


Figura 5: Esquema del HFL con plantas emergentes

## 2.1.2 Humedales de flujo sub-superficial (SFS)

Este es un sistema con plantas emergentes, con la diferencia de que éstas cuentan con un medio poroso (piedra volcánica, grava). Las plantas se siembran en la superficie del lecho filtrante y las aguas residuales pre-tratadas atraviesan de forma horizontal o vertical el lecho filtrante.

Las bacterias, responsables de la degradación de la materia orgánica, utilizan la superficie del lecho filtrante para la formación de una película bacteriana y de esta manera, en el filtro una existe población bastante estable que no puede ser arrastrada hacia la salida. Una vez instalado y operado adecuadamente el sistema, tiene una vida útil prolongada, ya que es un ciclo de vida renovable, en el que existe equilibrio entre el crecimiento y muerte de las plantas y la reproducción de la masa bacteriana.

### 2.1.2.1 SFS en dirección horizontal

Consiste en lagunas o pilas rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, rellenas con grava o piedra volcánica y sembrada con plantas emergentes.

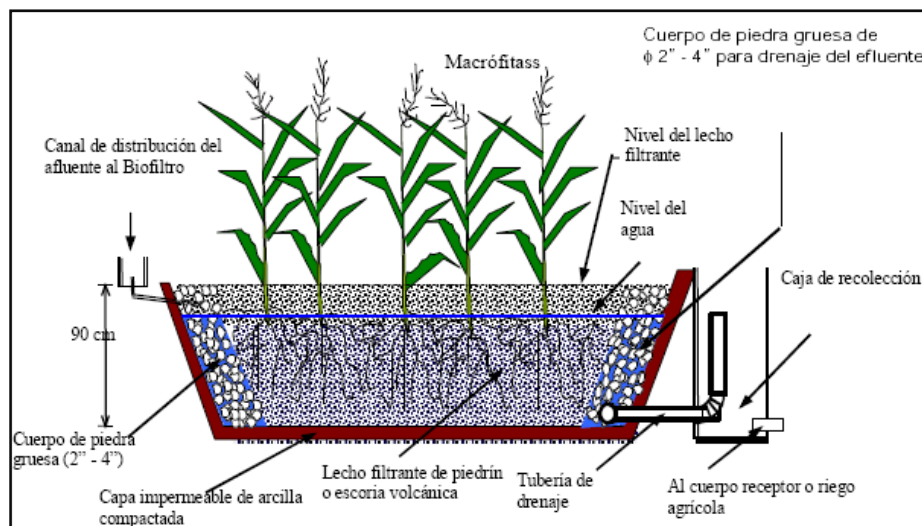


Figura 6: Componentes del sistema HFSS dirección horizontal

En este tipo de sistemas las aguas residuales fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la laguna, en una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta que llegan a la zona de recolección del efluente. Durante este recorrido que normalmente dura varios días, el agua residual está en contacto con zonas aeróbicas y anaeróbicas, de las cuales las zonas aeróbicas están ubicadas alrededor de las raíces de las plantas, mientras que las zonas anaeróbicas están ubicadas en las áreas lejanas a las raíces.

Durante el paso del agua residual a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la degradación microbiológica proporcionada por la biocapa que se forma en la superficie del material del lecho filtrante y por procesos físicoquímicos.

Para mantener la eficiencia del sistema durante muchos años y evitar la obstrucción de los poros del lecho filtrante se necesita un pretratamiento eficiente, que incluye la separación de material grueso, nata flotante y sólidos sedimentables y suspendidos.

Las principales características de este sistema son:

- ✓ La cantidad de oxígeno transportado por medio de las hojas y tallos hacia las raíces de las plantas es un factor limitante para la descomposición aeróbica en la rizósfera; la nitrificación se da sólo en niveles bajos.
- ✓ Las raíces de las plantas crecen vertical y horizontalmente; así abren una vía o ruta hidráulica a través de la cual fluye el agua.
- ✓ Alto tiempo de retención, normalmente entre 3-7 días.
- ✓ Poca posibilidad de cortocircuitos en el régimen hidráulico, por la homogeneidad del lecho filtrante.

### 2.1.2.2 SFS en dirección vertical

Consiste en lagunas de aproximadamente 1 m de profundidad, rellenas con grava o piedra volcánica dispuestas en capas de diferente espesor y granulometría. Las aguas pretratadas se distribuyen de manera uniforme e intermitente sobre toda la superficie del lecho filtrante y luego percolan hacia la zona de recolección. El intervalo de alimentación debe ser lo suficientemente grande para permitir que toda el agua haya percolado y los espacios vacíos del lecho hayan sido ocupados por aire, de forma que con la próxima descarga el aire atrapado, junto con una rápida dosificación conduzcan a una buena transferencia de oxígeno.

Las plantas sembradas en la superficie también suministran oxígeno, pero su principal función es mantener la conductividad hidráulica en el lecho. Este tipo de sistema se utiliza fundamentalmente para lograr una buena nitrificación.

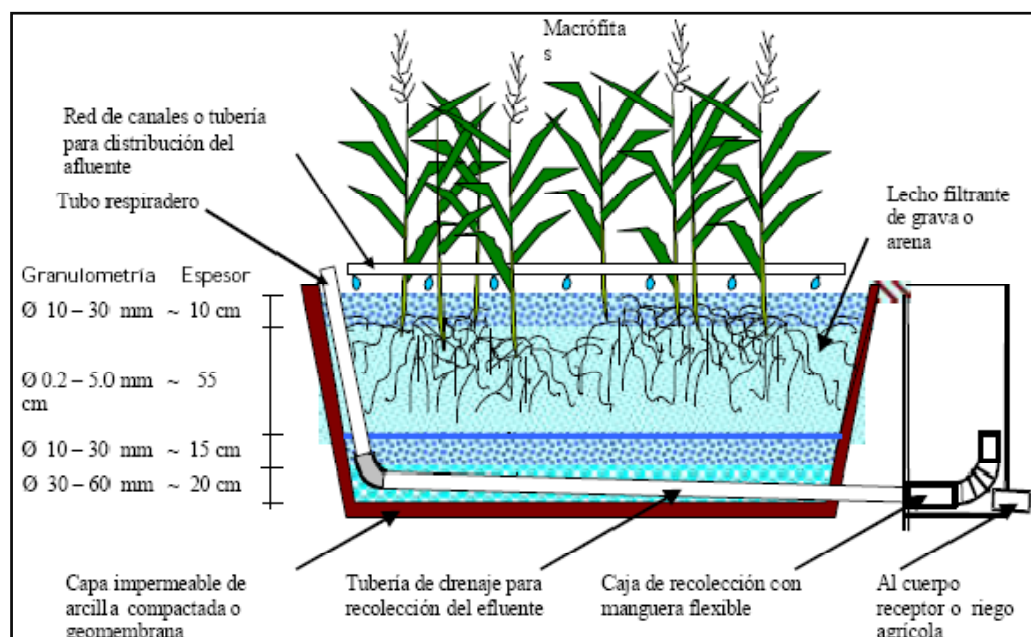


Figura 7: Componentes del sistema SFS dirección vertical

Las principales características del sistema del flujo vertical son:

- ✓ El agua residual por tratar es dosificada y distribuida intermitentemente en toda la superficie del lecho filtrante.
- ✓ Idealmente, el líquido debe inundar temporalmente la superficie y luego percollar gradualmente a través del lecho de forma descendente.
- ✓ La frecuencia de la alimentación está en dependencia del tiempo que necesita una dosificación de agua para percolarse a través del lecho hacia el sistema de drenaje, dejando la mayoría de los poros rellenos con aire.
- ✓ Bajo tiempo de retención.
- ✓ Se necesita solamente entre 30 y 50 % del área requerida para la construcción de sistemas con flujo horizontal.
- ✓ La biodegradación en el sistema no está limitada por el oxígeno, por lo cual es capaz de nitrificar a altos niveles.
- ✓ Dependiendo del cuerpo que se deja saturado de agua, se puede influir el mecanismo de desnitrificación dentro del lecho filtrante.
- ✓ No presenta una eficiencia tan alta como el de flujo horizontal en cuanto a remoción de sólidos suspendidos y gérmenes patógenos.
- ✓ Se necesita un tanque de almacenamiento para las aguas pretratadas y un mecanismo especial para lograr una dosificación intermitente y uniforme en toda el área del lecho filtrante, o la aplicación de un sistema rotativo para la alimentación de varias unidades.

## **2.2 ELEMENTOS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES**

Lara, J. (1999) señala que los humedales artificiales consisten en superficies que contienen agua, substrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes. Estos componentes se mencionan a continuación:

### **2.2.1 El agua**

Es probable que se formen humedales en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte, modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando el fondo para retener el agua.

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. Mientras la hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales y cercanas a superficie, difiere en aspectos importantes:

- ✓ Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- ✓ Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas).
- ✓ La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, al obstruir caminos de flujo que al ser sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y rizomas y, segundo, al bloquear la exposición al viento y al sol.



## **2.2.2 Substratos, sedimentos y restos de vegetación**

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El substrato, sedimentos y los restos de vegetación son importantes por varias razones:

- ✓ Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- ✓ La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- ✓ Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- ✓ El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- ✓ La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

Las características físicas y químicas del suelo y otros substratos se alteran cuando se inundan. En un substrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno de la atmósfera, puede dar lugar a la formación de un substrato anóxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

## **2.2.3 Vegetación**

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces y rizomas) permite la

penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- ✓ Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo.
- ✓ Dan lugar a bajas velocidades de agua y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- ✓ Toman el carbono, nutrientes y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- ✓ Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- ✓ El escape de oxígeno desde las estructuras sub-superficiales de las plantas oxigena otros espacios dentro del substrato.
- ✓ El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- ✓ Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos y juncos de laguna. Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales.

Cuando se diseñan sistemas que específicamente buscan un incremento en los valores del hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, usualmente incluyen gran variedad de plantas, en especial para proporcionar alimentación y nido a las aves y otras formas de vida acuática.

## 2.2.4 Microorganismos

Una característica importante de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes. La actividad microbiana:

- ✓ Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- ✓ Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras, son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante años.

La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados y se debe ser cuidadoso para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

### **2.2.5 Animales**

Los humedales artificiales proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados. Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento al fragmentar el detritus consumiendo materia orgánica.

Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significantes de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también desempeñan papeles ecológicos; por ejemplo, las ninfas de la libélula son rapaces importantes de larvas de mosquito.

Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales construidos también atraen gran variedad de anfibios, tortugas, pájaros y mamíferos. Los humedales construidos atraen variedad de pájaros, incluso patos silvestres.

### **2.2.6 Realce de la estética y paisaje**

Aunque los humedales son principalmente sistemas de tratamiento, proporcionan beneficios intangibles como el aumento de la estética del sitio y refuerzan el paisaje. Visualmente, los humedales son ambientes de extraordinaria riqueza. Introduciendo el elemento agua al paisaje, el humedal artificial, tanto como el natural, agrega diversidad al paisaje.

Pueden construirse humedales siguiendo las formas que tienen los contornos naturales del sitio, hasta el punto de que algunos humedales para el tratamiento de agua son indistinguibles, a simple vista, de los humedales naturales.

## **2.3 COMPOSICIÓN-MECANISMOS DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**

Como se explicó al inicio del capítulo, el tratamiento de las aguas residuales en los sistemas de humedales, naturales o artificiales se da por procesos físicos, químicos y biológicos. Estos son capaces de eliminar hasta cierto punto, casi todos los constituyentes del agua residual, considerados como contaminantes (sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, elementos traza, compuestos orgánicos de traza y microorganismos).

Tchobanoglous, G. (1996) menciona los siguientes mecanismos de remoción para los contaminantes mencionados:

### **2.3.1 Sólidos suspendidos**

Los sólidos en suspensión pueden llegar a dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. En los dos tipos de humedales artificiales que existen (FWS y SFS), los sólidos suspendidos se eliminan por sedimentación, potenciada por las reducidas velocidades de circulación y la escasa profundidad, así como por la filtración a través de las formas vegetales vivas y de los desechos vegetales. En la interfase del suelo se produce una eliminación adicional. En el caso de SFS estos se eliminan principalmente por filtración en el terreno o en el medio sub-superficial.

### **2.3.2 Materia orgánica**

La materia orgánica, principalmente compuesta por proteínas, carbohidratos, grasas y animales presente en el agua residual, ya sea soluble o insoluble, se elimina por degradación microbiana. Los microorganismos responsables de esta degradación suelen estar asociados a películas que se desarrollan sobre la superficie de las partículas del suelo, vegetación y desechos de vegetales.

En general los humedales artificiales se diseñan de modo que resulte posible mantener condiciones aerobias, con la intención de que la degradación de la materia orgánica se realice, principalmente, gracias a la acción de los microorganismos aerobios, ya que esta tiende a ser más rápida y completa que la anaerobia y, por lo tanto, se consigue evitar problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia.

### **2.3.3 Nitrógeno**

La transformación y eliminación de nitrógeno implica una serie de procesos y reacciones compleja, estos dependen de la forma en que éste se encuentre presente. El nitrógeno suele estar presente en forma de amoníaco o nitrógeno orgánico, excepto en el caso de las aguas residuales que han sido sometidas a procesos de nitrificación como consecuencia de tratamientos avanzados.

#### ✓ Nitrógeno orgánico

El nitrógeno asociado a los sólidos suspendidos presentes en el agua residual se eliminan por sedimentación y filtración. El nitrógeno orgánico en la fase sólida se puede incorporar directamente al humus del suelo, que consiste en moléculas orgánicas complejas de gran tamaño que contienen carbohidratos complejos y proteínas. Parte del nitrógeno orgánico se hidroliza para formar aminoácidos que se pueden descomponer adicionalmente, para producir iones de amonio.

#### ✓ Nitrógeno amoniacal

En los sistemas de humedales artificiales la mayor parte del amoníaco afluente y del amoníaco convertido se absorbe temporalmente mediante reacciones de intercambio iónico, sobre las partículas del suelo y sobre las partículas orgánicas dotadas de carga.

✓ Nitrógeno en forma de nitratos

Este no sufre reacciones de intercambio iónico debido a su carga negativa, permanece en solución y es transportado como parte del agua percolada.

Si no se elimina por consumo de las plantas o por procesos de desnitrificación el nitrato se lixiviará y alcanzará las aguas subterráneas subyacentes. Por lo tanto, los sistemas se deben diseñar y explotar de modo que se consiga el grado de eliminación de nitrógeno necesario para asegurar la protección de estas aguas.

La vegetación puede asimilar los nitratos, pero ello solo se produce en las proximidades de las raíces durante los periodos de crecimiento activo. En realidad para conseguir la eliminación del nitrógeno por asimilación de las plantas es necesario recoger y retirar del sistema la vegetación en el caso de los FWS. Si la vegetación permanece en el sistema (SFS), el nitrógeno asimilado se reciclará por las plantas y vuelve a entrar al sistema en forma de nitrógeno orgánico. La asimilación de las plantas y su posterior recogida es el principal mecanismo de eliminación de éste.

✓ Desnitrificación biológica

Los nitratos también se eliminan por desnitrificación biológica y posterior liberación de oxígeno nitroso gaseoso y del nitrógeno molecular a la atmósfera. Esta desnitrificación es el principal mecanismo de remoción en el caso de los FWS. Se lleva a cabo por la acción de las bacterias facultativas en condiciones anóxicas, para que se produzca no es necesario que la totalidad del sistema esté en condiciones anóxicas.

### **2.3.4 Fósforo**

Los principales procesos de eliminación de fósforo son la adsorción y precipitación química, aunque las plantas también consumen parte de éste. El fósforo normalmente presente en forma de ortofosfato, es adsorbido por minerales arcillosos y fracciones orgánicas de la matriz del suelo. El grado de eliminación de éste que se puede alcanzar, depende del grado de contacto entre el agua residual y el suelo. Por lo tanto los sistemas de FWS presentan condiciones limitadas en la eliminación de fósforo.

### **2.3.5 Elementos traza**

Así se denominan los elementos químicos, principalmente metales pesados, (flúor, zinc, cobre, silicio, vanadio, estaño, selenio, manganeso, yodo, níquel, molibdeno, cromo y cobalto) que tienen concentración muy baja, por lo general inferior a 0.1%. La eliminación de estos ocurre por mecanismos de sorción (término que engloba reacciones de adsorción y precipitación) y en menor grado, por la asimilación de algunos metales por parte de las plantas. Para la mayoría de tratamientos mediante sistemas biológicos los rendimientos de eliminación observados se sitúan entre 80%-95%. Sin embargo, en sistemas por humedales artificiales los rendimientos son menores debido al contacto limitado con sólidos y sedimentos y a las condiciones anaeróbicas que se desarrollan en ellos.

### **2.3.6 Microorganismo**

Los mecanismos de eliminación de las bacterias y parásitos (protozoos y helmintos) comunes en la mayoría de los sistemas de tratamiento biológico incluyen la muerte, retención, sedimentación, depredación, desecación y adsorción. Los virus se eliminan casi exclusivamente por adsorción y posterior muerte. En los sistemas de HFSS la remoción se da por la percolación del agua a través del medio granular.



## 2.4 CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y SALUD PÚBLICA

Como se mencionó en la sección anterior, los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fósforos, organismos patógenos, metales pesados y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables (sobre todo hidrocarburos clorados).

Estos contaminantes y los posibles efectos potenciales que causan mayor preocupación se presentan a continuación.

**Tabla 1: Contaminantes y sus efectos potenciales**

CONTAMINANTE	EFFECTO POTENCIAL
Nitrógeno Salud medio ambiente	Suministro de agua a niños pequeños Eutrofización
Fósforo Salud medio ambiente	No tiene impacto directo Eutrofización
Patógenos Salud medio ambiente	Formación de aerosoles en el suministro de agua para cultivos. Acumulación en el terreno y contaminación de la vida salvaje
Metales Salud medio ambiente	Suministro de agua a cultivos y animales en la cadena alimenticia humana A largo plazo, daños en el terreno y es tóxico para plantas y animales
Elementos de traza orgánicos Salud medio ambiente	Suministro de agua para plantas y animales en la cadena alimenticia Acumulación en el terreno

### **2.4.1 Nitrógeno**

Puede limitarse en aguas superficiales para prevenir eutrofización. La remoción de nitrógeno en sistemas de humedales artificiales está entre 25 y 85%.

### **2.4.2 Fósforo**

La remoción de fósforo en humedales no es muy eficaz debido a las limitadas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. Los mecanismos principales para la remoción de fósforo son la captación por parte de las plantas y la retención en el terreno.

### **2.4.3 Patógenos**

En lo referente a las aguas superficiales que recibirán la descarga del efluente del humedal artificial, los patógenos de interés en los sistemas de tratamiento acuáticos son bacterias y virus. Generalmente no preocupa la contaminación del agua subterránea, ni la transmisión a otros lugares por medio de aerosoles. El agua subterránea no se contaminará en sistemas que estén sellados por una arcilla impermeable o por una barrera de material sintético.

La investigación se ha dirigido a la transmisión de enfermedades parasitarias a los animales y al ser humano por medio de la aplicación al terreno de aguas residuales municipales y lodos de depuradora. Estudios significativamente completos indican que los parásitos no aumentan en el ganado que ha estado en contacto con pastos regados por agua residual. Los resultados son consistentes en varias regiones del mundo, como Estados Unidos, Polonia y Australia. Estos estudios, aunque no han sido realizados en sistemas de humedales artificiales, indican que el potencial de problemas serios no parece estar presente.

#### **2.4.4 Bacterias**

La fauna puede verse afectada por los sistemas de humedales ya que los lodos anaerobios pueden contener el organismo causante del botulismo (*Clostridium botulinum*). El control de este patógeno puede lograrse, en gran medida, por puntos de dispersión múltiples para el humedal del tipo FWS. Este patógeno no es un problema para las aves salvajes SFS.

Las principales vías de transmisión de enfermedades a los seres humanos desde el agua residual son: el contacto directo con el agua residual, transporte de aerosoles, cadena alimenticia y trato inadecuado del agua de bebida.

#### **2.4.5 Virus**

Los virus en la mayoría de los sistemas del tratamiento son más resistentes a la inactivación que las bacterias. Diversos estudios de SFS, realizados en Estados Unidos demuestran que se ha alcanzado una eliminación de virus de 98%, con un lecho de juncos y un tiempo de retención aproximado de seis días.

#### **2.4.6 Metales**

Humedales del tipo de SFS tienen una remoción de cobre, zinc y cadmio de respectivamente 99, 97 y 99% respectivamente de acuerdo con estudios realizados en Estados Unidos. La remoción se atribuye a los fenómenos de precipitación - adsorción. La precipitación química se refuerza por el metabolismo del humedal, sobre todo de las algas que reducen los niveles de CO<sub>2</sub> disuelto y aumentan el pH.

### **3 UNIVERSO DE TRABAJO**

#### **3.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

Como se mencionó en la sección 1.1, esta investigación se desarrolló en la empresa Cementos Progreso, S.A, planta San Miguel, ubicada en el kilómetro 46.5 carretera al Atlántico, Sanarate, El Progreso.

