



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**



**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA PTAR MAZATLÁN  
VILLA DE FLORES OAXACA, PARA SU HABILITACIÓN COMO  
HUMEDAL ARTIFICIAL.**

**ÁREA: CIENCIAS AMBIENTALES.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**BIÓLOGA PRESENTA:**

**SALAZAR VELÁZQUEZ MARÍA DEL CARMEN TERESA.**

**DIRECTORA DE TESIS: BIÓL. MARICELA ARTEAGA MEJÍA.**

**CIUDAD DE MÉXICO; ABRIL DE 2016.**

---

---



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS.

Siempre serán parte importante de mi vida, no podría haber sido realizada sin cada uno (a) de ustedes.

A Dios, por permitiéndome llegar a este momento tan especial en mi vida, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más.

(†) Santa Ibarra (Abuela), donde estés sabes que te sigo amando con todo mi corazón , siempre estaré agradecida por todos tus cuidados y atenciones que recibí por parte tuya , gracias por llevarme cada día a la escuela , he aquí el resultado.

Carmen Velázquez (mamá) la gran mujer guerrera que persiste, resiste y no desiste, podría llenar muchas hojas para agradecer cada momento y todo lo que has hecho por mí... más que mi mamá eres mi ejemplo a seguir gracias por tu enorme y gran apoyo sin él no hubiera logrado alcanzar esta meta en mi vida, tu esfuerzo como mamá están siendo reflejados y en esta ocasión quiero dedicarte este trabajo y decirte lo mucho que te amo.

José Manuel y Elvya F. (Mis hermanos) Los amo con todo mi ser, gracias por estar siempre a mi lado, estar cuando más lo necesito (en las buenas y malas) por apoyarme y por ser mis pilares en mi vida.

Amado Salazar (papá). A pesar de la distancia, has estado para escucharme, gracias por tus grandes y sabios consejos siempre me son útiles y los llevo a cabo, me honra mucho saber que tengo un padre ejemplar.

(†) R. Margarita Ponce. Sin ti no podría haber descubierto este maravillo mundo a temprana edad de la biología, gracias por ser mi primera maestra y por haberme incursionado por haber sembrado esa semilla en mí, esperando te sientas orgullosa desde donde estés.

Maricela Arteaga M. Sin duda mi mentora, infinitamente agradecida por su grandiosos y valioso apoyo, gracias por no dejarme caer y hacerme saber que todo en esta vida lleva un tiempo, el destino jamás se equivoca, no pudo ponerme mejor persona para que pudiera enseñarme con esa gran pasión del como se ve y se hace el trabajo en Biología por compartir sus conocimientos, gracias infinitas por todo.

## AGRADECIMIENTOS.

A mis amigas y amigos por estar en este largo camino conmigo, por su apoyo incondicional gracias a cada uno:

Nayeli Becerril querida amiga desde siempre gracias por tu apoyo, Magaly Reyna en las buenas y malas gracias por hacerme creer en mí , Angélica Pérez (Bengie) siempre me has ayudado cuando más lo he necesitado gracias , Carmen Soto (Tamen) por compartir tus conocimientos y tu apoyo incondicional agradezco que estés conmigo, Maribel Alvarado (Mabel) gracias por tus consejos , paciencia y tu apoyo siempre cuenta conmigo, Erika Pérez (Arpía) definitivamente fuiste pieza fundamental para que todo fuera divertido gracias ,Sonia Santiago( Chona) gracias por iniciar conmigo la aventura de mi tesis , Elizabet Vega hija por estar conmigo y enseñarme, Ruth Nieblas a no dejarme vencer, Edith Normandía apoyarme a entender otros mundos , Marisela Soto, Liliana Fabela desde hace mucho me han echaron porras gracias, Gerardo Salazar mi hermano perdido que ya encontré gracias, Cesar Álvarez siempre desatinado en tus miles de ocurrencia en las practicas, Zuriel Dimas, José D. Ordoñez ustedes siempre con sus buenas vibras.

Agradezco por todo su conjunto de conocimientos que lograron poner cada uno de los maestros que estuvo en mi formación.

Este sueño (tesis) estuvo lleno de grandes y de las mejores experiencias demasiada magia, fue divertido, alegre, entristecedor, muchas caídas y levantadas, hasta complejo y en ocasiones dudar de las capacidades de uno mismo, pero bien dicen que lo difícil, lo que cuesta más trabajo, se disfruta más...

Es todo un honor haber culminado mis estudios en mi hermosa escuela la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México, no podría estar más orgullosa de pertenecer a esta máxima casa de estudios.