#### **3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

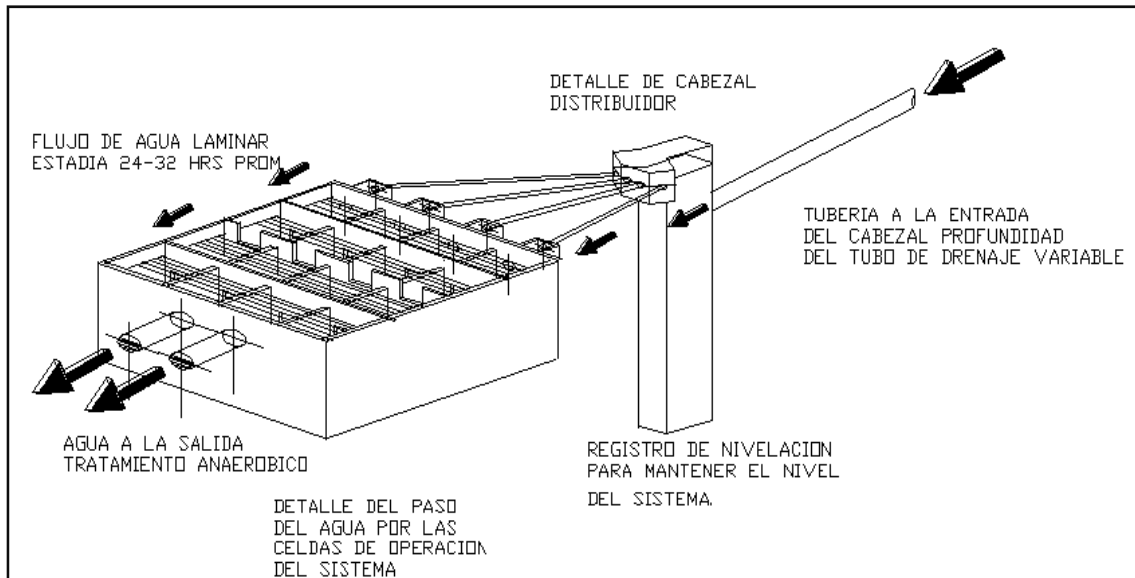
De acuerdo con la información proporcionada por la Unidad de Ambiente de Cementos Progreso, el sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la planta San Miguel tiene las siguientes características:

1. Área total: 1350 m<sup>2</sup>
2. Capacidad máxima: 160 m<sup>3</sup> / día
3. Tiempo de retención: 8 días
4. Pendiente: 0.5 grados
5. Caudal calculado: 112.8 l/min
6. Volumen diario máximo esperado: 60 m<sup>3</sup>

El sistema de tratamiento evaluado que está compuesto por las siguientes unidades de tratamiento:

##### **3.2.1 Tratamiento primario**

El agua residual proveniente de la red interna de alcantarillado sanitario, es conducida por gravedad hacia a un cabezal de entrada a través de una tubería de drenaje de PVC de diez pulgadas de diámetro. De allí, se envía el flujo al tratamiento primario (fosa de sedimentación), la cual está tiene una capacidad de 410 m<sup>3</sup>.



**Figura 8: Esquema de fosa séptica**

### **3.2.2 Tratamiento secundario**

En el marco teórico se describieron los tipos de humedales artificiales que existen. El sistema de tratamiento que se utiliza en la planta San Miguel contempla una combinación de ambos tipos de humedales.

- ✓ El efluente de la fosa séptica es enviado hacia una caja de distribución ubicada al inicio del humedal.
- ✓ La caja distribuidora envía el flujo hacia una primera sección que es un SFS.
- ✓ La segunda sección consiste en un FWS compuesto por una superficie de agua de dos metros de profundidad cubierta por jacintos acuáticos flotando.
- ✓ De la laguna de jacintos pasa a una tercera sección (humedal SFS), finalmente el efluente pasa a un pozo que tiene la función de bombear el agua hacia las áreas de verdes que rodean la planta.

En la figura 9 puede verse la dirección del flujo del humedal. En figura 10, las dimensiones del mismo y sus principales características.

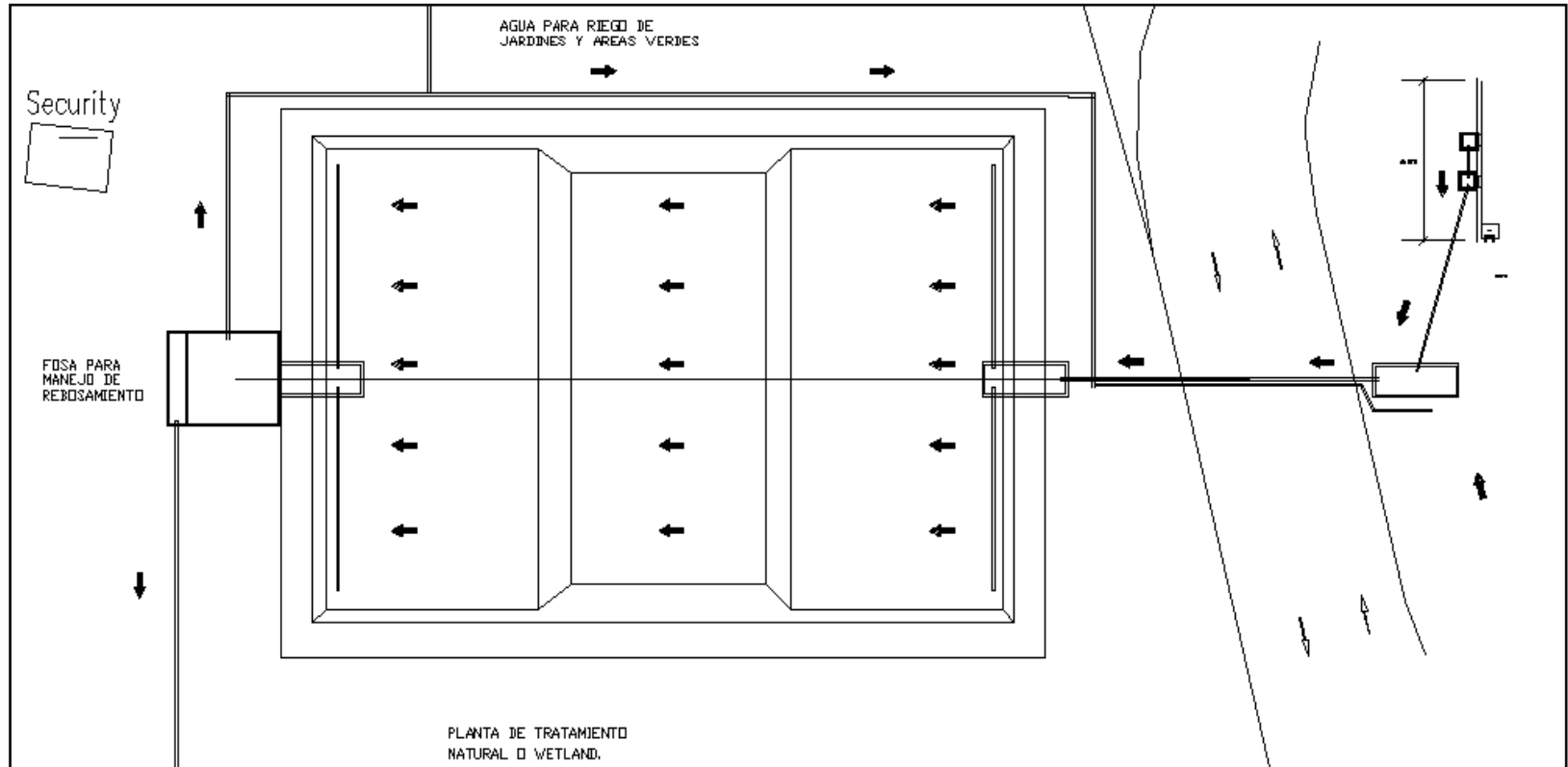


Figura 9: Esquema (a) humedal artificial

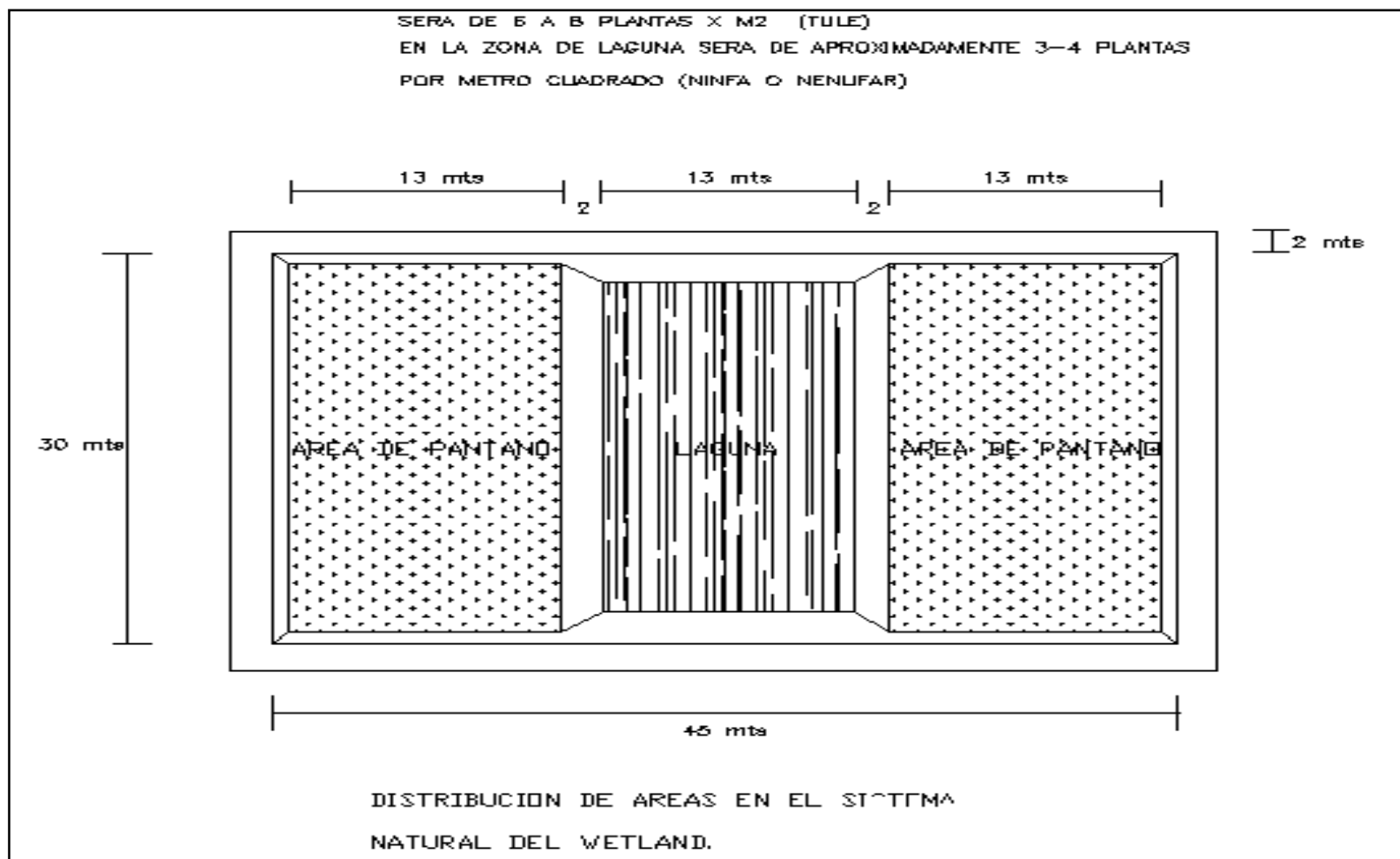


Figura 10: Esquema (b) humedal artificial

### 3.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA

Para el diseño del sistema se realizó una caracterización del agua, con la finalidad de que sirviera como herramienta y soporte técnico para el dimensionamiento. Ésta se practicó en dos puntos los cuales corresponden a los afluentes que trataría la planta. En las tablas 2 y 3 se presentan los resultados que sirvieron para la comparación y evaluación del sistema diseñado con las condiciones actuales.

Tabla 2: Análisis de calidad de agua, garita

#### CEMENTOS PROGRESO PLANTA SAN MIGUEL



##### Análisis de Agua

##### Punto No. 1 Descarga Garita

Parámetro	Unidades	Límite de cuantificación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fecha de muestreo			1/04/97	4/04/97	7/04/97	10/04/97	13/04/97	17/04/97	20/04/97	23/04/97	26/04/97
Hora de muestreo			9:00	12:00	15:00	21:00	18:00	0:00	3:00	6:00	12:00
pH (In situ)	pH	0.01	7.89	7.96	7.89	7.92	8.14	8.29	8.15	8.2	8.27
Oxígeno disuelto (In situ)	ppm	0.01	2.47	1.82	0.23	2.48	1.44	1.99	1.68	3.8	1.89
Temperatura (In situ)	oC	0.1	26.7	29.5	28.7	27.4	26.9	26.8	26.4	22.2	27.9
Conductividad	uS/cm	1	712	666	783	388	785	74	590	646	1058
Sólidos sedimentables	ml/Lt	0.1	6	5	10	1	<0.1	<0.1	0.3	0.5	8
Sólidos en suspensión	ppm	6	34	8	8	<6.0	36	40	58	182	100
Sólidos totales	ppm	6	660	440	876	316	464	496	384	540	2428
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppmO2	No aplica	132	54	276	90	142.8	204	112.8	60	298
Demanda Química de Oxígeno	ppmO2	2.9	245	98.8	308	136.1	206.2	344.8	260.6	131.4	571
Coliformes totales	NMP/100ML	2	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400
Coliformes fecales	NMP/100ML	2	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400
Aceites y grasas	ppm	6	18.3	14.9	26.3	14.3	6.6	12.1	13.5	9	33.8
Fósforo total (P)	ppm	0.1	6.1	4.7	9.4	1	6.2	6.4	5.1	3.3	16.4
Fosfatos (P-PO4)	ppm	1.5	3.1	2.8	4.8	0.6	5	5.4	4.8	2.6	9.2
Nitrógeno total	ppm	0.3	7.4	8.5	11.2	75.5	29.1	47.1	31.9	13.5	69.8
Aforo	lt/min	No aplica	13.2	24.6	37.2	22.2	2.4	1.8	0.6	4.2	6.6



Tabla 3: Análisis de calidad de agua, tubo grueso

**CEMENTOS PROGRESO**  
PLANTA SAN MIGUEL



Análisis de Agua

Punto No. 2 Tubo Grueso

Parámetro	Unidades	Límite de cuantificación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fecha de muestreo			1/04/97	4/04/97	7/04/97	10/04/97	13/04/97	17/04/97	20/04/97	23/04/97	26/04/97
Hora de muestreo			9:00	12:00	15:00	21:00	18:00	0:00	3:00	6:00	12:00
pH (In situ)	pH	0.01	8.13	8.04	8.09	8.19	8.16	8.1	8.16	8.13	8.11
Oxígeno disuelto (In situ)	ppm	0.01	4.24	2.3	3.64	3.3	3.22	2.52	3.17	2.26	3.89
Temperatura (In situ)	oC	0.1	23.5	24.7	23.6	23.2	24.1	23.5	23.9	25.6	24.6
Conductividad	uS/cm	1	557	701	882	546	578	618	506	613	746
Sólidos sedimentables	ml/Lt	0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1
Sólidos en suspensión	ppm	6	42	10	6	28	38	16	36	10	140
Sólidos totales	ppm	6	420	384	636	344	376	332	396	412	504
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppmO2	No aplica	18.2	22.4	30	9.4	33	22.7	108.9	18	17.5
Demanda Química de Oxígeno	ppmO2	2.9	40	49.3	52.3	20.7	65.6	31.6	187.8	48.5	38.4
Coliformes totales	NMP/100ML	2	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400
Coliformes fecales	NMP/100ML	2	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400
Aceltes y grasas	ppm	6	<6	<6	<6	6.2	<6	<6	6.9	<6	<6
Fósforo total (P)	ppm	0.1	2.1	1.7	2.4	1.8	2.4	2.4	1.7	2.3	2.1
Fosfatos (P-PO4)	ppm	1.5	1.3	0.9	1.4	0.8	1.6	2	1.3	1.7	2
Nitrógeno total	ppm	0.3	7.4	4.4	8.5	36	15.9	32.3	14	10.2	20.8
Aforo	lt/min	No aplica	16.8	14.4	4.2	14.4	6	9	10.2	3	19.2

Nota: las unidades expresadas en ppm son equivalentes a mg/l.

### 3.4 CALIDAD DE AGUA

En esta sección se explica el procedimiento para realizar los análisis de calidad de agua; comienza por una caracterización de la misma, se definen los puntos de muestreo, el número de muestras por realizar.

#### 3.4.1 Caracterización del agua

De acuerdo con Metcalf & Eddy (1996) las aguas residuales se determinan por su composición física, química y biológica, pero existen parámetros preestablecidos para fijar los principales componentes que ayudan a la caracterización de las aguas. Asimismo, el Reglamento de las Descargas y Re-uso Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo Número 236-2006 de Guatemala sugiere la consideración de ciertos parámetros para la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales los cuales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Composición típica del agua residual doméstica bruta

Contaminante	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Alta
Sólidos Totales	mg/l	350	720	1 200
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
DBO <sub>5</sub>	mg/l	110	220	400
DQO	mg/l	250	500	1 000
Nitrógeno total	mg/l	20	40	85
Fósforo total	mg/l	4	8	15
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	106 – 107	107 – 108	107 – 109

En este estudio se analizaron los parámetros siguientes:

1. Temperatura: in situ
2. pH: in situ
3. DBO<sub>5</sub>
4. DQO
5. Sólidos suspendidos totales
6. Sólidos sedimentables
7. Sólidos disueltos totales
8. Nitrógeno total
9. Fósforo total
10. Coliformes totales y fecales

### 3.4.2 Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se seleccionaron de acuerdo con la estructura de la planta y de acuerdo con el interés de la evaluación. El objetivo primordial era la evaluación de la eficiencia del humedal artificial, sin embargo, el sistema cuenta con tratamiento primario, el cual no se podía obviar ya que el sistema es un conjunto y no unidades separadas. Por lo anterior se consideró tomar muestras en los siguientes puntos:

- a. **Punto de recolección 1 (PR1): entrada al tratamiento primario o fosa séptica**



Figura 11: Entrada a fosa séptica

- b. **Punto de recolección 2 (PR2): entrada al humedal**



Figura 12: Entrada al humedal

**c. Punto de recolección 3 (PR3): salida del humedal artificial**



**Figura 13: Punto de recolección 3- Agua reutilizada para riego**

### 3.4.3 Número de muestras

Con el propósito de calcular el número de muestras por tomar en cada punto de muestreo, de conformidad con el método 1060: I de los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, se utilizaron las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la ecuación:

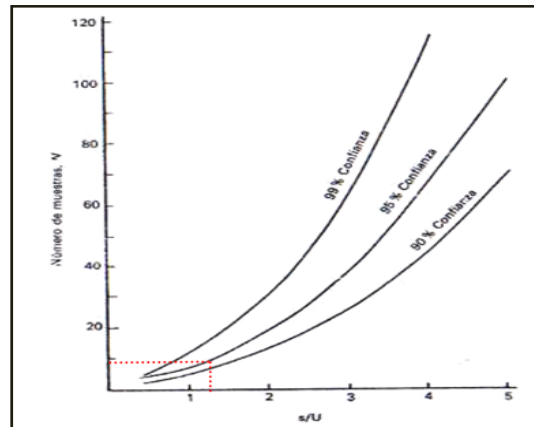


Figura 14: Curvas de niveles de confianza

$N \geq (ts/U)^2$ ; 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 9.0**.

El tipo de 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, durante marzo, abril y mayo. Los análisis de calidad de agua, hechos in situ fueron temperatura y pH.

## **4 MARCO METODOLÓGICO**

La evaluación y sistematización de la operación y mantenimiento del HA de Cementos Progreso, consistió en:

1. Definición del tipo de investigación realizada.
2. Definición del área de estudio.
3. Técnicas para la recopilación de la información.
4. Recopilación de los datos en campo y en laboratorio, aplicando encuestas para indagar sobre el sistema, recolección de información por observación y muestreos in situ.
5. Procesamiento de la información: trabajo de gabinete.
6. Planteamiento y discusión de los resultados.

### **4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Cuando se inicia la metodología de la investigación lo primero que encuentra el investigador es la definición del tipo de investigación que desea realizar. La escogencia del tipo de investigación determinará los pasos por seguir en el estudio, técnicas y métodos que se puedan emplear. En general determina todo el enfoque de la investigación; influye en instrumentos y hasta en la manera de cómo se analizan los datos recaudados. La investigación se puede dividir en dos tipos principales: de campo o de laboratorio, que a su vez, puede clasificarse en cuatro tipos principales:

- a. Estudios exploratorios: también conocido como estudio piloto, son aquellos que se investigan por primera vez o que han sido muy poco investigados. También se emplean para identificar una problemática.
- b. Estudios descriptivos: describen los hechos como son observados.
- c. Estudios correlacionales: estudian las relaciones entre variables dependientes e independientes, ósea se estudia la correlación entre dos variables.

- d. Estudios explicativos: estudios que buscan el porqué de los hechos; establecen relaciones de causa- efecto.

Estos cuatro tipos de investigación se basan en la estrategia de investigación que se emplea, ya que “El diseño, los datos que se recolectan, la manera de obtenerlos, el muestreo y otros componentes del proceso de investigación son distintos en estudios exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos” (Hernández, Fernández & Baptista, 2003, p. 114). No obstante, existen otras maneras de clasificar los tipos de investigación, por ejemplo, se pueden clasificar según la forma de recopilar la información:

- a. La investigación básica: pura o fundamental, amplía los conocimientos teóricos, persigue las generalizaciones con vista al desarrollo de una teoría basada en principios y leyes. Busca nuevos conocimientos y nuevas teorías científicas.
- b. La investigación aplicada: se caracteriza por su interés en aplicar y utilizar los conocimientos producidos, para saber hacer, actuar, construir y modificar.
- c. La investigación documental o bibliográfica: es la que se realiza mediante la consulta de documentos (de todo tipo) con el fin de unificarlos, analizarlos, utilizarlos, perfeccionarlos y sistematizarlos.
- d. La Investigación de campo: directa, es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio (se compila, registran, analizan, interpretan y comprenden los datos).
- e. La investigación mixta: es la que combina la investigación documental y la de campo; es la comprensión del conocimiento científico y la utilización práctica de éste.

La investigación fue tipo mixta consistió en una recopilación y análisis de datos que básicamente fue un complemento entre trabajo de campo y trabajo de gabinete.

## **4.2 TÉCNICAS PARA LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

En esta sección se presenta una descripción de las técnicas utilizadas para la recopilación de la información que básicamente consistieron en libros, tesis, sitios web y entrevistas a personas especialistas del tema.

### **4.2.1 Información de libros**

Se realizó revisión bibliográfica de documentos que apoyaron la elaboración de esta investigación. A continuación se menciona la bibliografía más relevante, la cual puede verse con más detalle en el capítulo 9 de este documento.

- ✓ Metodología de investigación.
- ✓ Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización.  
Volúmenes I y II
- ✓ Métodos normalizados para el tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.
- ✓ Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales.
- ✓ Química para ingeniería ambiental.

### **4.2.2 Tesis**

Las tesis fueron herramientas de gran importancia. En el caso de esta investigación se dispuso de las que se encuentran en la biblioteca central de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), así como en la biblioteca de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS); se tuvo acceso de manera electrónica y físicamente. Documentos que se mencionan en el capítulo 9 de esta investigación.



### **4.2.3 Sitios web**

Por medio de la red se accedió a literatura y fuentes de información primaria y secundaria (libros electrónicos, artículos de revistas científicas, reportajes, entrevistas etc.) respecto al tema de humedales artificiales. Además, a algunos documentos que se desarrollan y se discuten en foros y debates.

### **4.2.4 Entrevistas**

Se aplicó el tipo de entrevista de investigación y/o indagación. Se seleccionó con cautela a las personas entrevistadas (ingenieros involucrados en el tratamiento de aguas residuales) ya que la calidad de la información estuvo directamente relacionada con el conocimiento y experiencia de ellas. Antes de la aplicación de esta técnica fue necesario contar con una guía de temas y preguntas específicas sobre lo que se necesitaba indagar. Para este trabajo, el entrevistador fue siempre el investigador. En el Anexo VI se presenta la encuesta utilizada.

## **4.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN CAMPO Y LABORATORIO**

El trabajo de campo y laboratorio se coordinó directamente con el Jefe de la Unidad Ambiental de Cementos Progresos y el Jefe del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Alba Tabarini Molina” de la ERIS, respectivamente.

Dicho trabajo consistió en visitas técnicas para monitorear las actividades de operación y mantenimiento, así como la toma de muestras para realizar los análisis de calidad de agua en el laboratorio.

La primera visita se realizó en compañía del Gerente de la Unidad de Gestión Ambiente de Cementos Progreso. El día 17 de febrero se viajó a las instalaciones de Sacos del Atlántico ubicadas en el km 127.2, aldea Santa Cruz, Río Hondo,

Zacapa. El mismo día se visitaron las instalaciones de la planta San Miguel (sitio donde se realizó la investigación), con la finalidad de conocer el proceso de operación de la empresa y del sistema de tratamiento de las aguas residuales, así como la presentación formal con las personas encargadas de la PTAR en planta San Miguel y quienes brindaron su apoyo para llevar a cabo esta investigación.

Las siguientes visitas se realizaron los martes en horario de 7:00 -16:00 durante marzo, abril y mayo.

El trabajo de laboratorio consistió en el análisis de calidad de agua tanto del afluente como del efluente del sistema, con el propósito de determinar la eficiencia de la PTAR en cuanto a la remoción de ciertos contaminantes. El trabajo se realizó los miércoles de 8:00-14:00 horas durante marzo, abril y mayo. Cabe mencionar que el procedimiento que se siguió para determinar la cantidad de muestras, los puntos, la recolección, transporte y análisis de las muestras se rigió por lo que establecen los “Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual”.

#### **4.4 TRABAJO DE GABINETE**

Consistió básicamente en el procesamiento de la información obtenida en el campo. Con ayuda de sistemas computacionales, principalmente hojas de cálculo, se realizó la interpretación y el planteamiento de los resultados.

##### **4.4.1 Recolección de datos**

En los anexos se observan los formularios empleados para la recolección de la información pertinente a la operación y mantenimiento del sistema y a la calidad del agua. Asimismo, la metodología para llenar los formularios.

##### **4.4.2 Planteamiento e interpretación de resultados**

Al inicio de la investigación se plantearon objetivos, los cuales se alcanzaron; como se puede observar en la sección de resultados y discusión de resultados, capítulo 5 y 6 respectivamente.

## **5 RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación del sistema, se plantean las actividades de operación y mantenimiento, resultados de los análisis de calidad de agua, eficiencias obtenidas del sistema, medición de caudal, comparación de diseño hidráulico bajo cuatro modelos y por último, los costos de operación y mantenimiento.

### **5.1 ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Para conocer las actividades de operación y mantenimiento del HA de Cementos Progreso, inicialmente se entrevistó a la ingeniera encargada de la Unidad de Gestión Ambiental de la Planta San Miguel, quien proporcionó una lista de dichas actividades, además, se estableció la frecuencia y los responsables de efectuarlas.

Con la finalidad de corroborar dicha información, personalmente se supervisaron las actividades durante el periodo que se realizó esta investigación (marzo, abril y mayo del año 2010). Los martes de 7:00 am-4:00 pm se realizó una serie de registros con la finalidad de evaluar las condiciones actuales del sistema y proponer soluciones a los problemas encontrados.

En la tabla 5 se presenta la lista de actividades referentes a operación y mantenimiento; ésta fue proporcionada por la Unidad de Gestión Ambiental de Cementos Progreso.

**Tabla 5: Lista de actividades de operación y mantenimiento del humedal**

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				
N	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RESPONSIBLE	OBSERVACIÓN
1	Remoción manual de los sólidos gruesos arrastrados o retenidos en cunetas o rejillas.	Semanal	Jefe de Obra Civil	No se pudo verificar.
2	Limpieza del material orgánico sedimentado en el fondo de las cunetas o canales de conducción.	Anual	Jefe de Obra Civil	No se pudo verificar.
3	Verificar y asegurar que las aguas pluviales no sean conducidas a las fosas de sedimentación (fosa séptica).	Semanal	Jefe de Obra Civil	No se pudo verificar.
4	Verificar el funcionamiento del sistema de drenaje.	Antes y después de época lluviosa o periodos de lluvia intensa.	Jefe de Obra Civil	No se pudo verificar.
5	Verificar daños estructurales.	Mensual	Jefe de Obra Civil	No se pudo verificar.
6	Remoción de la nata o material flotante que se forma en las paredes o recámaras de la fosa de sedimentación.	Mensual	Jefe de Obra Civil	No se realiza.
7	Limpieza de la flauta que distribuye el agua a la entrada y canaliza a la salida.	N/D	Agrobosques	No se realiza.
8	Verificar las condiciones o extracción del material orgánico acumulado en el fondo de la fosa de sedimentación.	Anual	Jefe de Obra Civil junto con Jefe de Medio Ambiente	No se pudo verificar.
9	Corte de las plantas que conforman el humedal.	Mensual	Agrobosques	No se realiza en el tiempo estipulado.
10	Elaboración de compost con residuos del humedal	Diario	Agrobosques	No se realiza en el tiempo estipulado.
11	Limpieza del material flotante en la superficie de la laguna.	Quincenal	Agrobosques	No se realiza en el tiempo estipulado.
12	Realizar monitoreo de la calidad del efluente.	Semestral	Medio Ambiente	Sí se realiza
13	Programar coprocesamiento de los sólidos extraídos anualmente por el Jefe de AFR.	Anual	Jefe de AFR	No se pudo verificar
14	Garantizar el flujo continuo de la entrada de agua al humedal diariamente por el jefe de servicios generales	Diario	Jefe de Servicios Generales	Sí se realiza
15	Verificar el funcionamiento óptimo de la bomba y tuberías de extracción de la fosa al humedal.	Quincenal	Jefe de Servicios Generales	Sí se realiza
16	Asegurar la reutilización del agua efluente del humedal y áreas verdes y jardines.	Diario	Jefe de Servicios Generales	Sí se realiza
17	Cambio del lecho filtrante.	N/D	N/D	
18	Limpieza de gaviones.	N/D	N/D	

## 5.2 PROBLEMAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ENCONTRADOS

En la sección anterior se explica brevemente las actividades que se deberían realizar para garantizar el funcionamiento óptimo del HA, así como el de todo el sistema de tratamiento. A continuación se listan los problemas encontrados durante la evaluación.

1. El sistema de tratamiento trabaja por bombeo, debido a que la bomba opera con guarda nivel, el flujo que entra al HA no es continuo y de esta forma crea cortocircuitos.
2. No existe distribución uniforme del flujo en el área de SFS, lo cual crea espacios muertos en el humedal.



Figura 15: Flujo discontinuo en el HA SFS

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



Figura 16: Presencia de lodos digeridos en la caja entrada al humedal

4. 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.
5. Se desconoce el tipo y las características del medio filtrante que compone el HA de SFS, así como las velocidades del flujo a través de él.
6. 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.
7. Actividades rutinarias como el corte del junco y la extracción de los jancitos 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 pueden tener en cuanto a la remoción de contaminantes. Se observó una altura de junco hasta de 5 m.



**Figura 17: Jacinto en etapa de florecimiento y marchitez**



**Figura 18: Juncos en etapa de florecimiento**

8. Cuando se hace la limpieza de los jancitos, 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.



**Figura 19: Jacinto extraído, a la orilla de la laguna**

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



**Figura 20: Tapaderas cerradas y otras en mal estado**

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



**Figura 21: Herramientas a la orilla del humedal**



### **5.3 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Los objetivos principales del manual consisten en la identificación y uniformización de los procedimientos básicos de operación y mantenimiento del humedal artificial y la determinación de los requisitos de seguridad e higiene que se deben reunir para la protección del operador y el ambiente.

El manual fue estructurado en cuatro secciones las cuales se mencionan a continuación.

Conceptos básicos. Responde a estas preguntas: ¿qué origen tienen las aguas residuales?, ¿en qué consiste su tratamiento?, ¿qué agentes realizan el tratamiento?, ¿qué función tiene cada elemento y cuál es su importancia?

Labores de operación y mantenimiento. Responde a las interrogantes: ¿qué hacer?, ¿cuándo?, ¿cómo? y ¿qué herramienta utilizar?; cada ítem se acompaña de diagramas y figuras explicativas.

Seguridad en la planta. Esta sección está dedicada a proporcionarle al operador una lista de las técnicas de prevención de accidentes; además, se establece y describe el equipo de protección personal por utilizar en la planta.

Tu salud. Como en el caso anterior, la salud ocupacional es un aspecto descuidado por los operadores. Por esa razón en esta sección se desarrolla desde tres puntos de vista: medidas de primeros auxilios, higiene personal y controles médicos.

Estas fueron redactadas en forma sencilla y coherente, de manera que su lectura y uso sean fáciles para el operador; además, se incluye una sección de anexos con tablas de medición de caudal y formularios para el registro de las operaciones.

El manual de operación y mantenimiento se adjunta en el Anexo I.

## 5.4 EFICIENCIA DEL SISTEMA

A continuación se presentan los resultados acerca de la eficiencia del sistema. Se observan las concentraciones y los porcentajes de remoción en el sistema en cuanto la DBO<sub>5</sub>, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos; así como la representación gráfica de estos valores.

### 5.4.1 Eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub>

Tabla 6: Eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub>

CONCENTRACIÓN DE DBO <sub>5</sub>							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1 (Mg/ l)	PR 2 (Mg/ l)	PR3 (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

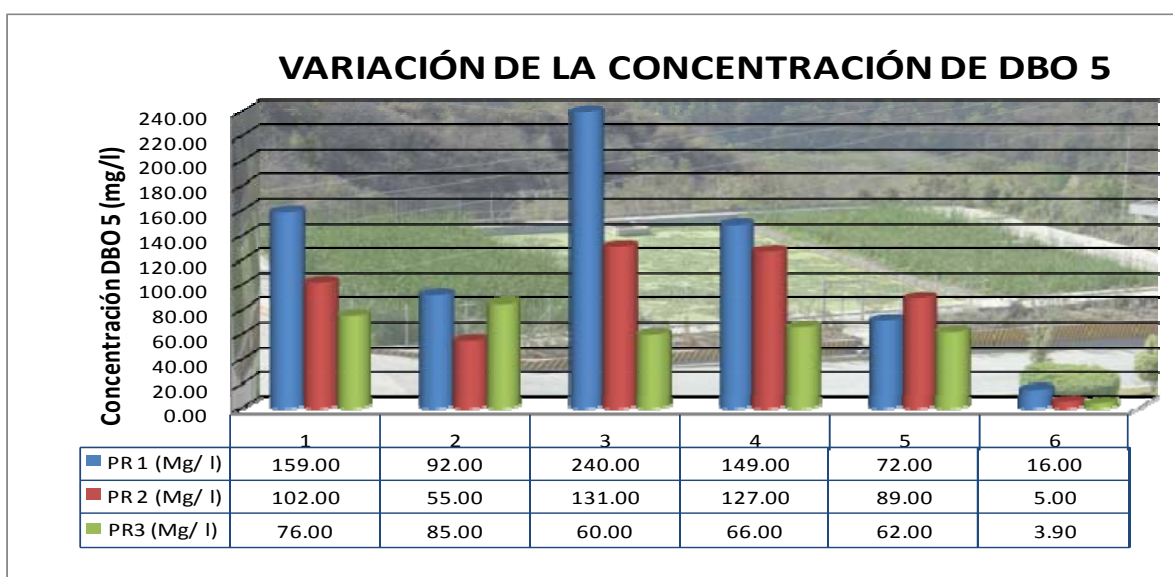


Figura 22: Gráfica de variación de DBO<sub>5</sub>

## 5.4.2 Eficiencia en la remoción de nitrógeno total

Tabla 7: Eficiencia en la remoción de nitrógeno

CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL (Mg/l)							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1	PR 2	PR3	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

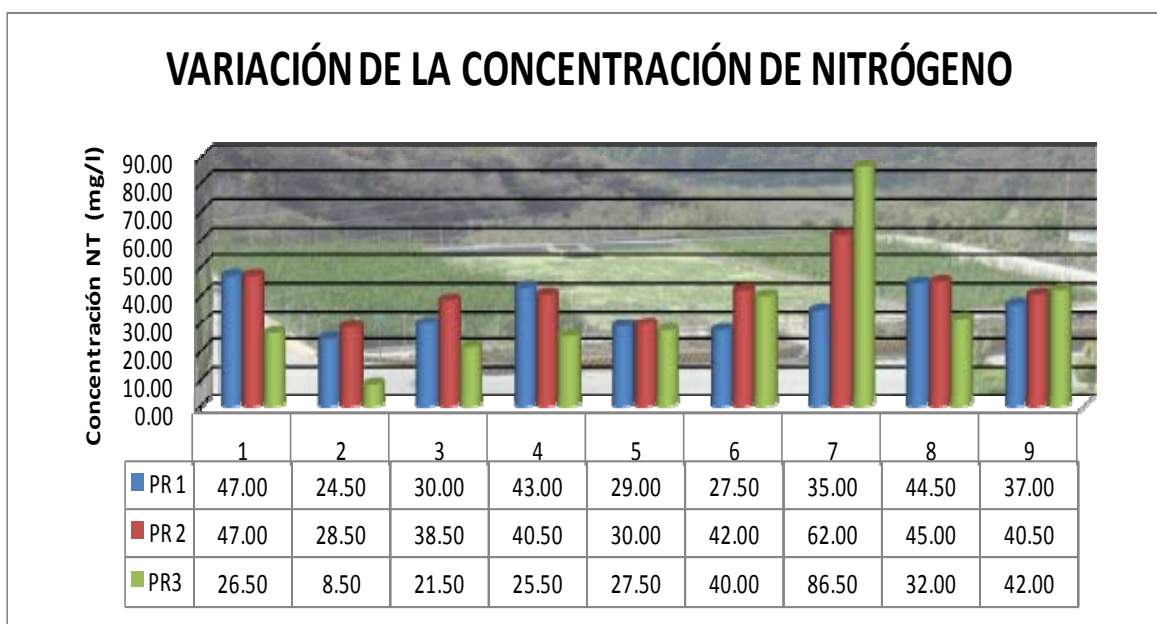


Figura 23: Grafica variación de la concentración de nitrógeno

### 5.4.3 Eficiencia en la remoción de fósforo total

Tabla 8: Eficiencia en la remoción de fósforo

CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL (Mg/l)							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1	PR 2	PR3	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

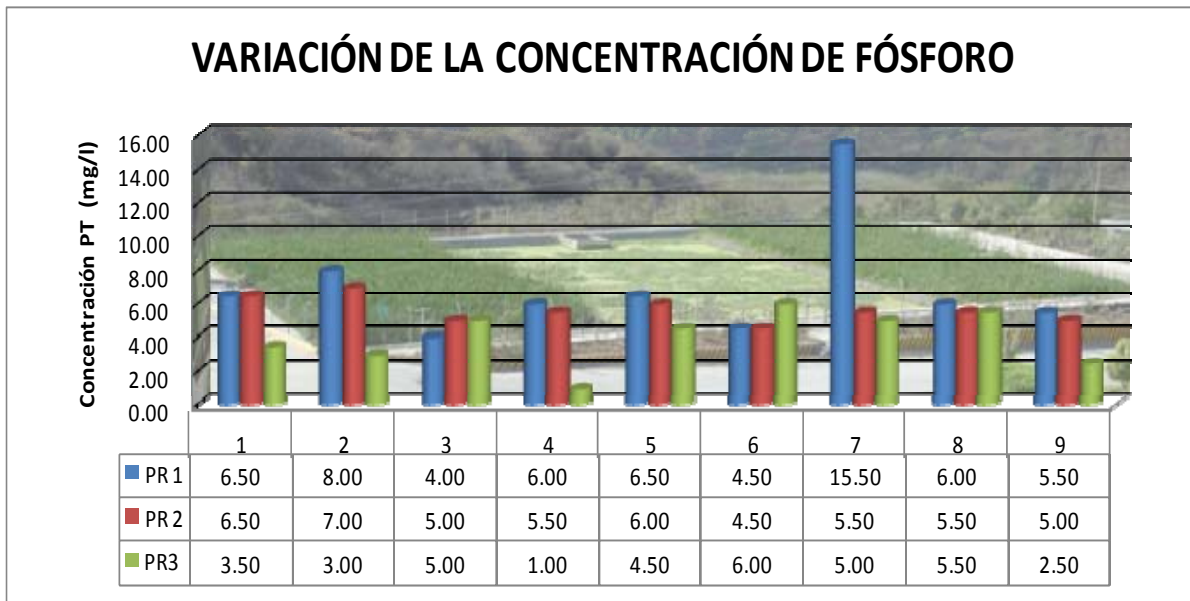


Figura 24: Gráfica de la variación de la concentración de fósforo

## 5.4.4 Eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos

Tabla 9: Eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos

CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS (Mg/l)							
No. Muestra	Fecha de recolección	PR 1	PR 2	PR3	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

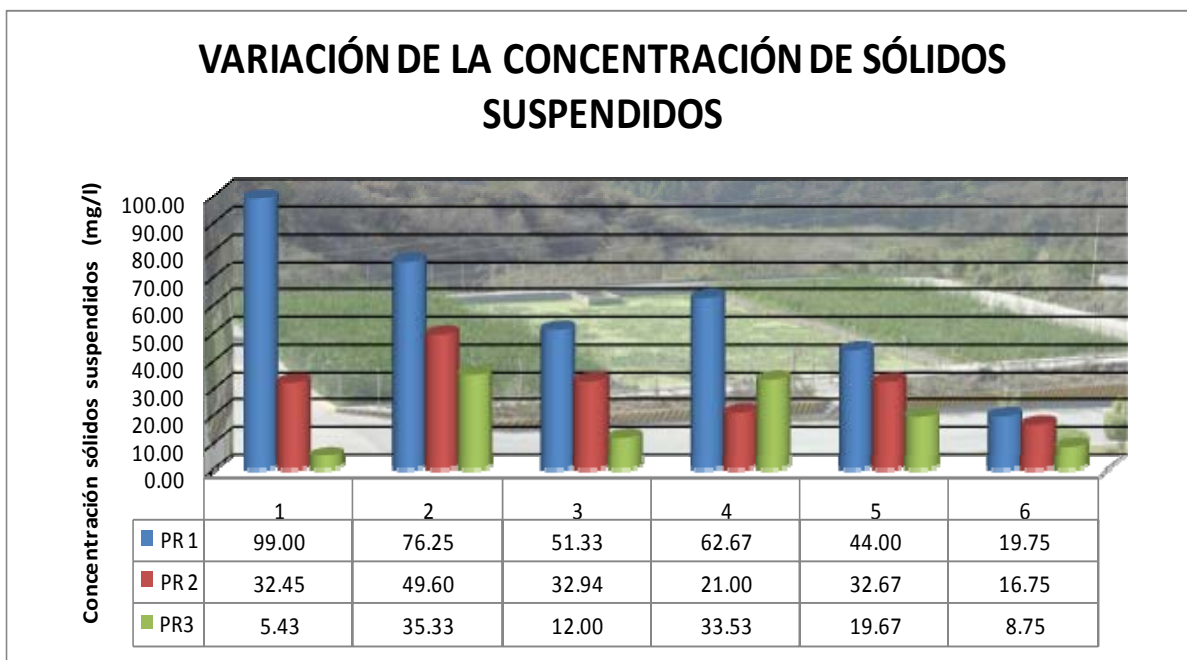


Figura 25: Gráfica de la variación de la concentración de sólidos suspendidos

## 5.5 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES

En las tablas 10, 11 y 12 se presentan los resultados de la caracterización del agua residual hecha en los tres puntos de muestreo. También en el Anexo II, se presentan los mismos firmados y sellados por el responsable del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria de de la ERIS. 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 uno de dicho reglamento.

**Tabla 10: Resultados de la caracterización del agua PR1**

PR1: ENTRADA A LA FOSA SÉPTICA									
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	1	2	3	4
			Valor Inicial**	Etapa 1***					
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 <sup>3</sup> /l.h	-----	-----	-----	0,60	0,30	0,30	3,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<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 <sup>3</sup>	-----	-----	-----	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	20-04-10	12-05-10	19-05-10	21-05-10	25-05-10
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 <sup>3</sup> /l.h	-----	-----	-----	0,50	0,30	0,20	0,10	0,50
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<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 <sup>3</sup>	-----	-----	-----	11,12 E+06	4,80 E+06	110,00 E+06	48,00 E+06	1,00 E +06

**Tabla 11: Resultados de la caracterización del agua PR2**

PR2: ENTRADA AL HUMEDAL									
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	1	2	3	4
			Valor Inicial**	Etapa 1***					
					Re-Uso	09-03-10	16-03-10	06-04-10	14-04-10
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 <sup>3</sup> /l.h	-----	-----	-----	0,10	0,00	0,00	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<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 <sup>3</sup>	-----	-----	-----	<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***						
					Re-Uso	20-04-10	12-05-10	19-05-10	21-05-10	25-05-10
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 <sup>3</sup> /l.h	-----	-----	-----	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<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 <sup>3</sup>	-----	-----	-----	9,80 E+06	54,20 E+06	48,00 E+06	>240,00E+06	9,80 E+06



**Tabla 12: Resultados de la caracterización del agua PR3**

PR3: SALIDA DEL HUMEDAL									
N°	ANÁLISIS	UNIDAD	LMP*		LMP'	1	2	3	4
			Valor Inicial**	Etapa 1***	Re-Usó	09-03-10	16-03-10	06-04-10	14-04-10
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 <sup>3</sup> /l.h	-----	-----	-----	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<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 <sup>3</sup>	-----	-----	-----	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**	Etapa 1***	Re-Usó	20-04-10	12-05-10	19-05-10	21-05-10	25-05-10
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 <sup>3</sup> /l.h	-----	-----	-----	0,20	0,00	0,10	0,10	0,00
11	Coliformes fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<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 <sup>3</sup>	-----	-----	-----	0,38 E+06	1.600 E+03	93,00 E+03	>240,00E+03	21,30 E+04

## 5.6 CAUDAL DE ENTRADA AL HUMEDAL

La medición del caudal fue uno de los factores más limitantes en este estudio, puesto que el sistema trabaja por bombeo y el flujo no es continuo.

Como se explicó en la sección 3.2, el afluente de la fosa de sedimentación llega por gravedad, sin embargo, llega a una caja distribuidora que tiene una profundidad de 6,00 m y la tubería queda sumergida. El efluente de la fosa de sedimentación es bombeado a una caja de 6,00 m que a su vez, envía por gravedad el flujo hacia la entrada del humedal.

Durante el periodo de evaluación, se midió volumétricamente el caudal en la entrada del humedal. Sin embargo, este dato fue impreciso ya que la bomba que envía el agua al HA se activa a cierto nivel (el estipulado por el flote), es decir, éste guarda el nivel de la bomba para crear así una protección a la operación en seco de la misma. Otro inconveniente es que se desconoce el nivel del flote así como los tiempos a los que se activaba la bomba en un día. Por lo tanto el caudal que se midió volumétricamente sólo representa al caudal de bombeo durante la bomba estaba en funcionamiento. Por todo lo anterior se decidió colocar en la entrada del humedal un medidor automático de flujo que permitiera tomar un registro del caudal medio diario y máximo que entra al HA.

El medidor instalado es de la marca ISCO modelo 4250, éste realiza las medidas de caudal por sistema área-velocidad, la medida de la altura la realiza con transductor de presión y la medida de velocidad promedio, por tecnología Doppler. Este equipo es adecuado para medidas de caudal sin necesidad de aforos como canales y vertederos ni estimación de rugosidad y pendiente del canal. Además, permite ver flujos reversos.

La tabla 13 muestra los resultados de la medición. Las graficas de variación de la velocidad y el nivel del flujo en la tubería se presentan en el Anexo III, así como las especificaciones técnicas y el costo del equipo.

Tabla 13: Resultados de la medición del caudal

DATOS OBTENIDOS DEL MEDIDOR AUTOMATICO				
DESCRIPCIÓN		UNIDADES		OBSERVACIONES
CAUDAL		gal/min	l/s	Horas de Medición
	Promedio	17,80	1,12	
	Máximo	39,00	2,46	21:15-21:45
	Mínimo	0,00	0,00	<b>1er día</b> (10:45, 15:30,17:15, 19:00,19:45, 23:15). <b>2do día</b> (1:00,1:45, 2:45,3:30, 3:45, 4:30, 5:15, 5:30, 6:15, 7:00, 8:00,8:45).
NIVEL		Pulgadas	cm	
	Promedio	1,17	2,97	
	Máximo	2,73	6,93	10:30
	Mínimo	0,00	0,00	<b>1er día</b> (10:45, 12:00,13:00, 13:45,14:45,15:30,16:30,17:15, 18:15,19:00,19:45, 23:15). <b>2do día</b> (0:00,1:00,1:45, 2:30, 2:45, 2:45,3:30,3:45,4:30, 5:15 5:30,6:15, 7:00, 8:00, 8:45).
VELOCIDAD (m/s)	Promedio	0,30		
	Máximo	0,62		21:37
	Mínimo	0,00		<b>1er día</b> (17:15,19:00,19:45, 23:15). <b>2do día</b> (1:00,1:45,2:45,3:30, 3:45, 4:30,5:15,5:30,6:15,7:00, 8:00, 8:45).

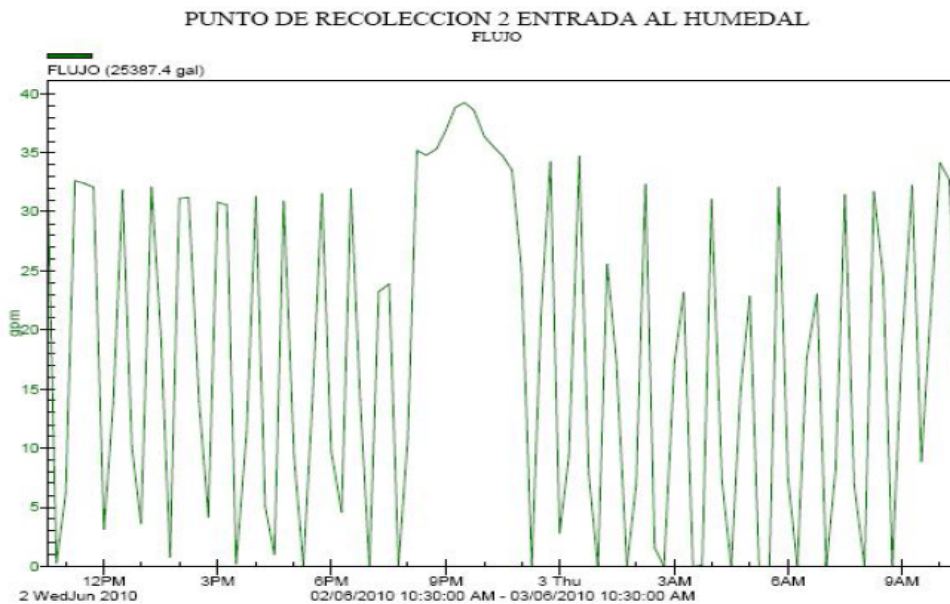


Figura 26: Gráfica de la variación de caudal

Además de la medición automática, se realizó el cálculo del caudal por medio de la población equivalente, el cual se puede observar en la tabla 14.

**Tabla 14: Caudal por población equivalente**

<b>ESTIMACIÓN DEL CAUDAL</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
Población (P)	726,00	Colaboradores
Dotación (Dot)	200,00	lppd
Factor de retorno (FR)	0,75	
Factor de Harmon $FH = 1 + ((14)/(4 + \sqrt{(P/1000)}))$	3,89	
Caudal medio diario ( $Q_{dmd} = \text{Dot. Hab. FR} / 86400$ )	1,26	l/s
Caudal máximo horario ( $Q_{maxH} = Q_{dmd} \cdot FH$ )	4,90	l/s

## 5.7 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL DEL HUMEDAL

Los modelos de diseño de humedales artificiales han estado disponibles en publicaciones desde finales de la década de 1980. Trabajos de finales de la década de 1990 han sido compilados en tres libros de texto que presentan modelos de diseño de humedales. (Reed, et al 1995, Kadlec & Knight 1996, Crites & Tchobanoglous, 1998).

En los tres casos los modelos se basan en reacciones cinéticas de primer orden para flujo en pistón, pero los resultados no siempre concuerdan debido a las selecciones de desarrollo adoptados por cada autor, y a que no se utilizaron las mismas bases de datos para la derivación de los modelos. La organización *Water Environment Federation* (WEF) presenta una comparación de las tres metodologías en el Manual de práctica para sistemas naturales (*Manual of Practice on Natural Systems*, WEF, 2000), lo mismo que en el manual de diseño de sistemas de humedales de la U.S. EPA.

Las ecuaciones empleadas en este estudio son las que presenta Lara Borrero, J. (1999) en su investigación titulada “Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales” que a su vez, son una recopilación de los modelos de diseño de Sherwood C. Reed en su libro *Natural Systems for Waste Management and Treatment*.

El diseño del humedal se realizó con las condiciones actuales en cuanto a cantidad y calidad de agua. Los cálculos se basan en modelos para remoción de DBO, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo, así como las consideraciones de tipo hidráulico y térmico.

Se tomó la decisión de emplear estos modelos por considerar que son los más completos y acordes con los objetivos de esta investigación.

Para realizar el diseño se consideraron las concentraciones medias encontradas en los análisis de calidad de agua respecto a la DBO<sub>5</sub>, NT, FT, y SST. También se consideraron las condiciones físicas actuales del sistema (profundidad del HA). Los factores que dependen del medio filtrante fueron valores tomados de características típicas recomendadas por Lara Borrero (1999) por no disponer de esta información en el HA estudiado.

Otros de los aspectos asumidos para realizar el diseño y que la comparación fuera lo más exacta posible, fue considerar el sistema tal y como se encuentra en la actualidad, es decir, como se mostró en la Figura 10 (dos secciones de SFS y una sección intermedia de FWS).

1. Para la modelación de la remoción de la DBO<sub>5</sub>, se realizó con la concentración media determinada la cual fue de 84,83 mg/l. Por efectos de cálculo este valor se consideró del 85,00 mg/l. Se asumió que en la sección del SFS se tendría una eficiencia del 80%, este valor bajó a 17,00 mg/l. Posteriormente en la sección del flujo FWS se asumió una eficiencia del 30% bajando la concentración a 12,00 mg/l. De esta forma se tendría una eficiencia total del sistema en cuanto a la remoción de DBO<sub>5</sub> del 85%.
2. La concentración media de nitrógeno encontrada fue de 41,56 mg/l, este valor se tomó de 42 mg/l. En la sección de SFS la eficiencia se asumió del 50% bajando la concentración a 21,00 mg/l. En la sección de FWS la eficiencia asumida fue del 70% bajando la concentración a 6,30 mg/l, para obtener una eficiencia total del sistema del 85%.
3. Para el fósforo, la concentración inicial encontrada fue de 5,61 y se asumió un valor de 6,00 mg/l. La eficiencia asumida en la primera sección fue de 40% bajando el valor a 3,60 mg/l. En la sección de FWS la eficiencia asumida fue del 20% bajando la concentración a 2,88 mg/l y de esta forma se obtuvo una eficiencia total del sistema del 50%.

## 5.7.1 Modelo para la remoción DBO<sub>5</sub>

Tabla 15: Dimensionamiento del HA de SFS para la remoción de DBO<sub>5</sub>

DATOS DE DISEÑO				
FLUJO SUB-SUPERFICIAL (SFS)				
1	DBO de entrada (Ce)	85,00	mg/l	
2	DBO de salida (Cs) (asumiendo 80% de Efic)	17,00	mg/l	
3	Caudal (Q)	100,00	m <sup>3</sup> /d	
4	Diámetro del medio filtrante (Ø)	25,00	mm	
5	Porosidad del humedal (n)	0,38		
6	Constante de temperatura	25.000,00	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . d	
7	Profundidad del humedal (SFS) Y	0,65	m	
8	Temperatura crítica de invierno aire (Ta)	16,00	°C	
9	Temperatura de agua en la entrada (To)	28,00	°C	
10	K <sub>20</sub> para humedales de SFS =	1,10	d <sup>-1</sup>	
11	Conductividad de capas: vegetal K <sub>(1-n)</sub> =	0,05	W / m. °C	
12	Conductividad de capas: grava K <sub>(2-n)</sub> =	1,50	W / m. °C	
13	Conductividad de capas: grava Sat K <sub>(3-n)</sub> =	2,00	W / m. °C	
14	Espesor de las capas: vegetal Y <sub>(1-n)</sub> =	0,15	m	
15	Espesor de las capas: grava Y <sub>(2-n)</sub> =	0,50	m	
16	Factor de conversión (δ)	86.400,00	s/d	
17	Densidad del agua (ρ)	1.000,00	kg/m <sup>3</sup>	
18	Calor específico del agua (Cp)	4.215,00	J/ kg. °C	
19	Pendiente del fondo del lecho , %, en decimales (m) SFS	0,05		
DIMENSIONAMIENTO CON CONDICIONES HIDRÁULICAS				
HUMEDAL DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL (SFS)				
Nº	DESCRIPCIÓN	ECUACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
1	Corrección de Temperatura			
	Asumiendo T de diseño del H. SFS	T asum =	15,00	°C
	Entonces K <sub>15</sub> =	KT = K <sub>20</sub> (1,06) <sup>(T-20)</sup>	0,82	d <sup>-1</sup>
2	Área Superficial Requerida para SFS	As = Q(LnCe-Ln Cs)/(K. y. n)	789,84	m <sup>2</sup>
3	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	TRH = (As .y.n)/Q	1,95	d
4	Coefficiente de transferencia de calor (U)	U= (1) / ((y <sub>1</sub> /k <sub>1</sub> )+(y <sub>2</sub> /k <sub>2</sub> )+ (y <sub>3</sub> /k <sub>2</sub> ))	0,27	
5	Energía perdida vía conductividad q <sub>L</sub>	q <sub>L</sub> = (To-Ta). U. δ. As. TRH	436700.532,93	J
6	Energía Ganada por el Agua q <sub>G</sub>	q <sub>G</sub> = Cp. ρ. As. Y. n	822303.349,69	
7	Cambio de Temperatura en el humedal (T <sub>c</sub> )	Tc = q <sub>L</sub> / q <sub>G</sub>	0,53	°C
8	Temperatura del Efluente (Te)	Te= To-Tc	27,47	°C
9	Temperatura promedio del agua (Tw)	Tw= (To + Te)/2	27,73	°C
10	Cumple o No con la T asumida de diseño	Tasum = Tw	Cumple	

**Tabla 16: Dimensionamiento del HA de FWS para la remoción de DBO<sub>5</sub>**

DATOS DE DISEÑO				
HUMEDAL FLUJO LIBRE (FWS)				
1	DBO de entrada (Ce)	17,00	mg/l	
2	DBO de salida (Cs) (asumiendo 30% de Efic)	11,90	mg/l	
3	Caudal (Q)	100,00	m <sup>3</sup> /d	
4	Población (P)		hab	
5	Diámetro del medio filtrante (Ø)	25,00	mm	
6	Constante de temperatura	25.000,00	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . d	
7	Profundidad del humedal (FWS)			
8	Invierno (Y)	1,50	m	
9	Verano (Y)	1,00	m	
10	Porosidad del humedal (FWS) (n)	0,65	m	
11	Temperatura crítica de invierno aire (Ta)	16,00	°C	
12	Temperatura de agua en la entrada (To)	28,00	°C	
13	K <sub>20</sub> para humedales de FWS =	0,68	d <sup>-1</sup>	
14	Factor de conversión (δ)	86.400,00	s/d	
15	Densidad del agua (ρ)	1.000,00	kg/m <sup>3</sup>	
16	Calor específico del agua (Cp)	4.215,00	J/ kg. °C	
17	Pendiente del fondo del lecho , %, en decimales (m)	0,05		
18	Factor de resistencia a, para ecuación manning	6		

DIMENSIONAMIENTO CON CONDICIONES HIDRÁULICAS				
HUMEDAL DE FLUJO LIBRE (FWS)				
N°	DESCRIPCIÓN	ECUACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
1	Corrección de temperatura			
	Asumiendo T de diseño del H. SFS	T asum =	15,00	°C
	Entonces K <sub>8</sub> =	$KT = K_{20} (1,06)^{(T-20)}$	0,51	d <sup>-1</sup>
2	Área superficial requerida para SFS	$As = Q(\ln Ce - \ln Cs)/(K. y. n)$	72,21	m <sup>2</sup>
3	Tiempo de retención hidráulica (TRH)	$TRH = (As .y.n)/Q$	0,70	d



## 5.7.2 Modelo para la remoción sólidos suspendidos

Tabla 17: Dimensionamiento del HA para la remoción de sólidos suspendidos

DISEÑO DE HUMEDAL PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS				
DATOS DE DISEÑO				
1	Sólidos suspendidos totales en afluente (SST) (Co)	30,00		mg/l
2	Caudal (Q)	100,00		m <sup>3</sup> /d
3	Área superficial requerida para SFS	789,84		m <sup>2</sup>
4	Área superficial requerida para FWS	72,21		m <sup>2</sup>
DIMENSIONAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
N°	DESCRIPCIÓN	ECUACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
HUMEDAL DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL (SFS)				
1	Carga hidráulica (CH)	$CH = (Q/As) \cdot 100$	12,66	cm/d
2	Sólidos suspendidos totales del efluente (Ce)	$Ce = Co (0,1058 + 0,0014 \cdot CH)$	3,71	mg/l
HUMEDAL DE FLUJO LIBRE (FWS)				
1	Carga hidráulica (CH)	$CH = (Q/As) \cdot 100$	138,49	cm/d
2	Sólidos suspendidos totales del efluente (Ce)	$Ce = Co ((0,1139 + 0,00213 \cdot (CH)))$	12,27	mg/l
El cálculo anterior es solamente una estimación, dado que no es un factor limitante para el diseño, pero sirve para comprobar los buenos rendimientos del sistema cercanos al 90%.				

### 5.7.3 Modelo para la remoción de nitrógeno

Tabla 18: Dimensionamiento del HA para la remoción de nitrógeno total

DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL PARA LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO			
DATOS DE DISEÑO			
1	Concentración de amoníaco en el afluente (SFS) ( $C_o$ )	42,00	mg/l
2	Concentración de nitrógeno en el efluente (SFS) ( $C_e$ ) (asumiendo 50% Efic)	21,00	mg/l
3	Concentración de amoníaco en el efluente (FWS) ( $C_o$ )	21,00	mg/l
4	Concentración de nitrógeno en el afluente (FWS) ( $C_e$ ) (asumiendo 70% Efic)	6,30	mg/l
5	Constante dependiente de la temperatura ( $K_T$ )	130,00	
	$(K_T) \text{ a } 0 \text{ }^\circ\text{C}$	0,00	$d^{-1}$
	$(K_T) \text{ 1-10 }^\circ\text{C} = 0,1367 \cdot (1,15)^{(T-10)}$		$d^{-1}$
	$(K_T) > 10 \text{ }^\circ\text{C} = 0,2187 \cdot (1,048)^{(T-20)}$	0,22	$d^{-1}$
6	Caudal (Q)	100,00	$m^3/d$
7	Porosidad del humedal (n) SFS	0,38	
8	Porosidad del humedal (n) (0,65-0,75) FWS	0,65	
9	Profundidad del humedal (SFS) Y	0,65	m
10	Profundidad del humedal (FWS) Y	1,12	

DIMENSIONAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO TOTAL				
N°	DESCRIPCIÓN	ECUACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
<b>HUMEDAL DE FLUJO LIBRE (FWS)</b>				
1	Área requerida para la nitrificación	$As = (Q \cdot \ln(Co/Ce))/(K \cdot y \cdot n)$	755,60	m <sup>2</sup>
2	Tiempo de retención hidráulica (TRH)	$TRH = (As \cdot y \cdot n)/Q$	5,51	d
3	Nitratos del humedal	$Nitratos Hu = (Co - Ce) =$	21,00	mg/l
4	Concentración de nitratos en el efluente (Ce)	$Ce' = Co \exp(-Kt \cdot TRH)$	0,085	
5	Nitrógeno total	$NT = Ce + Ce'$	42,01	mg/l
<b>HUMEDAL DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL (SFS)</b>				
1	Porcentaje de profundidad del lecho del humedal ocupado en la zona de las raíces, como fracción decimal			
	Constante dependiente de la temperatura ( $K_{NH} (RZ)$ )	$K_{NH} (50\%) = 0,01854 + 0,3922 (Kz)^2$	0,08	d <sup>-1</sup>
	Constante Dependiente de la Temperatura ( $K_{NH} (RZ)$ )	$K_{NH} (100\%) = 0,01854 + 0,3922 (Kz)^2$	0,41	d <sup>-1</sup>
2	Area requerida para la nitrificación en el humedal			
	As para el RZ del 50%	$As = (Q \cdot \ln(Co/Ce))/(K \cdot y \cdot n)$	3.385,75	m <sup>2</sup>
	TRH para el 50%	$TRH = (As \cdot y \cdot n)/Q$	8,36	d
	As para el RZ del 100%	$As = (Q \cdot \ln(Co/Ce))/(K \cdot y \cdot n)$	683,22	m <sup>2</sup>
	TRH para el 100%	$TRH = (As \cdot y \cdot n)/Q$	1,69	d
3	Determinación de la concentración de Nitratos del Efluente			
	Ce' para 50%	$Ce' = Co \exp(Kt \cdot TRH)$	0,005	
	Ce' para 100%	$Ce' = Co \exp(-Kt \cdot TRH)$	3,884	
4	Nitrogeno Total del efluente			
	NT para 50%	$NT = Ce + Ce'$	42,01	
	NT para 100%	$NT = Ce + Ce'$	45,88	OK

## 5.7.4 Modelo para la remoción de fósforo

Tabla 19: Dimensionamiento del HA para la remoción de fósforo total

DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL				
DATOS DE DISEÑO				
1	Concentración de fósforo en el efluente (Co) (SFS)	6,00	mg/l	
2	Concentración de fósforo en el afluente (Ce) (SFS)	3,60	mg/l	
3	Concentración de fósforo en el afluente (Ce) (FWS)	2,88	mg/l	
3	Caudal (Q)	100,00	m <sup>3</sup> /d	
4	Área superficial requerida para SFS	683,22	m <sup>2</sup>	
5	Área superficial requerida para FWS	755,60	m <sup>2</sup>	
6	Constante de primer orden para la remoción de F	-2,74	cm/d	
7	Factor de conversión b	100,00	cm/m	
DIMENSIONAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
N°	DESCRIPCIÓN	ECUACIONES	CANTIDAD	UNIDAD
HUMEDAL DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL (SFS)				
1	Carga hidráulica para eliminar fósforo (CH)	$CH = (Q/As) \cdot 100$	14,64	cm/d
2	Concentración de fósforo en el efluente (Ce')	$Ce' = Co \cdot \exp(-Kp/CH)$	2,99	mg/l
3	Área superficial requerida para SFS	$As' = [b \cdot Q(\ln Co/Ce)]/Kp$	1.864,33	m <sup>2</sup>
HUMEDAL DE FLUJO LIBRE (FWS)				
1	Carga hidráulica (CH)	$CH = (Q/As) \cdot 100$	13,23	cm/d
2	Concentración de fósforo en el efluente (Ce')	$Ce' = Co \cdot \exp(-Kp/CH)$	2,93	mg/l

La tabla 20 es un resumen de las áreas superficiales requeridas en condiciones ideales (eficiencias esperadas), se considera que el HA de SFS y FWA trabajan en conjunto; por lo tanto las eficiencias de remoción son compartidas. El cálculo con las condiciones máximas se omite porque como se ve en la tabla 20, el humedal no cumple con las condiciones medias.

**Tabla 20: Resumen de las áreas requeridas para los distintos modelos**

DISEÑO BAJO EL CUAL SE CONSTRUYÓ (CONCENTRACIÓN MEDIA)						
DBO de entrada (Ce)	152,00	mg/l				
Concentración de nitrógeno en la entrada (mg/l)	32,00	mg/l				
Concentración de fósforo en la entrada (mg/l)	6,5	mg/l				
Caudal	162,00	(m <sup>3</sup> /d)				
	<b>SFS</b>	<b>FWS</b>				
Área del sistema (m <sup>2</sup> )	780,00	390,00				
Área total del sistema (m <sup>2</sup> )	<b>1.170,00</b>					
DISEÑO CON LAS CONCENTRACIONES PROMEDIOS Y CAUDAL MEDIO DIARO						
CARACTERÍSTICAS	Modelo para la remoción de DBO		Modelo para la remoción de nitrógeno		Modelo para la remoción de fósforo	
	SFS	FWS	SFS	FWS	SFS	FWS
Temperatura del agua en la entrada (°C)	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00
Temperatura Ambiente Critica (°C)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Caudal (m <sup>3</sup> /d)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Concentración afluente (Co) (mg/l)	85,00	17,00	42,00	21,00	6,00	6,00
Concentración efluente (Ce) (mg/l)	17,00	11,90	21,00	6,30	3,60	2,88
Área superficial (m <sup>2</sup> )	<b>789,84</b>	72,21	683,22	<b>755,60</b>	1.864,33	
Área superficial ideal (m <sup>2</sup> ) (SFS <sub>DBO</sub> + FWS <sub>N</sub> ) (m2)	<b>1.545,44</b>					

El cálculo del área superficial ideal requerida se obtuvo mediante la suma de las áreas máximas en cuanto a la remoción de DBO y NT. No se considera el área que resulta de la modelación para la remoción de FT puesto que el valor siempre será mayor y no resulta económico.

## 5.8 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 21: Costos operación y mantenimiento

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO						
N	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD ANUAL	COSTO UNITARIO (Q.)	SUB-TOTAL (Q.)	TOTAL DE COSTOS (Q.)
<b>1</b>	<b>PERSONAL</b>					
	Operador		13,00	2.220,00	28.860,00	
	Supervisor		13,00	9.000,00	117.000,00	
	<b>COSTO TOTAL DE SALARIO</b>					<b>145.860,00</b>
<b>2</b>	<b>EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)</b>					
	Guantes de hule (50 pares)	Caja	4,00	60,00	240,00	
	Máscaras faciales (50 unidades)	Caja	4,00	70,00	280,00	
	Cinturón	Unidad	1,00	150,00	150,00	
	Alcohol desinfectante en gel	Bote (115 g)	5,00	15,00	75,00	
	Casco	Unidad	1,00	80,00	80,00	
	<b>COSTO TOTAL DE EPP</b>					<b>825,00</b>
<b>3</b>	<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPO (H&amp;E)</b>					
	Machete	Unidad	2,00	60,00	120,00	
	Rastrillo metálico	Unidad	2,00	75,00	150,00	
	Rastrillo plástico	Unidad	1,00	75,00	75,00	
	Colador	Unidad	1,00	200,00	200,00	
	Pala	Unidad	1,00	80,00	80,00	
	Carretilla	Unidad	2,00	250,00	500,00	
	Recipiente de basura	Unidad	2,00	200,00	400,00	
	Escoba	Unidad	1,00	55,00	55,00	
	Pintura de aceite	Galón	1,00	140,00	140,00	
	Pintura anticorrosiva	Galón	2,00	150,00	300,00	
	Solvente para pintura	Galón	1,00	60,00	60,00	
	Brocha de 4"	Unidad	4,00	19,00	76,00	
	<b>COSTO TOTAL DE (H&amp;E)</b>					<b>2.156,00</b>
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPO DE BOMBEO (MEB)</b>					
	<b>Bomba Sta-Rite de 5HP / 460V (Incluye las siguientes actividades)</b>				15.800,00	
	Cambio de sello mecánico (trimestral)					
	Cambio de cojinetes bomba-motor (semestral)					

	Mantenimiento de motor. (anual)						
	Cambio de kit de empaques. (trimestral)						
	Pruebas de funcionamiento.						
	Desmontaje y reinstalación de equipo.						
	Mantenimiento de controles eléctricos (trimestral)						
	<b>Bomba-motor Myers de 3HP / 460V (Incluye las siguientes actividades)</b>				20.900,00		
	Cambio de sello mecánico (trimestral)						
	Cambio de cojinetes bomba-motor (semestral)						
	Mantenimiento de motor (anual)						
	Cambio de aceite dieléctrico (trimestral)						
	Cambio de kit de empaques (trimestral)						
	Pruebas de funcionamiento.						
	Desmontaje y reinstalación de equipo.						
	Mantenimiento de controles eléctricos (trimestral)						
	<b>COSTO TOTAL DE (MEB)</b>					<b>36.700,00</b>	
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA (ACA)</b>						
	PR1:Entrada a la F.S		2,00	1.500,00	3.000,00		
	PR2:Entrada al HA		2,00	1.500,00	3.000,00		
	PR3:Salida del HA		2,00	1.500,00	3.000,00		
	<b>COSTO TOTAL DE (ACA)</b>					<b>9.000,00</b>	
<b>6</b>	<b>MATERIAL PARA REPARACIONES (RM)</b>						
	Cementos	Bolsa	1,00	65,00	65,00		
	Arena	M <sup>3</sup>	1,00	100,00	100,00		
	Tubería de PVC Ø 3"	Lance	1,00	205,00	205,00		
	Pegamento para PVC	Galón	1,00	300,00	300,00		
	<b>COSTO TOTAL DE (RM)</b>					<b>670,00</b>	
<b>7</b>	<b>BOTIQUÍN DE EMERGENCIA (BH)</b>						
	Gasas	Caja	1,00	25,00	25,00		
	Alcohol Desinfectante	Bote (8 oz.)	1,00	15,00	15,00		
	Curas	Caja	1,00	10,00	10,00		

	Algodón	Bolsa	2,00	10,00	20,00		
	Acetaminofén	Caja	1,00	30,00	30,00		
	Esparadrapo	Unidad	1,00	5,00	5,00		
	agua oxigenada	Bote (8 oz.)	1,00	15,00	15,00		
	<b>COSTO TOTAL DE (BE)</b>					<b>120,00</b>	
<b>8</b>	<b>REVISIÓN MÉDICA DEL OPERADOR (RMO)</b>						
	Examen hemograma completo	Unidad	1,00	85,00	85,00		
	Examen de orina	Unidad	1,00	50,00	50,00		
	Examen de heces	Unidad	2,00	45,00	90,00		
	Hepatitis A	Vacuna	1,00	1.200,00	1.200,00		
	Hepatitis B	Vacuna	1,00	780,00	780,00		
	Toxoide tetánico	Ampolla	1,00	555,00	555,00		
	<b>COSTO TOTAL DE (RMO)</b>					<b>2.760,00</b>	
	<b>TOTAL</b>					<b>198.091,00</b>	

**Nota:**

- ✓ El tipo de cambio utilizado fue el equivalente \$1.00 = Q. 7,95
- ✓ En el Anexo IV se presenta la cotización del mantenimiento del equipo de bombeo.
- ✓ En el Anexo V se presenta la cotización de los análisis de calidad de agua.



## **6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se discuten e interpretan los resultados obtenidos durante el periodo que duró la evaluación.

### **6.1 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Las actividades de operación y mantenimiento de HA 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. Los objetivos de la O&M consisten en garantizar el funcionamiento óptimo de la planta.

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.

### **6.2 EFICIENCIA**

Diferentes bibliografías mencionan que los HA pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles de patógenos y en menor escala, el fósforo.

Para realizar la evaluación de la calidad de agua del HA de Cementos Progreso, se consideraron los parámetros mencionados, se tomaron muestras en los puntos de recolección 1, 2 y 3, los cuales indicaron la eficiencia de la fosa de sedimentación, del humedal y la eficiencia total del sistema.

La eficiencia se obtuvo mediante la diferencia entre la concentración de entrada y salida de contaminante, dividido entre la concentración de entrada.

En las tablas 6 a la 9 se presentaron los resultados respecto a la eficiencia de la DBO, NT, FT y SST respectivamente. En ellas se puede observar que:

1. La eficiencia promedio de la remoción de la DBO 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 HA sugieren que estos tienen la capacidad de remoción hasta de 85%.
2. 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 HA 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.
3. 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 SFS.
4. 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 HA la remoción de sólidos suspendidos alcanza valores hasta del 90%.

### **6.3 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES Y REGLAMENTO 236-2006**

En las tablas 10, 11 y 12 se presentaron los resultados de los análisis de temperatura, pH, DBO, DQO, NT, FT, SST, SDT, SS, coliformes fecales y totales de los PR1, PR2 Y PR3 respectivamente.

Los valores que se discuten son comparados con los 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.

1. 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.
2. Potencial de hidrógeno (pH): todos los valores obtenidos del pH en los PR1, PR2 y PR3 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.
3. 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 el PR3. Las concentraciones del efluente del HA están por debajo del LMP del agua para re-uso.
4. 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 domesticas.

5. Nitrógeno total: como se observa en las tablas 10, 11 y 12 de resultados para el PR1, PR2 y PR3 respectivamente están por debajo del LMP en la etapa actual así como en la etapa 1. De continuar su tendencia en los resultados del PR3, podrían estar cumpliendo el reglamento hasta finalizar la etapa 3 (2 mayo del año 2020) ya que el LMP es de 50 mg/l.
6. Fósforo total: en el caso del fósforo las concentraciones encontradas en los PR1, PR2 y PR3 todos 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.
7. 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.
8. Sólidos sedimentables: el valor promedio de los sólidos sedimentables en el PR1:  $0,65 \text{ cm}^3/\text{l.h}$ .
9. Coliformes fecales: en el caso de los coliformes fecales los resultados fueron muy variados; en la actualidad se estaría cumpliendo la norma, pero ya el Etapa 1, los valores están por arriba de los LMP. Asimismo, los valores del PR3 no cumplen para reutilizar el efluente.

## 6.4 MEDICIÓN DE CAUDAL

En la tabla 13 y 14 se muestran los resultados de la medición del caudal con un equipo automático. Estos datos representan el caudal promedio y máximo medido en el día que se instaló el equipo.

La medición solo se pudo efectar en el PR2, ya que por las condiciones estructurales del PR1, la medición de caudal es limitante.

El medidor automático registró que el caudal máximo fue de 39 gal/min equivalentes a 2,46 l/s en el período de 21:15 a 21:45. Se desconoce la causa que originó que a esta hora se diera el pico máximo. También registró que el caudal medio diario fue de 17,80 gal/min equivalentes a 1,12 l/s. Las mediciones mínimas (que tienen registros con valor de cero) son porque a esa hora el dispositivo no registró la entrada de flujo (tiempo de reposo de la bomba). En el tiempo que el flujo es continuo provoca condiciones de inundación y crea problemas en las condiciones normales con las que debería funcionar el HA. Este hecho tiene mayor relevancia en el HA de SFS que debe presentar condiciones de saturación, pero no de inundación.

Como se observa en la tabla 14, el valor calculado de caudal medio diario por población equivalente fue de 1,26 l/s, el cual es similar al determinado por el medidor automático. Sin embargo, en caudal máximo diario sí presentan mayor diferencia debido a que en el caudal calculado por población equivalente se emplea el factor de retorno el cual es un valor sugerido por las bibliografías de aguas residuales cuando no se cuenta con información de la cantidad exacta de agua residual por tratar.

## **6.5 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ACTUAL RESPECTO A LA CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA**

En las tablas 15 a 19 se presentaron los modelos de diseño del HA, tratando de que fueran lo más cercano a la realidad. Para el dimensionamiento de las unidades se consideró el caudal medio diario así como las concentraciones medias determinadas en los análisis de calidad de agua.

Un dato importante es que se consideraron las condiciones óptimas de eficiencia. En la tabla 20 se presentó un resumen de las áreas requeridas bajo las condiciones mencionadas. El valor de área requerida del sistema con las condiciones actuales es de 1.545,44 m<sup>2</sup>. Este valor es mayor que el área actual, sin embargo, no se puede establecer una comparación directa porque se desconocen las condiciones bajo las cuales se diseñó el HA.

## **6.6 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Los costos de operación y mantenimiento que se presentan en la tabla 20 reflejan precios unitarios. Al final se presenta un total de los costos anuales en que se incurriría en O&M del sistema.

El presupuesto contempla equipo, materiales y herramientas para la realización de actividades rutinarias de O&M con la finalidad de lograr que el sistema trabaje en condiciones óptimas de eficiencia.

En el presupuesto también se incluye un renglón para que el operador cuente con un botiquín de primeros auxilios y se practique revisiones médicas anuales.

Cementos Progreso cuenta tanto con los recursos económicos como de personal para nombrar a una persona encargada del sistema; sin embargo, la O&M es compartida con varios departamentos de la planta.

## 7 CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados se verificó que la hipótesis es positiva.
2. 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.
3. Las eficiencias promedios calculadas del humedal fueron de 35.80%, 33.86%, 33.63% y 34% para la remoción de DBO<sub>5</sub>, 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.
4. 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, incrementa la carga orgánica y disminuya la eficiencia de remoción de contaminantes.
5. 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.
6. Se realizaron cuatro modelos de diseño para determinar la capacidad actual del humedal. El resultado permitió establecer que se necesita mayor área superficial que las condiciones actuales. Sin embargo, la comparación no se puede hacer directamente, porque se desconoce el modelo bajo el cual se diseñó el sistema.
7. Los costos de operación y mantenimiento ascienden a Q 198.091,00 anuales, incluyendo el salario del operador, adquisición de materiales, monitoreo de la calidad de agua, con el fin de mejorar la eficiencia de la planta.

## 8 RECOMENDACIONES

La operación y mantenimiento del Humedal Artificial de Cementos Progreso debe enfocarse al control e inspección de factores importantes para su rendimiento. En tal sentido se recomienda:

1. Seleccionar una persona encargada de la O&M dedicada a tiempo completo; no se necesita a alguien especializado o con conocimientos superiores ya que el trabajo es sencillo.
2. Instalar un dispositivo permanente para la medición del caudal. Pueden ser dispositivos automáticos.
3. Realizar un estudio para determinar el tiempo de retención hidráulico del sistema y verificar si es igual o similar a las condiciones de diseño. Este estudio se puede realizar empleando trazadores. En caso de que el tiempo de retención hidráulico no sea el de diseño, conviene la remoción del medio filtrante en la sección del junco.
4. Remover los sólidos flotantes tanto en el cabezal de la entrada a la fosa séptica, así como de la entrada del HA.
5. Verificar periódicamente el humedal para asegurar que el agua se mueve a través de todas las partes y que el aumento de residuos no bloquea caminos de flujo y no se han desarrollado áreas de estancamiento que aumentan la probabilidad de proliferación de mosquitos.
6. Proporcionar el mayor contacto posible del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
7. Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.



8. Asegurar un mantenimiento adecuado de las conexiones de entrada y salida de las tuberías para que estas estructuras no se obstruyan. De esa manera se garantiza el nivel y el flujo del agua. Asociado a las actividades de mantenimiento de obstrucción se incluye remoción física de basuras o desechos de la sedimentación, lavado de las tuberías y tubo colector; y el uso de alta presión del agua para limpiezas periódicas.
  
9. Inspeccionar regularmente la vegetación y quitar las especies invasoras. No se debe usar herbicidas, excepto en circunstancias extremas y con sumo cuidado, dado que pueden dañar severamente la vegetación emergente.
  
10. Considerar que cuando el agua está en movimiento se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos. Asimismo, que el control de mosquitos con insecticidas, aceites y agentes bacterianos como Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*) es a menudo difícil en humedales artificiales. Tener en cuenta que es ineficaz el uso de insecticidas en humedales artificiales con cantidades grandes de materia orgánica, porque ésta los adsorbe y se diluyen rápidamente o son degradados por el agua que viaja a través del humedal. Los tratamientos químicos deben usarse con cautela porque se corre el riesgo de contaminar el humedal y el cauce receptor.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. Manejo Integrado de Plagas. (1998). *Novedades de Agricultura*, 10, 1-27.
2. Barillas, Néstor. Córcega, Mairet. (1999). *Muestreo de aguas residuales e industriales*. Universidad Gran Mariscal De Ayacucho. Venezuela.
3. Cooperación Austriaca para el Desarrollo (2005). *Documento Taller Biofiltro. Tecnología Sostenible para el tratamiento de Aguas Residuales*. Managua.
4. EPA. *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo sub-superficial*.
5. Gamboa, W; Vandermeer J. (1990). *Comportamiento biológico del Cyperus Rotundus I. Fases Fenológicas, dinámica de crecimiento y capacidad reproductiva*. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. Nicaragua.
6. Lara Borrero, Jaime A. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. España: Universidad Politécnica de Cataluña
7. 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.
8. Moscoso, J. (1993). La ninfa (Eichhornia Crassipes Mart), ¿Plaga o recurso? *Novedades de Agricultura*, V. 3, 9, 42-44.

9. Sampieri, R., Collado, C.F. & Lucio, P.B. (2007). *Metodología de investigación*. (3ª ed). México, D.F.
10. Silva R, Ángela. Zamora, Hernán. *Humedales artificiales*. Monografía de Grado. Universidad Nacional de Colombia. 2005.
11. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Ed. Publisher: American Public Health Association.
12. 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.
13. 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.
14. 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*.
15. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. ACUERDO GUBERNATIVO DE GUATEMALA No. 236-2006: "Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos".

## 10 ANEXOS

# Anexo I

Manual de operación y mantenimiento

---

**PLANTA SAN MIGUEL**

**UNIDAD DE GESTIÓN  
AMBIENTAL**



# **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CEMENTOS PROGRESO**

REALIZADO POR:  
Ing. Cinthya Odeth Alvarado Pagoaga

**JUNIO-2010**

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>6</b>
1.1	<i>ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....</i>	<i>6</i>
1.2	<i>OLORES GENERADOS POR LAS AGUAS RESIDUALES.....</i>	<i>7</i>
1.3	<i>CONTAMINANTES,ORIGEN Y SU IMPORTANCIA.....</i>	<i>7</i>
1.4	<i>DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA .....</i>	<i>8</i>
1.4.1	<i>Fosa de Sedimentación .....</i>	<i>8</i>
1.4.2	<i>Tratamiento Secundario.....</i>	<i>8</i>
<b>2</b>	<b>LABORES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....</b>	<b>11</b>
2.1	<i>MANEJO DE LA BASURA.....</i>	<i>11</i>
2.1.1	<i>Qué hacer con la basura.....</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Que no hacer con la basura.....</i>	<i>11</i>
2.2	<i>TUBERIAS DE CONDUCCION .....</i>	<i>12</i>
2.3	<i>FOSA DE SEDIMENTACION .....</i>	<i>12</i>
2.4	<i>MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL EQUIPO DE BOMBEO .....</i>	<i>13</i>
2.5	<i>HUMEDAL ARTIFICIAL .....</i>	<i>13</i>
2.5.1	<i>Operaciones Rutinarias.....</i>	<i>13</i>
2.5.2	<i>Mantenimiento .....</i>	<i>15</i>
<b>3</b>	<b>SEGURIDAD EN LA PLANTA .....</b>	<b>17</b>
3.1	<i>IDENTIFICACION DEL EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL .....</i>	<i>17</i>
3.2	<i>SEÑALAMIENTO QUE INDICAN OBLIGACIÓN.....</i>	<i>18</i>
<b>4</b>	<b>TU SALUD .....</b>	<b>20</b>
4.1	<i>CONOCIMIENTO SOBRE PRIMEROS AUXILIOS.....</i>	<i>20</i>
4.2	<i>QUE HACER .....</i>	<i>20</i>
4.3	<i>QUE HACER EN CASO DE HERIDAS.....</i>	<i>21</i>
4.4	<i>QUE HACER EN CASO DE FRACTURA.....</i>	<i>21</i>
4.5	<i>MEDIDAS DE SEGURIDAD DEL OPERADOR.....</i>	<i>22</i>
<b>5</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>25</b>
5.1	<i>FORMULARIO PARA OBSERVACION DE CAMPO.....</i>	<i>25</i>

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales constituye una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, pero para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura adecuada a la naturaleza de las aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo las labores de operación y mantenimiento.

Los objetivos principales de este manual son la identificación y uniformización de los procedimientos básicos de operación y mantenimiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales y la determinación de los requisitos de seguridad e higiene que deben reunir las plantas de tratamiento contribuyendo así con la protección del operador y el ambiente.



## COMO USAR EL MANUAL

El manual ha sido estructurado en cuatro secciones, redactadas en forma sencilla y coherente de manera que su lectura y uso sean fáciles para el operador; además se incluye una sección de anexos con tablas de medición de caudal y formularios para el registro de las operaciones.

- ✓ *CAPITULO 1: “Conceptos Básicos”*: Responde a preguntas de ¿Qué origen tienen las aguas residuales?, ¿En qué consiste su tratamiento?, ¿Qué agentes realizan el tratamiento?, ¿Qué función tiene cada elemento y cuál es su importancia?; todo esto, redactado en forma concreta y sin tecnicismos para que sea de fácil comprensión al operador.
- ✓ *CAPITULO 2: “Labores de Operación y Mantenimiento”*: Para facilitar su uso de ha dividido por tipo de tratamiento y por elementos, responde a la interrogantes de ¿Qué hacer?, ¿cuándo?, ¿cómo? y ¿qué herramienta utilizar?; cada ítem se acompaña de diagramas y figuras explicativas, las recomendaciones se enmarcan para su mejor visibilidad y al final de cada uno se presenta un cuadro con los problemas típicos de los elementos y sus causas.
- ✓ *CAPITULO 3: “Seguridad en la Planta”*: Esta sección está dedicada a proporcionarle al operador una lista de las técnicas de prevención de accidentes, además se establece y describe el equipo de Protección Personal a utilizar en las plantas.
- ✓ *CAPITULO 4: “Tu Salud”*: Tal como en el caso anterior, la salud ocupacional es un aspecto descuidado por los operadores, por lo cual en esta sección se desarrolla desde tres puntos de vista: Medidas de primeros auxilios, Higiene personal y controles médicos.
- ✓ *CAPITULO 5: “Anexos”*: Formulario para inspecciones rutinarias.

# **CONCEPTOS BÁSICOS**

CAPITULO

**1**

# 1 CONCEPTOS BÁSICOS

## 1.1 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES

*“Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias” (Mara, 1976).*

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Mendonca, 1987). Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- ❖ **Domésticas:** son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.
- ❖ **Industriales:** son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- ❖ **Infiltración y caudal adicionales:** las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.
- ❖ **Pluviales:** son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

## 1.2 OLORES GENERADOS POR LAS AGUAS RESIDUALES

Los olores característicos de las aguas residuales son causados por los gases formados en el proceso de descomposición anaerobia. Principales tipos de olores:

- ❖ Olor a moho: razonablemente soportable: típico de agua residual fresca.
- ❖ Olor a huevo podrido: “insoportable”; típico del agua residual vieja o séptica, que ocurre debido a la formación de sulfuro de hidrógeno que proviene de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos.
- ❖ Olores variados: de productos descompuestos, como repollo, legumbres, pescado, de materia fecal, de productos rancios, de acuerdo con el predominio de productos sulfurosos, nitrogenados, ácidos orgánicos, etc.

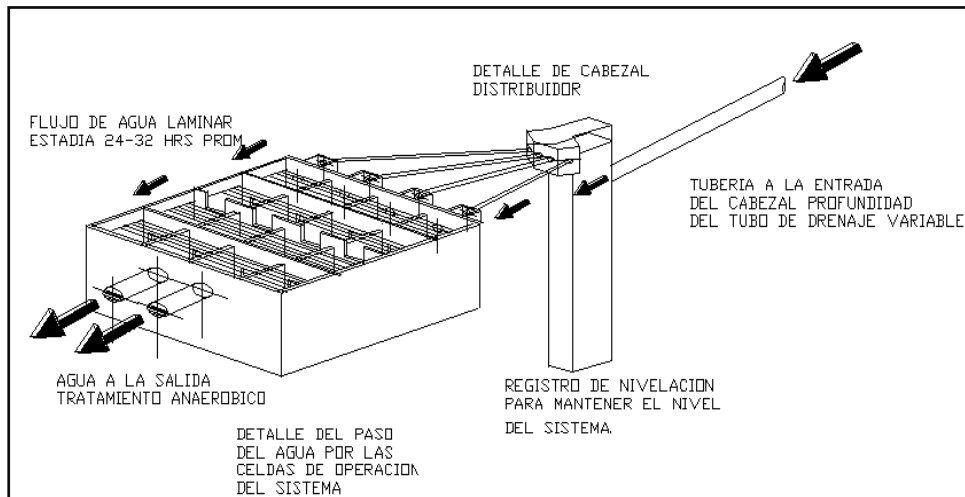
## 1.3 CONTAMINANTES, ORIGEN Y SU IMPORTANCIA

Contaminantes	Motivo de su importancia
Sólidos Suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del Oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el Carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes	Compuesto orgánicos en inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

## 1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

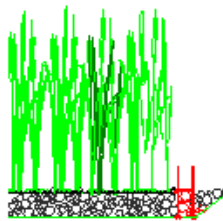
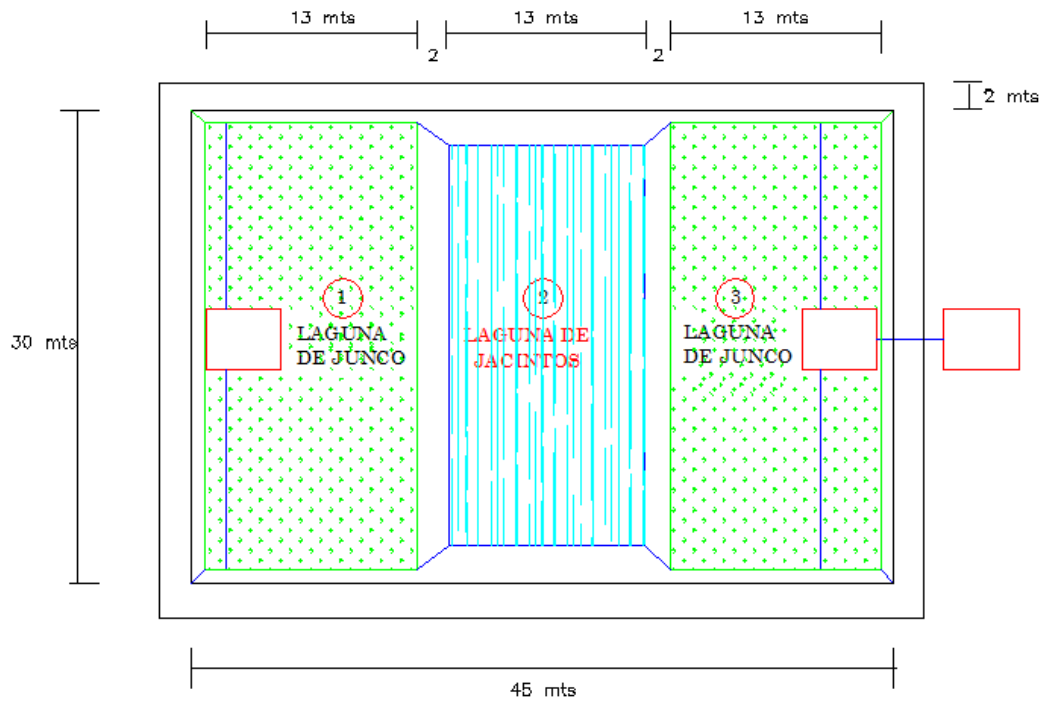
### 1.4.1 *Fosa de Sedimentación*

El agua residual proveniente de la red interna de alcantarillado sanitario, es conducida a un cabezal de entrada a través de una tubería de drenaje de PVC de diez pulgadas de diámetro. De allí, se distribuye el flujo al tratamiento primario (fosa de sedimentación).

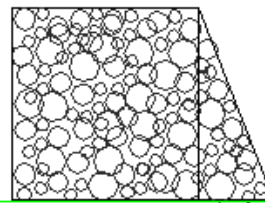


### 1.4.2 *Tratamiento Secundario*

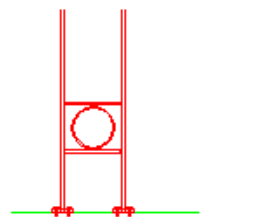
- ❖ El agua que trata la fosa de sedimentación, es enviada hacia una caja de distribución ubicada al inicio del humedal.
- ❖ La caja distribuidora envía el flujo por medio de una tubería perforada (flauta). A una primera sección es esta compuesta por Juncos.
- ❖ El agua de la primera sección pasa por gravedad atravesando todo el medio filtrante hacia una segunda sección que consiste una laguna de Jacintos, la cual tienen dos metros de profundidad.
- ❖ De la laguna de Jacinto el agua para a una tercera sección de Juncos, existe una tubería (flauta) que es la encargada de recaudar el agua en una caja recolectora al final de esta sección, finalmente para a una última caja que tiene la función de bombear el agua hacia las áreas de verdes que rodean la planta.



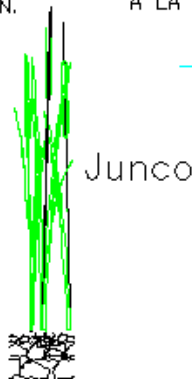
VISTA DE LA DISTRIBUCION DE MATERIAL ROCOSO EN EL SUELO DEL WETLAND PARA FILTRACION.



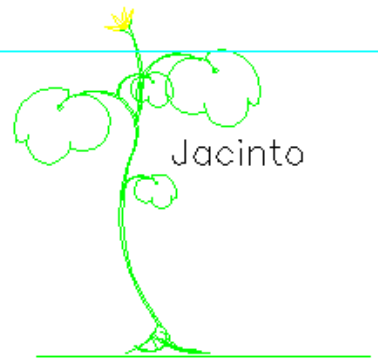
DETALLE DE GAVION PARA EVITAR EL PASO DE MATERIAL A LA LAGUNA.



DETALLE DE SOPORTE PARA AJUSTE DE ALTURAS EN TUBOS DE CAPTACION Y DISTRIBUCION DE AGUA



VISTA DE PLANTA DE CARTUCHO O CARRIZO.



VISTA DE PLANTA ACUATICA LLAMADA NINFA.

**LABORES DE  
OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO**

CAPITULO

**2**

## 2 LABORES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 2.1 MANEJO DE LA BASURA

La basura, siempre esta presenta en las unidades, por lo que es necesario saber cómo manipularla y qué hacer con ella.

Los siguientes consejos serán muy útiles para el manejo de residuos.

#### 2.1.1 *Qué hacer con la basura*

- ❖ Los residuos sólidos generados en las diferentes unidades del sistema, se deben colocar en un recipiente (tipo colador), cerca de la estructura donde se extrajo, para dejar que se escurran.
- ❖ Cuando estén secos, depositarlos en un recipiente para basura (color verde) para posteriormente la realización de compostaje.
- ❖ Mantener tapado el recipiente.
- ❖ Llevar el recipiente hasta el lugar de disposición final.



#### 2.1.2 *Que no hacer con la basura*

- ❖ Tocar los residuos con las manos (sin guantes).
- ❖ No dejar los residuos almacenados por más de tres días.
- ❖ Quemar la basura.
- ❖ Tirar al aire libre.
- ❖ Dejar destapado el recipiente.





## 2.2 TUBERIAS DE CONDUCCIÓN

La tubería de conducción se refiere a todas las tuberías que conectan el sistema. La continuación se describe la O&M.

- ❖ Revisar diariamente que no hayan sólidos en la entrada de las tuberías, que puedan obstruir el ingreso del agua.
- ❖ Revisar las rupturas existentes y repararlas de manera inmediata.
- ❖ Limpiar la entrada a la tubería, 2 veces al día (una vez por la mañana y otra vez por la tarde).
- ❖ Después que se presente periodos de lluvia, limpiar la tubería.

### NOTA:

*CUANDO OCURRAN PERIODOS INTENSOS DE LLUVIA, REVISAR TODAS LAS ESTRUCTURAS DEL SISTEMA, SE DEBE EVITAR QUE INGRESEN AGUAS LLUVIAS AL SISTEMA O QUE SE OBSTRUYA LAS ENTRADAS DEL FLUJO.*

## 2.3 FOSA DE SEDIMENTACIÓN

- ❖ Dependiendo de su diseño, las fosas sépticas requieren unas comprobaciones rutinarias para ver los niveles de suciedad y de lodo.
- ❖ La fosa séptica deberá mantenerse libre de obstrucciones.
- ❖ Revisión de la impermeabilización de la Fosa Sedimentación.
- ❖ Revisión del ingreso de aguas extrañas a la Fosa de Sedimentación.
- ❖ Revisión de acumulación de lodos.

## **2.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL EQUIPO DE BOMBEO**

- ❖ Cambiar el sello mecánico trimestralmente.
- ❖ Cambiar los cojinetes bomba-motor, dos veces por año.
- ❖ Mantenimiento anual del motor.
- ❖ Cambiar de kit de Empaques trimestralmente.
- ❖ Realizar pruebas de funcionamiento periódicamente.
- ❖ Realizar mantenimiento de controles eléctricos trimestralmente.
- ❖ Realizar trimestralmente el cambio de aceite dieléctrico.

## **2.5 HUMEDAL ARTIFICIAL**

Los humedales son áreas que se caracterizan por tener un suelo saturado de agua y una comunidad viviente (plantas y animales) adaptados a la vida en agua o en un suelo saturado. El término humedal (wetland, en inglés).

### ***2.5.1 Operaciones Rutinarias***

- ❖ Se debe verificar a diario que el agua se está moviendo a través de todas las partes del humedal.
- ❖ Verificar que el aumento de residuos no haya bloqueado caminos de flujo, y no se han desarrollado áreas de estancamiento que aumentan la probabilidad de mosquitos.
- ❖ Se deben inspeccionar las estructuras de control de agua de forma regular e inmediatamente después de cualquier anomalía en el flujo.
- ❖ Los humedales deben verificarse después de subidas importantes de caudal, ya que pueden afectar el sustrato, particularmente a las estructuras de salida.
- ❖ Se deben verificar daños, corrosión u obstrucción, de existir, se deben corregir lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones que podrían ser costosas.
- ❖ La vegetación debe ser inspeccionada diariamente y deben quitarse las especies invasoras.

- ❖ Se debe evitar que la vegetación llegue al punto de florecimiento y marchitez.

**NOTA:**

*LOS HERBICIDAS NO DEBEN USARSE EXCEPTO EN CIRCUNSTANCIAS EXTREMAS, Y SÓLO ENTONCES Y CON CUIDADO EXTREMO, DADO QUE PUEDEN DAÑAR SEVERAMENTE LA VEGETACIÓN.*

- ❖ Para evitar problemas con mosquitos en los humedales artificiales se deben evitar lugares estancados con agua. Cuando el agua está en movimiento se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos.
- ❖ El control de mosquitos con insecticidas, aceites, y agentes bacterianos como es a menudo difícil en humedales artificiales. El uso de insecticidas en humedales artificiales con cantidades grandes de materia orgánica es ineficaz porque la materia orgánica los adsorbe y porque se diluyen rápidamente o son degradados por el agua que viaja a través del humedal. Los tratamientos químicos deben usarse con cautela porque se corre el riesgo de contaminar el humedal y el cauce receptor.

### 2.5.2 *Mantenimiento*

- ❖ Limpiar semanalmente la flauta que distribuye el agua a la entrada y la que canaliza a la salida.
- ❖ Cortar y retirar de las plantas que conforman el humedal mensualmente, Junco y Jacinto respectivamente.
- ❖ Elaboración de compost con residuos del humedal, con la vegetación que se extrae.
- ❖ Extraer semanalmente del material flotante en la laguna de Jacinto.
- ❖ Abrir la válvula de control de lodos máximo una vez por mes.
- ❖ Cambiar tubos u accesorios en mal estado.
- ❖ Retirar la basura que se acumula alrededor de las plantas.

**NO OLVIDE NUNCA PONERSE GANTES MIENTRAS REALIZA ACTIVIDADES COMO SER:**

- ❖ *RECOGER BASURA O DESPERDICIOS.*
- ❖ *MANIPULAR HERRAMIENTAS.*
- ❖ *AL HACER USO DE EQUIPO DE LIMPIEZA.*
- ❖ *AL DISPONER LA BASURA Y DESPERDICIO.*

# **SEGURIDAD EN LA PLANTA**

CAPITULO

# **3**

### 3 SEGURIDAD EN LA PLANTA

Los tres medios más comunes para controlar los peligros ocupacionales son:

- ❖ Control en el lugar de trabajo.
- ❖ Control administrativo.
- ❖ Uso de equipo de protección personal (EPP)

Los controles en el lugar y administrativos deben evaluarse a fondo y considerarlos antes del uso del (EPP).







#### 3.1 IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

El equipo debe de estar disponible para el operador, ayudantes o personas los visitantes de la planta por actividades de evaluación, deberán entrar a la planta con su equipo de protección.



1. Casco.
2. Mascarilla.
3. Guantes.
4. Uniforme completo.
5. Botas de hule

3.2 **SEÑALAMIENTO QUE INDICAN OBLIGACIÓN**

SEÑALIZACIÓN QUE INDICAN OBLIGACIÓN			
PARTE DEL CUERPO A PROTEGER	CUANDO USARLO	EQUIPO	SEALIZACION
Columna Vertebral, prevención de Hernia en el abdomen	Quando levante peso muy grande como ser: Bolsas de cemento, arena, grava, etc.	Cinturón para la espalda	 USO OBLIGATORIO DE FAJA
Cabeza	Siempre que este en la planta	Casco	 USO OBLIGATORIO DE CASCO
Rostro (Fosas nasales, boca y ojos)	Quando ejerza labores como ser: dragado manual de lodos, limpieza manual de unidades. Siempre que haya riesgo de ensuciarse el rostro.	Mascara Facial	 USO OBLIGATORIO DE CARETA DE SEGURIDAD
Manos	Quando haya contacto directo o indirecto con el agua residual	Guantes de Hule	 USE SUS GUANTES
Cuerpo	Siempre que realice actividades en la planta	Overol	 UNIFORME OBLIGATORIO
Pies	quando este en contacto con el agua residual	Botas de Hule	 USE SU CALZADO

NO OLVIDE NUNCA

❖ *OBEDECER LA SENALIZACION*

**TU SALUD!**

CAPITULO

**4**



## + TU SALUD

Es fundamental capacitar al operador en los riesgos para la salud de su trabajo, en las medidas de seguridad que deberían tomar para prevenir accidentes e infecciones, y las medidas de primeros auxilios.

### **4.1 CONOCIMIENTO SOBRE PRIMEROS AUXILIOS**

Los primeros auxilios son ayuda médica para los primeros minutos de un accidente. Los accidentes ocurren de imprevistos y a veces cuando menos se está preparado. Por eso es necesario que el personal que este en la planta conozca cómo ayudar a otros en cualquier caso de emergencia.

Los primeros auxilios son la ayuda oportuna y temporal que se brinda a una persona cuando ha sido víctima de un accidente o de una enfermedad repentina, mientras se busca una ayuda médica.

Aunque los primeros auxilios deben ser impartidos por expertos, a continuación se presentan unos consejos que pueden ser de utilidad para proteger la vida del operador como de otras personas.

### **4.2 QUE HACER**

- ❖ Manténgase siempre sereno y calmado.
- ❖ Actúe de prisa pero con cuidado.
- ❖ Aleje a los curiosos, pero puede pedirle que llamen una atención médica.
- ❖ No mueva a la víctima de no ser necesario.
- ❖ Afloje la ropa de la víctima, especialmente cuello y cintura.
- ❖ Si la víctima está inconsciente, extráigale de la boca cualquier cosa que tenga: alimento, dentadura postiza, chicle etc.
- ❖ Si la víctima vomita, volteele a un lado la cabeza para evitar que se ahogue.
- ❖ Nunca deje que la víctima vea sus lesiones, ni le mención de su estado.

A parte de las indicaciones anteriores, pueden darse indicaciones en casos específicos de accidentes comunes, como son las heridas, desmayos, fracturas

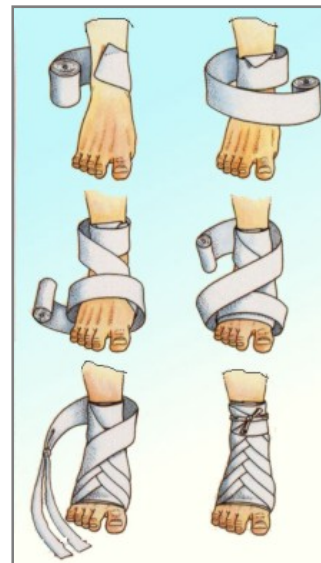
#### 4.3 QUE HACER EN CASO DE HERIDAS

- ❖ Lavar la herida con agua hervida y jabón, del centro hacia afuera.
- ❖ Cubrir con una gasa limpia o pañuelo.
- ❖ Sostener con pañuelo o venda.
- ❖ Conducir al paciente a un centro asistencial.

- ❖ *NUNCA UTILIZAR ALGODÓN PARA LIMPIAR UNA HERIDA.*
- ❖ *NO HURGAR LA HERIDA.*
- ❖ *NO UNTAR POMADAS, POLVOS NI SUSTANCIAS COLORANTES.*
- ❖ *SI LA HERIDA ESTÁ INFECTADA (CON PUS, HINCHAZÓN ENROJECIMIENTO Y CALOR) EL LAVADO SE HACE DE LA PARTE EXTERNA HACIA EL INTERIOR DE LA HERIDA PARA*
- ❖ *EVITAR QUE LA INFECCIÓN SE PROPAGUE*

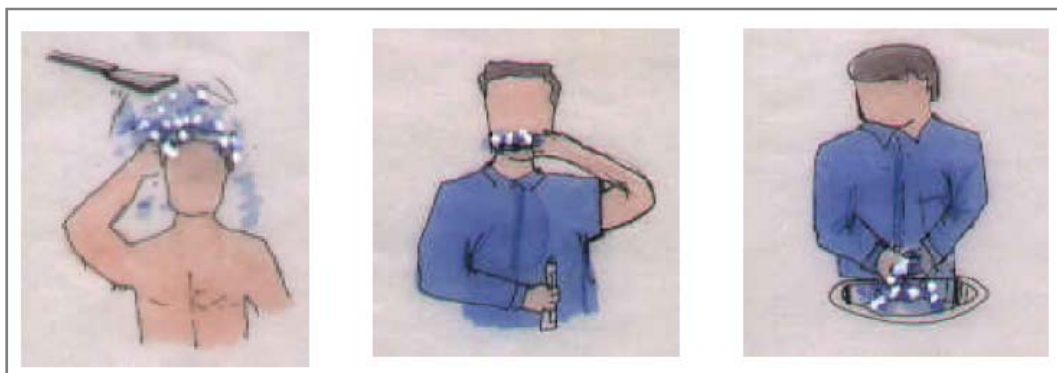
#### 4.4 QUE HACER EN CASO DE FRACTURA

- ❖ Calmar al lesionado y darle confianza.
- ❖ Inmovilizar la parte lesionada, incluyendo la articulación más próxima a la misma.
- ❖ Detener la hemorragia si la fractura es abierta.
- ❖ Controlar signos vitales.
- ❖ Trasladarlo al centro asistencial más cercano.



#### 4.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD DEL OPERADOR

A continuación se describen algunas medidas de seguridad que debe tomar el operador.



- ❖ La instalación debe contar siempre con una fuente de agua limpia, jabón y cloro. Es aconsejable utilizar toallas desechables de papel para evitar que, debido a la necesidad de transporte para la limpieza de las toallas de tela, éstas permanezcan demasiado tiempo sin lavar y pueden servir como un foco de infecciones.
- ❖ Se debe contar con un botiquín en el que se incluya, como mínimo, tela adhesiva, algodón, alcohol, una solución detergente desinfectante, tijeras, y pinzas, y un repelente para mosquitos e insectos.
- ❖ También debe contar con extintores y un teléfono celular para emergencias.
- ❖ El operador debe disponer del EPP. Todas las prendas utilizadas en la instalación deben permanecer en ella al finalizar la jornada laboral.
- ❖ Siempre que se vaya a comer o beber, se debe lavarse las manos con agua limpia y jabón. Si se hace alguna comida en el recinto de la instalación, se debe designar un área para ese fin, y evitar en todo momento comer a la vez que se está efectuando alguna labor que ponga en contacto a la comida con algún elemento que haya estado en contacto con desechos contaminados. Lo más recomendable es no comer cerca de desechos líquidos o sólidos depositados o almacenados.

- ❖ Todas las herramientas de trabajo deben lavarse con agua limpia antes de ser guardadas después de haberlas usado.
- ❖ Los cortes, arañazos y contusiones que pueda sufrir el trabajador deben desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
- ❖ El operador que se ocupa del mantenimiento de equipos eléctricos, debe asegurarse de que sus manos, ropas y calzado estén siempre secos.
- ❖ Se deben recordar los riesgos higiénicos para los visitantes si no están suficientemente informados.
- ❖ El operador debe vacunarse contra el tétanos, y otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades sanitarias del área. También debe someterse a un chequeo médico por lo menos una vez por año que incluye análisis para infecciones de parásitos.

# **ANEXOS**

CAPITULO

# **5**

## 5 ANEXO

### 5.1 FORMULARIO PARA OBSERVACION DE CAMPO

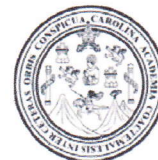
OBSERVACIONES DE CAMPO			
Fecha: _____ Hora: _____ Nombre del Operador: _____			
Temperatura del Aire: _____ Estado del Tiempo: _____			
OBSERVACION	FOSA DE SEDIMENTACION	AREA DE JUNCOS	AREA DE JACINTOS
Caudal (m <sup>3</sup> /s)			
Color de Agua			
Olores			
Espumas y Natas			
Plantas en Taludes			
Plantas Acuáticas			
Erosión de Taludes			
Insectos			
Roedores			
Insectos			
Aves			
Reptiles			
Lodos Acumulados			
Nivel de Agua			
Entradas			
Salidas			
<b>Otras Observaciones:</b>			

# Anexo II

Resultados de pruebas de laboratorio

---

**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos**  
**(ERIS)**



Estudio: Evaluación y Sistematización de la Operación Y Mantenimiento del Humedal Artificial De La Planta San Miguel De Cementos Progreso  
 Responsable de análisis: Ing. Cinthya Odeth Alvarado Pagoaga  
 Resultados de Análisis Físicos – Químicos y Microbiológicos

Análisis Físico - Químico y Microbiológico		PR1:Entrada a la Fosa de Sedimentacion			
		1	2	3	4
Parametro	Unidad	09-03-10	16-03-10	06-04-10	14-04-10
Temperatura ****	° C	26,90	27,53	28,03	27,58
Potencial de Hidrogeno pH ****	Unidad	7,75	7,74	7,38	7,68
Demanda Química de Oxigeno DQO	mg/l	440,00	227,00	280,00	240,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO	mg/l	159,00	-----	92,00	115,00
Nitrógeno Total (NT)	mg/l	47,00	24,50	30,00	43,00
Fosforo Total (PT)	mg/l	6,50	8,00	4,00	6,00
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	601,00	615,00	451,00	502,00
Sólidos Suspendidos	mg/l	-----	-----	-----	99,00
Sólidos Sedimentables	cm <sup>3</sup> /l.h	0,60	0,30	0,30	3,00
Coliformes Fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	3.000E+06	<1.000E+06	1,00E+06	>0,24 E+06
Coliformes Totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	6.300E+06	<1.000E+06	2,00E+06	>0,24 E+06

Análisis Físico - Químico y Microbiológico		PR1:Entrada a la Fosa de Sedimentacion				
		5	6	7	8	9
Parametro	Unidad	20-04-10	12-05-10	19-05-10	21-05-10	25-05-10
Temperatura ****	° C	27,19	28,20	28,70	28,70	28,53
Potencial de Hidrogeno pH ****	Unidad	7,42	7,48	7,35	7,28	7,39
Demanda Química de Oxigeno DQO	mg/l	285,00	160,00	-----	-----	74,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO	mg/l	149,00	72,00	-----	-----	16,00
Nitrógeno Total (NT)	mg/l	29,00	27,50	35,00	44,50	37,00
Fosforo Total (PT)	mg/l	6,50	4,50	15,50	6,00	5,50
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	402,00	378,00	541,00	582,00	491,00
Sólidos Suspendidos	mg/l	76,25	51,33	62,67	44,00	19,75
Sólidos Sedimentables	cm <sup>3</sup> /l.h	0,50	0,30	0,20	0,10	0,50
Coliformes Fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	0,82E+06	2,50 E+06	110, 00 E+06	24,00 E+06	< 1,00 E +06
Coliformes Totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	11,12 E+06	4,80 E+06	110,00 E+06	48,00 E+06	1,00 E +06

  
**MSc. Ing. Zenón Much Santos**  
**Jefe de Laboratorio**

**Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria**  
**"Dra. Alba Tabarini Molina"**





**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos**  
**(ERIS)**



Estudio: Evaluación y Sistematización de la Operación Y Mantenimiento del Humedal Artificial De La Planta San Miguel De Cementos Progreso  
 Responsable de análisis: Ing. Cinthya Odeth Alvarado Pagoaga  
 Resultados de Análisis Físicos – Químicos y Microbiológicos

Análisis Físico - Químico y Microbiológico		PR2:Entrada al Humedal			
		1	2	3	4
Parametro	Unidad	09-03-10	16-03-10	06-04-10	14-04-10
Temperatura **	° C	27,70	27,00	26,85	27,60
Potencial de Hidrogeno pH **	Unidad	7,46	7,31	7,41	7,45
Demanda Química de Oxigeno DQO	mg/l	200,00	120,00	120,00	131,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO	mg/l	102,00	-----	55,00	108,00
Nitrógeno Total (NT)	mg/l	47,00	28,50	38,50	40,50
Fosforo Total (PT)	mg/l	6,50	7,00	5,00	5,50
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	581,00	565,00	514,00	488,00
Sólidos Suspendidos	mg/l	-----	-----	-----	32,45
Sólidos Sedimentables	cm <sup>3</sup> /l.h	0,10	0,00	0,00	0,00
Coliformes Fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<1.000E+06	11E+06	<1,00 E+06	>0,24 E+06
Coliformes Totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	<1.000E+06	16,10E+06	<1,00E+06	>0,24 E+06

Análisis Físico - Químico y Microbiológico		PR2:Entrada al Humedal				
		5	6	7	8	9
Parametro	Unidad	20-04-10	12-05-10	19-05-10	21-05-10	25-05-10
Temperatura **	° C	28,10	26,70	28,13	28,90	28,08
Potencial de Hidrogeno pH **	Unidad	7,06	7,50	7,48	7,51	7,49
Demanda Química de Oxigeno DQO	mg/l	259,00	150,00	-----	-----	80,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO	mg/l	127,00	89,00	-----	-----	5,00
Nitrógeno Total (NT)	mg/l	30,00	42,00	62,00	45,00	40,50
Fosforo Total (PT)	mg/l	6,00	4,50	5,50	5,50	5,00
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	414,00	532,00	569,00	577,00	526,00
Sólidos Suspendidos	mg/l	49,60	32,94	21,00	32,67	16,75
Sólidos Sedimentables	cm <sup>3</sup> /l.h	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Coliformes Fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	1,42 E+06	22,10 E+06	48,00 E+06	>240,00 E+06	5,20 E+06
Coliformes Totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	9,80 E+06	54,20 E+06	48,00 E+06	>240,00E+06	9,80 E+06

*[Firma]*  
**MSc. Ing. Zenón Much Santos**  
**Jefe de Laboratorio**

**Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria**  
**"Dra. Alba Tabarini Molina"**



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos**  
**(ERIS)**



Estudio: Evaluación y Sistematización de la Operación Y Mantenimiento del Humedal Artificial De La Planta San Miguel De Cementos Progreso  
 Responsable de análisis: Ing. Cinthya Odeth Alvarado Pagoaga  
 Resultados de Análisis Físicos – Químicos y Microbiológicos

Análisis Físico - Químico y Microbiológico		PR3: Salida del Humedal			
Parametro	Unidad	1	2	3	4
		09-03-10	16-03-10	06-04-10	14-04-10
Temperatura **	° C	22,95	26,88	26,60	24,95
Potencial de Hidrogeno pH **	Unidad	7,67	7,76	7,70	7,69
Demanda Química de Oxigeno DQO	mg/l	-----	38,00	160,00	60,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO	mg/l	76,00	-----	85,00	53,00
Nitrógeno T total (NT)	mg/l	26,50	8,50	21,50	25,50
Fosforo T total (PT)	mg/l	3,50	3,00	5,00	1,00
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	475,00	421,00	505,00	488,00
Sólidos Suspendidos	mg/l	-----	-----	-----	5,43
Sólidos Sedimentables	cm <sup>3</sup> /l.h	0,00	0,00	0,00	0,00
Coliformes Fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	1.000E+06	1.000E+06	<1,00E+06	22.1E+02
Coliformes Totaes	NMP/100 cm <sup>3</sup>	24.000E+06	1.000E+06	1,00E+06	>0,24 E+06

Análisis Físico - Químico y Microbiológico		PR3: Salida del Humedal				
Parametro	Unidad	5	6	7	8	9
		20-04-10	12-05-10	19-05-10	21-05-10	25-05-10
Temperatura **	° C	24,93	26,00	26,90	25,40	27,60
Potencial de Hidrogeno pH **	Unidad	7,57	7,65	7,85	7,68	7,91
Demanda Química de Oxigeno DQO	mg/l	122,00	127,00	-----	-----	50,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO	mg/l	66,00	62,00	-----	-----	3,90
Nitrógeno T total (NT)	mg/l	27,50	40,00	86,50	32,00	42,00
Fosforo T total (PT)	mg/l	4,50	6,00	5,00	5,50	2,50
Sólidos Disueltos Totaes	mg/l	421,00	522,00	509,00	497,00	509,00
Sólidos Suspendidos	mg/l	35,33	12,00	33,53	19,67	8,75
Sólidos Sedimentables	cm <sup>3</sup> /l.h	0,20	0,00	0,10	0,10	0,00
Coliformes Fecales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	0,02 E+06	49,00 E+03	93,00 E+03	>240,00E+03	3,00 E +04
Coliformes Totaes	NMP/100 cm <sup>3</sup>	0,38 E+06	1.600 E+03	93,00 E+03	>240,00E+03	21,30 E+04

**MSc. Ing. Zenón Much Santos**  
**Jefe de Laboratorio**

**Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria**  
**"Dra. Alba Tabarini Molina"**



# Anexo III

Medición de caudal, equipo y cotización

## INFORME MEDICIÓN DE CAUDAL

<b>Cliente:</b> Cinthya Alvarado	<b>Número de orden:</b> N/R
<b>Dirección:</b> 30 C. 9-04 zona 11 Colonia Granai I	<b>Código:</b> N.R.
<b>Persona responsable:</b> Inga. Cinthya Alvarado	<b>Fecha de ingreso:</b> 03/06/10
<b>Localización:</b> Planta San Miguel Cementos Progreso, Carr. Al Atlantico	<b>Fecha del informe:</b> 07/06/10
<b>Referencia:</b> Punto de Recolección 2, Entrada al Humedal	<b>Asesor:</b> Ing. Edgar Mena

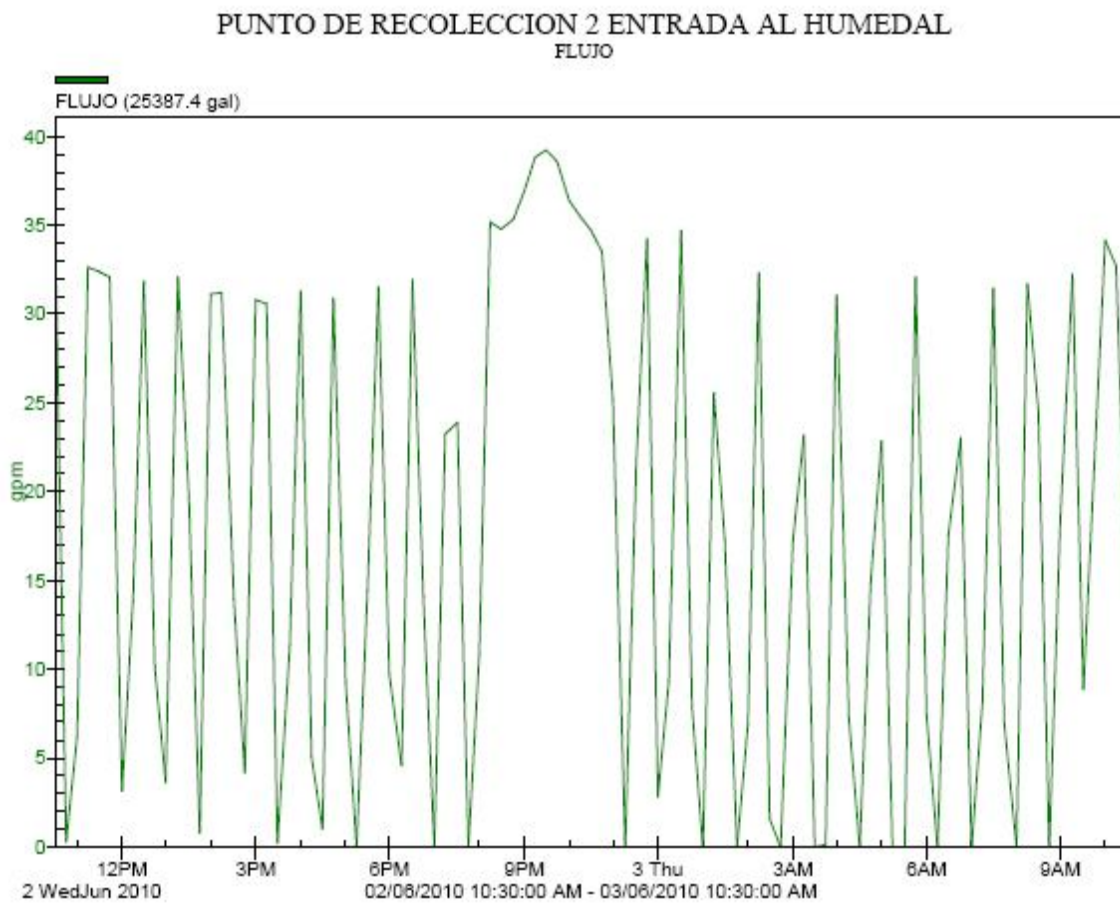
<b>Coordenadas:</b> N/R	<b>Elevación:</b> N/R
<b>Inicio muestreo:</b> 02/06/10	<b>Finalización muestreo:</b> 03/06/10
<b>Hora inicio:</b> 10:30 AM	<b>Hora finalización:</b> 10:30 AM
<b>Equipo - caudal -:</b> ISCO 4250, Area/Velocidad	<b>Estructura:</b> NR
<b>Equipo - toma de muestra -:</b> N/R	<b>Metodología:</b> NR

## RESULTADOS

	EFLUENTE	
	Valor	Hora
Caudal promedio (Gal./min)	17.8	
Caudal máximo (Gal./min)	39	21:15 PM A 21:45 PM
Caudal mínimo (Gal./min)	0	10:45 AM, 15:30 PM, 17:15 PM, 19:00 PM, 19:45 PM, 23:15 PM, 1:00 AM, 1:45 AM, 2:45 AM, 3:30 AM 3:45 AM 4:30 AM, 5:15 AM, 5:30 AM, 6:15 AM, 7:00 AM, 8:00 AM, 8:45 AM.
Nivel promedio (")	1.17	
Nivel máximo (")	2.73	10:30 AM
Nivel mínimo (")	0	10:45 AM, 12:00 PM, 13:00 PM, 13:45 PM, 14:45 PM, 15:30 PM, 16:30 PM, 17:15 PM, 18:15 PM, 19:00 PM, 19:45 PM, 23:15, 0:00 AM, 1:00 AM, 1:45 AM, 2:30 AM, 2:45 AM, 2:45 AM, 3:30 AM, 3:45 AM, 4:30 AM, 5:15 AM, 5:30 AM, 6:15 AM, 7:00 AM, 8:00 AM, 8:45 AM
Velocidad promedio (m/s)	0.303	
Velocidad máxima (m/s)	0.62	21:37 PM
Velocidad mínima (m/s)	0	17:15 PM, 19:00 PM, 19:45 PM, 23:15 PM, 1:00 AM, 1:45 AM, 2:45 AM, 3:30 AM, 3:45 AM, 4:30 AM, 5:15AM, 5:30 AM, 6:15 AM, 7:00 AM, 8:00 AM, 8:45 AM.

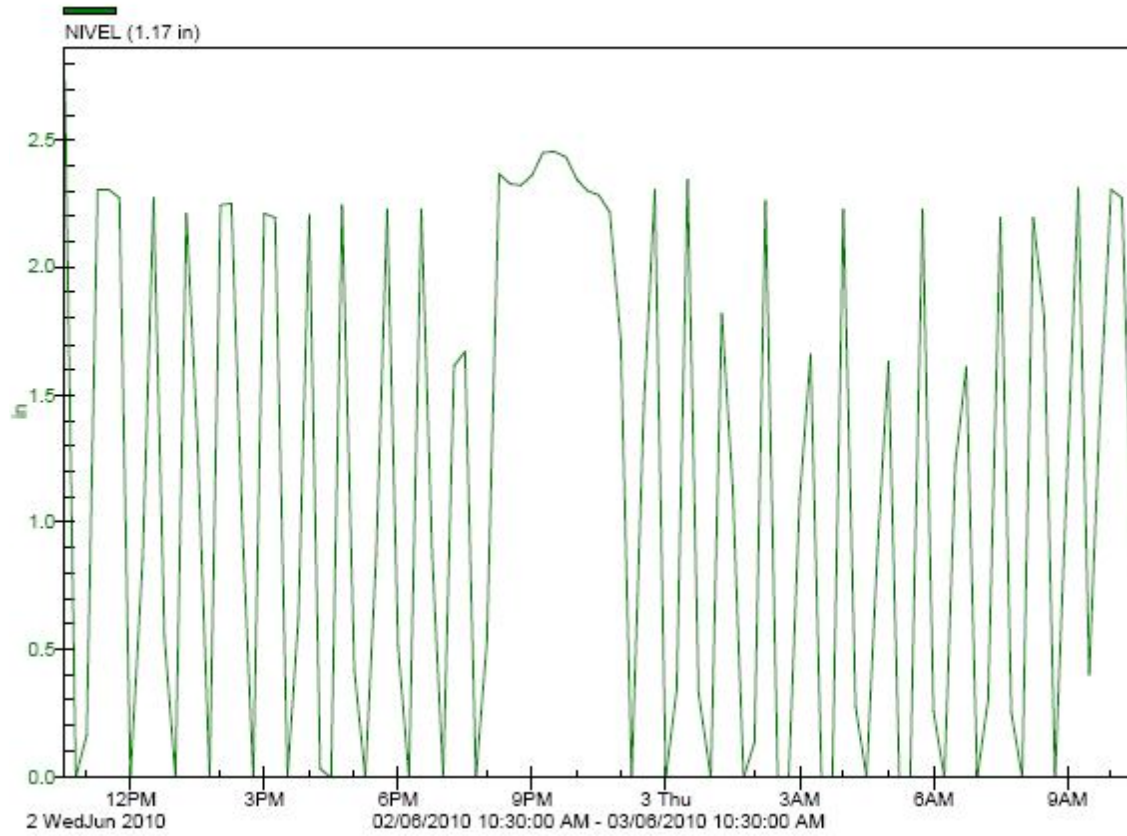
## GRÁFICAS

### EFLUENTE – CAUDAL (Galones/minuto) –



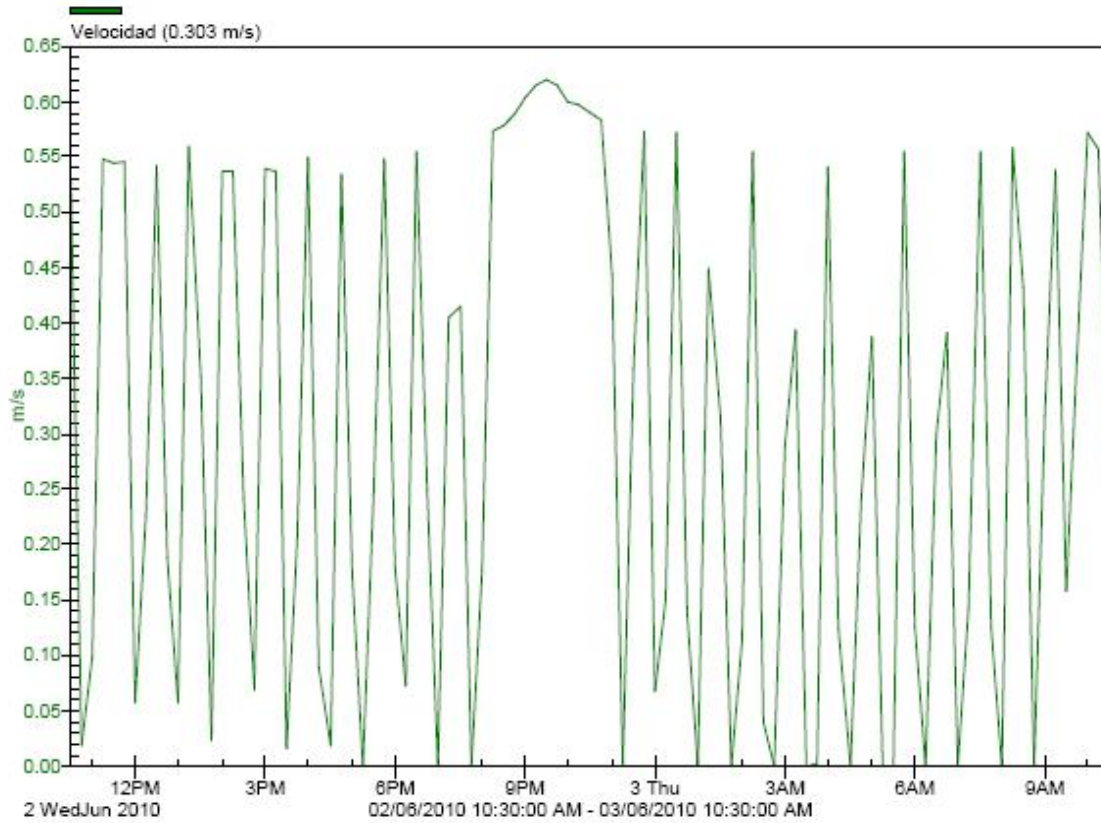
## EFLUENTE – NIVEL (PULGADAS) –

PUNTO DE RECOLECCION 2 ENTRADA AL HUMEDAL  
NIVEL



## EFLUENTE – VELOCIDAD (m/s) –

### PUNTO DE RECOLECCION 2 ENTRADA AL HUMEDAL VELOCIDAD



Lic. Juan José Chávez  
Gerente de Servicios Ambientales





<b>Nombre:</b> Ingeniera Cinthya Alvarado <b>Attn:</b> <b>Dirección:</b> 30 C. 9-04 zona 11 Colonia Granai I <b>Ciudad:</b> Guatemala	<b>Teléfono:</b> 57227354 <b>Fax.</b>
--	--

<b>Fecha :</b> 14 de junio de 2010 <b>Proforma No.:</b> <b>1006-0523-EM</b> <b>Ref.:</b> Medidor de caudal de velocidad-area ISCO 4250
--

Item	Cant	Uni	Catálogo	Descripción	Unitario	Total
1	1	un	684250006	<b>Medidor de Velocidad-Area ISCO Modelo 4250</b> con sensor de bajo perfil y cable de 25 piés. Este sistema permite la medición de caudales sin necesidad de instalar un dispositivo primario. Permite la medición de la velocidad lineal a través de pulsos ultrasónicos que se reflejan en las partículas contenidas en el cuerpo de agua monitoreado. Un sensor de presión permite la medición de altura de la columna de agua, con lo que calcula el área de la sección. La memoria del equipo permite almacenar hasta 79,000 lecturaz. El sistema se debe conectar a una PC para descargar la información, utilizando el software Flowlink 5.0 para el procesamiento de la misma. Puede utilizar un transformador que se conecta directamente a un tomacorriente, o baterías de Níquel-Cadmio con una duración variable dependiendo de la programación del equipo. Se puede utilizar con vertederos V-notch, rectangulares y Cipolleti. También se puede emplear con varios tipos de canaletas como Palmer-Bowlus y Parshall. Cuenta con una pantalla LCD de dos líneas que permite ver en tiempo real, los valores de nivel y caudal. Cuenta con una impresora integrada en el sistema. Medición de velocidad por el método Doppler y de nivel por el método de transductor sumergido de presión. Rango de velocidad de -1.5 a 6.5 m/s. Exactitud de 0.009 m en el rango de 0.015 a 2.5 m/s.	\$ 5,229.10	\$ 5,229.10



2	1	un	601684088	Paquete de poder 913 de alta capacidad 120V AC Permite conectar directamente el medidor de caudal a una fuente de energía eléctrica 120 VAC. También se utilizar para re-cargar las baterías de Ni-Cd	\$ 272.70	\$ 272.70
3	2	un	601684040	Batería de Níquel-Cadmio, recargable.	\$ 297.10	\$ 594.20
4	1	un	603204029	Base para colocar sensor de Bajo Perfil	\$ 45.00	\$ 45.00
5	1	un	602544044	Cable de comunicación con computadora	\$ 91.30	\$ 91.30
6	1	un	682540201	Software Flowlink versión 5 LE para la adquisición y manejo de datos. Este software permite la descarga de datos de cualquier equipo ISCO. Permite utilizar diferentes unidades de medición, diferentes tipos de conversiones dependiendo del tipo canal o tubería. Permite la creación de gráficas para los parámetros de nivel, velocidad lineal, caudal, temperatura y carga de baterías.	\$ 349.40	\$ 349.40



7	1	un	686700056	Dispositivo para la transferencia rápida de datos desde el medidor 4250 a la computadora. Permite almacenar hasta 490,000 lecturas las que se pueden enviar a una computadora conectándolo por medio de un cable RS232 incluido. Evita el uso de una computadora portátil en el lugar de medición.	\$ 785.30	\$ 785.30
---	---	----	-----------	--	-----------	-----------

**Total Guatemala Ciudad**

**\$ 7,367.00**

**Tiempo de Entrega:** 4 a 6 semanas

**Forma de Pago:** 50% anticipo con O/C. Saldo contra entrega.

Contamos con la opción de **Leasing Financiero** a través de  
Arrendadora Centroamericana

**Validez de la oferta:** 30 días

**Garantía:** 1 Año, cubre únicamente defectos de fabricación y mal funcionamiento  
No incluye partes que se desgasten con el uso normal del equipo.

**Servicio Técnico:** Soluciones Analíticas cuenta con personal capacitado para brindarle  
el mantenimiento preventivo y correctivo que su empresa requiere

**Entrenamiento:** El entrenamiento se proporciona por personal de Soluciones Analíticas  
que incluye entrenamiento en el software y hardware del equipo  
ofertado.

Atentamente,

Ingeniero Edgar Mena  
Servicios Ambientales  
Celular 41505464

---

**Soluciones Analíticas**

# Anexo IV

Cotización del mantenimiento, equipo de bombeo



Guatemala, 11 Junio del 2010

**Señores: Cementos Progresos**  
**Atención: Cynthia Martinez**

Respetable Cynthia Martinez, a continuación presentamos el programa de mantenimiento preventivo anual para Equipo Centrífugo. El cual consiste en una bomba-motor Sta-Rite de 5HP / 460V / 3ph con impulsor de 3".

El mantenimiento preventivo tiene como finalidad, la anticipación a daños mayores, tanto mecánicos como eléctricos, este nos permite realizar cambios de forma planificada de las partes que presentan deficiencia en su rendimiento, producto de desgastes, cumplimiento de su vida útil etc.

La recomendación óptima es de cuatro mantenimientos preventivos al año.

Nuestra propuesta contempla cuatro mantenimientos al año.

## **Mantenimiento Preventivo Equipo Centrífugo**

- Cambio de Sello Mecánico. (trimestral)
- Cambio de cojinetes bomba-motor. (semestral)
- Mantenimiento de Motor. (anual)
- Cambio de kit de Empaques. (trimestral)
- Pruebas de funcionamiento.
- Desmontaje y reinstalación de equipo.
- Mantenimiento de controles eléctricos. (trimestral)

Esta cotización no incluye lo siguiente:

1. Trabajos de ajuste, rebobinado o rectificación de parte de motor y bomba.
2. Repuestos de tablero de control.

**Valor del mantenimiento trimestral Q.3, 950.00**

**Valor de mantenimiento anual Q. 15, 800.00**

Atentamente,  
Pablo Carrillo  
Encargado de Instalaciones  
Departamento de Bombas



Guatemala, 11 Junio del 2010

**Señores: Cementos Progresos**  
**Atención: Cynthia Martinez**

Respetable Cynthia Martinez, a continuación presentamos el programa de mantenimiento preventivo anual para Equipo de Sumidero o Sólidos. El cual consiste en una bomba-motor Myers de 3HP / 460V / 3ph con impulsor de 3".

El mantenimiento preventivo tiene como finalidad, la anticipación a daños mayores, tanto mecánicos como eléctricos, este nos permite realizar cambios de forma planificada de las partes que presentan deficiencia en su rendimiento, producto de desgastes, cumplimiento de su vida útil etc.

La recomendación óptima es de cuatro mantenimientos preventivos al año.

Nuestra propuesta contempla cuatro mantenimientos al año.

## **Mantenimiento Preventivo Equipo de Sumidero o Sólidos**

- Cambio de Sello Mecánico. (trimestral)
- Cambio de cojinetes bomba-motor. (semestral)
- Mantenimiento de Motor. (anual)
- Cambio de Aceite Dieléctrico.(trimestral)
- Cambio de kit de Empaques. (trimestral)
- Pruebas de funcionamiento.
- Desmontaje y reinstalación de equipo.
- Mantenimiento de controles eléctricos. (trimestral)

Esta cotización no incluye lo siguiente:

1. Trabajos de ajuste, rebobinado o rectificación de parte de motor y bomba.
2. Repuestos de tablero de control.

**Valor del mantenimiento Trimestral Q. 5, 225.00**

**Valor de Mantenimiento Anual Q. 20, 900.00**

Atentamente,  
Pablo Carrillo  
Encargado de Instalaciones  
Departamento de Bombas



## PROFORMA Y DESCRIPCION DE EQUIPO y/o SISTEMA DE BOMBEO

Proforma : **PC02-085-10**  
Señores : **Cementos Progreso**  
Atención : **Cynthia Martinez**  
Teléfono/Fax : **5722-7354**  
e-mail :  
Proyecto : **Mantenimiento Equipo Centrifugo**

Fecha: 11 de Junio 2010

Ref. 4.DV.7.020/01

Tenemos el gusto de presentar a continuación la oferta por el equipo o sistema solicitado:

Cantidad	Descripción del Artículo	Precio Unitario	Precio Total	
1	Sello Mecanico	725.00	725.00	
1	Kit de Cojinetes bomba-motor	250.00	250.00	
1	kit de Empaques	250.00	250.00	
1	Mantenimiento motor	675.00	675.00	
1	Kit de materiales varios	300.00	300.00	
1	Servicio de desmontaje y reinstalacion de equipo	1,400.00	1,400.00	
1	Servicio de mano de obra	650.00	650.00	
		Sub-Total	Q.	4,250.00
		Total c/IVA	Q.	4,250.00

### CONDICIONES DE LA OFERTA:

Confirmación : **Orden de compra ó la oferta debidamente firmada y sellada.**

Tiempo de Entrega : **3 a 4 días luego de autorizado**

Lugar de entrega : **Planta Durman**

Vigencia de la oferta: **15 días**

Forma de Pago : **La usual**

Garantía :

### Precios en Quetzales

Notas :

Se le agrega información técnica de los equipos y/o sistemas del fabricante: **NO**

En espera de poder servirle,

Atentamente

\_\_\_\_\_  
Pablo Carrillo  
Encargado de Instalaciones  
Departamento de Bombas  
Cel.

\_\_\_\_\_  
Asesor de Ventas  
Email:  
Cel.

Acepto y confirmo las condiciones antes descritas: \_\_\_\_\_



## PROFORMA Y DESCRIPCION DE EQUIPO y/o SISTEMA DE BOMBEO

Proforma : **PC02-084-10**

Fecha: 10 de Junio 2010

Señores : **Cementos Progreso**

Atención : **Cynthia Martinez**

Teléfono/Fax : 5722-7354

e-mail :

Proyecto : **Mantenimiento Equipo de extraccion de solidos**

Ref. 4.DV.7.020/01

Tenemos el gusto de presentar a continuación la oferta por el equipo o sistema solicitado:

Cantidad	Descripción del Artículo	Precio Unitario	Precio Total	
1	Sello Mecanico	1,800.00	1,800.00	
1	Kit de Cojinetes bomba-motor	550.00	550.00	
1	Galon de aceite dielectrico	250.00	250.00	
1	kit de Empaques	350.00	350.00	
1	Mantenimiento motor	400.00	400.00	
1	Kit de materiales varios	250.00	250.00	
1	Servicio de desmontaje y reinstalacion de equipo	1,400.00	1,400.00	
1	Servicio de mano de obra	650.00	650.00	
		Sub-Total	Q.	5,650.00
		Total c/IVA	Q.	5,650.00

### CONDICIONES DE LA OFERTA:

Confirmación : **Orden de compra ó la oferta debidamente firmada y sellada.**

Tiempo de Entrega : **3 a 4 días luego de autorizado**

Lugar de entrega : **Planta Durman**

Vigencia de la oferta: **15 días**

Forma de Pago : **La usual**

Garantía :

#### Precios en Quetzales

Notas :

Se le agrega información técnica de los equipos y/o sistemas del fabricante: **NO**

En espera de poder servirle,

Atentamente

\_\_\_\_\_  
Pablo Carrillo  
Encargado de Instalaciones  
Departamento de Bombas  
Cel.

\_\_\_\_\_  
Asesor de Ventas  
Email:  
Cel.

Acepto y confirmo las condiciones antes descritas: \_\_\_\_\_



# **Anexo V**

**Cotización, análisis de calidad de agua**

---

**COTIZACIÓN DE SERVICIOS  
1006-0522-EM**

**Presentada a:**

Ingeniera Cinthya Alvarado  
[cinthyaalvarado06@gmail.com](mailto:cinthyaalvarado06@gmail.com)  
Tel. 57227354

**Presentada por:**

Ing. Edgar Mena  
E-mail: [menae@solucionesanaliticas.com](mailto:menae@solucionesanaliticas.com)  
Tel. 41505464

**Fecha:** 14 de junio de 2010

**Estimada ingeniera Alvarado**

Adjunto a continuación la oferta de nuestros servicios de análisis de laboratorio de efluentes de aguas residuales.

**Cotización de parámetros requeridos para evaluación de parámetros** contenidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, vigente desde el 12 de mayo de 2006.

El paquete básico de aguas residuales incluye:  
Temperatura (in situ), Grasas y Aceites, Materia Flotante, Sólidos Suspendidos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (5), Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Potencial de Hidrógeno, Color, Coliformes Fecales

Parámetro	Cantidad de Muestras	Precio Unitario Q	Precio Total Q	Tiempo de entrega
<b>Análisis para muestras de agua residual:</b> muestras simples	3	Q. 1,265.00	Q. 3,795.00	12 días
<b>Muestreo en el próximo monitoreo</b> Incluye costo por kilometraje y muestreo.	1	Q. 240.00	Q. 240.00	

<b>Total</b>			Q.4,035.00	
<b>Los precios incluyen 12% de IVA</b>				

**Otros costos, si se requieren los servicios:**

Parámetro	Cantidad de Muestras	Precio Unitario Q	Precio Total Q	Tiempo de entrega
<b>Muestreo Compuesto Automatizado (equipo ISCO)</b> El equipo se deja por 24 horas	3	Q. 450.00	Q. 1,350.00	
<b>Muestreo</b> Costo adicional de muestreo si se realiza la medición de caudal y/o muestreo compuesto	3	Q. 240.00	Q. 720.00	
<b>Total</b>			Q.2,070.00	
<b>Los precios incluyen 12% de IVA</b>				

**I. Toma de muestras**

- La muestra es tomada en sus instalaciones por nuestro equipo técnico. Se cobrará Q. 2.50 por kilometro recorrido ida y vuelta. También se cobrará el servicio de muestreo

**II. La entrega de resultados**

- Los resultados se entregan a los 12 días hábiles después de ingresada la muestra al sistema del laboratorio.

**III. La forma de pago**

- Se facturará al ingresar las muestras al sistema de laboratorio, pago con efectivo, cheque o depósito a nuestras cuentas.

- 
- Soluciones Analíticas proporciona los recipientes adecuados para la toma de muestras y equipo necesario para transportar las muestras, sin costo adicional.

Agradeciendo la atención a la presente y en espera de vernos favorecidos con sus apreciables órdenes, me suscribo cordialmente

Atentamente

Ing. Edgar Mena  
Servicios Ambientales  
**Soluciones Analíticas S.A.**

# Anexo VI

Encuestas

---



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

RESPONSABLE DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS Inga. Cinthya Alvarado  
LUGAR: PTAR: Humedal Artificial, San Miguel, Cementos Progreso  
FECHA: 9 de marzo del 2010

I. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. No. de Empleados 726  
Horario de trabajo 7:00-16:00

1.2 La empresa trabaja por turnos:  
Si  No  No. de Turnos 2  
Horario de Turno: 9:00-21:00  
Empleados por Turno: 260

II. SISTEMA DE TRATAMIENTO

2.1 Tipo de Sistema: Gravedad  Bombeo  Combinado   
2.2. Fosa Séptica: La de 9 celdas Número de Unidades: 2  
2.2.1 Dimensiones: Largo 1) 7,50 2) 10,00 Ancho: 1) 7,50 y 2) 10,00 Profundidad                     

2.2.2 Estructura: Concreto  Ladrillo  Bloque

2.2.3 Estado de Estructura En buen estado

2.2.4 Frecuencia de Limpieza (N/mes):                     

2.2.5 Estado y Conservación:  
Medición de Caudal:  Entrada  Salida:   
Válvulas de control: Si  No  Operación  Cantidad:   
Estado:

2.2.6 Calidad de Agua:  
Análisis: Si  No   
Punto: Entrada  Salida   
Frecuencia (N/mes)                     

Observaciones:  
Se desconoce la profundidad de la Fosa.  
Son dos Fosas trabajando únicamente 1 la de 9 celdas.  
Las fosas están divididas en : 1 de nueve celdas y 2 de 16 celdas.





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

**2.5. Operación por Bombeo:**

2.5.1 No de Bombas utilizadas

2.5.2 Ubicación de la Bomba:

2.5.3 Finalidad:

2.5.4 Equipo de Bombeo:

2

Entrada  Salida  Otras

Equipo1: Bombear el agua a la entrada del Humedal. Equipo 2 Bombear a áreas verde

(Equipo 1)

Tipo  Eje  Marca  Modelo

Caudal (m<sup>3</sup>/s): \_\_\_\_\_ Velocidad (rpm): \_\_\_\_\_

Altura Dinámica Total (m): \_\_\_\_\_ No. de Impulsores \_\_\_\_\_

Dim. Descarga en (pulg.) \_\_\_\_\_ Potencia (Hp):

Dim. succión en (pulg.)  Función. por día (h) \_\_\_\_\_

(Equipo 2)

Tipo  Eje  Marca  Modelo

Caudal (m<sup>3</sup>/s): \_\_\_\_\_ Velocidad (rpm): \_\_\_\_\_

Altura Dinámica Total (m): \_\_\_\_\_ No. de Impulsores \_\_\_\_\_

Dim. Descarga en (pulg.) \_\_\_\_\_ Potencia (Hp):

Dim. succión en (pulg.)  Función. por día (h) \_\_\_\_\_

(Equipo 3)

Tipo  Eje  Marca  Modelo

Caudal (m<sup>3</sup>/s): \_\_\_\_\_ Velocidad (rpm): \_\_\_\_\_

Altura Dinámica Total (m): \_\_\_\_\_ No. de Impulsores \_\_\_\_\_

Dim. Descarga en (pulg.) \_\_\_\_\_ Potencia (Hp): \_\_\_\_\_

Dim. succión en (pulg.) \_\_\_\_\_ Función. por día (h) \_\_\_\_\_

2.5.5 Motor de la Bomba:

(Equipo 1)

Tipo  Eje  Marca  Cilindro

Función. por día (h) \_\_\_\_\_ Velocidad (rpm): \_\_\_\_\_

No. reparaciones por año: \_\_\_\_\_ Potencia (Hp): \_\_\_\_\_

Estado de Funcionamiento \_\_\_\_\_

Consumo de Comb. (mes) (Gal o Kw.H) \_\_\_\_\_

(Equipo 2)

Tipo  Eje  Marca  Cilindro

Función. por día (h) \_\_\_\_\_ Velocidad (rpm): \_\_\_\_\_

No. reparaciones por año: \_\_\_\_\_ Potencia (Hp): \_\_\_\_\_

Estado de Funcionamiento \_\_\_\_\_

Consumo de Comb. (mes) (Gal o Kw.H) \_\_\_\_\_

(Equipo 3)

Tipo  Eje  Marca  Cilindro

Función. por día (h) \_\_\_\_\_ Velocidad (rpm): \_\_\_\_\_

No. reparaciones por año: \_\_\_\_\_ Potencia (Hp): \_\_\_\_\_

Estado de Funcionamiento \_\_\_\_\_

Consumo de Comb. (mes) (Gal o Kw.H) \_\_\_\_\_