## Índice

<b>Resumen</b>	<b>4</b>
<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>Marco teórico</b>	<b>6</b>
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	<b>14</b>
<b>Humedales artificiales</b>	<b>16</b>
<b>Variables de diseño</b>	<b>21</b>
<b>Zona de estudio</b>	<b>23</b>
<b>Problemática</b>	<b>30</b>
<b>Justificación</b>	<b>33</b>
<b>Hipótesis</b>	<b>34</b>
<b>Objetivos</b>	<b>34</b>
<b>Método</b>	<b>35</b>
<b>Determinación de los parámetros de campo</b>	<b>35</b>
<b>Trabajo de laboratorio</b>	<b>40</b>
<b>Resultados y análisis</b>	<b>45</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>71</b>
<b>Anexo I</b>	<b>73</b>
<b>Referencias bibliográfica</b>	<b>74</b>

## Resumen

El objetivo de la presente investigación fue realizar la caracterización física, química y biológica de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 del agua residual del barrio Guadalupe en el municipio de Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca. Este lugar se encuentra catalogado como el cuarto municipio más marginado del estado, cuenta con una planta tratadora de aguas residuales (PTAR), que funcionó solamente tres meses, posteriormente se abandonó la operación y mantenimiento debido a los altos costos financieros. El agua residual doméstica y de las actividades artesanales se siguió arrojando de forma directa a los cultivos y barrancas que se encuentran a su paso, por lo que se buscó una alternativa para atenuar el impacto sobre la salud humana. Los muestreos se realizaron en agosto y noviembre de 2013 y enero 2014. En el efluente se registraron temperaturas promedio de 24°C, el pH registró 7.2; los sólidos suspendidos totales alcanzaron 68.18% de remoción, fósforo total 18.76%, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), solamente en agosto la remoción fue de 71.22% para los siguientes meses solo fue de 1.42 y 15.12%, para coliformes totales y fecales logró remover hasta 90%. En el afluente se registró una temperatura de 23°C, el pH registró 6.8 unidades. Las concentraciones de oxígeno disuelto varían gradualmente, en agosto registró una baja oxigenación con 0.9456 mg<sup>l</sup><sup>-1</sup> entre afluente y efluente, en comparación con noviembre y enero llegando hasta 53%, respecto de la concentración inicial, para nitrógeno total en agosto solo se obtuvo una remoción del 5% y para noviembre y enero 35% y 32% respectivamente. Esto sugiere que los procesos de oxidación de materia orgánica no han sido completados, para Demanda Química de Oxígeno (DQO) se alcanzó el 48.98% de remoción la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) alcanzó un 77.47% de remoción.

Los resultados del primer mes de muestreo se deben principalmente a que el Humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS) aún no se encontraba habilitado. La rehabilitación de la PTAR como un humedal artificial se realizó aprovechando la infraestructura existente. Estos sistemas permiten el tratamiento de agua sin hacer uso de energía y sin producir lodos residuales de forma significativa, son altamente eficientes y de bajo impacto al ambiente y es una buena alternativa sustentable adecuada para zonas de escasos recursos.

## Introducción

Castillo (2007) menciona que en México las actividades industriales y municipales generan alrededor de 420 m<sup>3</sup>/seg de aguas residuales, de estos, las municipales aportan 250 m<sup>3</sup>/s y las no municipales 170 m<sup>3</sup>/s. En México se tiene una baja capacidad de tratamiento, 24% en los usos municipales, 13% en los no municipales, básicamente la industria, el reúso es una de las actividades que está muy por debajo de las expectativas y es un área de oportunidad; las acciones de saneamiento son muchas veces frenadas por cuestiones económicas, políticas y sociales (CONAGUA 2011). En Oaxaca la creciente contaminación de las aguas superficiales, se perfila como una amenaza ya que al degradar su calidad, limita considerablemente sus usos (Municipio de Oaxaca, 2012). En el año 2010, se registraron 132 puntos de descargas de aguas residuales crudas en la entidad; el 61% se localiza en ríos y arroyos. Los cuatro municipios que concentran el 14% del total vertido son: San Agustín de las Juntas, San Francisco Cajonos, San Juan Bautista Tuxtepec y Silacayoapam (INEGI, 2010). La Cañada es de las regiones oaxaqueñas con menor capacidad para tratar aguas residuales, con menos de 1% respecto del total estatal, actualmente cuenta con dos plantas tratadoras de aguas residuales en dos municipios (Gov. Edo. Oaxaca, 2011). El 9 de septiembre del 2009 se terminó de construir una planta tratadora de aguas residuales en Mazatlán Villa de Flores, es una de las primeras en la Sierra Mazateca (Ortiz, 2009). Actualmente no está en operación total, la infraestructura está subutilizada, fue abandonada debido al alto costo de energía eléctrica e insumos químicos. Solamente se utiliza el cárcamo, en él se concentran las aguas residuales del barrio Guadalupe, que posteriormente son vertidas sin recibir tratamiento a los campos de cultivo. Los humedales construidos son una tecnología para tratar aguas residuales, son fáciles de operar, tienen baja producción de lodos residuales, de bajo o nulo consumo energético, o escaso para airear el agua o recircularla y no requieren de reactivos químicos. La infraestructura para su construcción es simple y asequible, su mantenimiento es relativamente fácil y económico. Es una tecnología adecuada para ser aplicada en proyectos de cooperación dado que no genera dependencia tecnológica. Al aprovechar la infraestructura de la PTAR y rehabilitarla como humedal artificial, se obtendrá agua tratada de calidad para ser vertida de forma segura a los cultivos.

## Marco Teórico

### Contaminación del agua

La demanda de agua a nivel nacional es del orden de 78.4 mil millones de m<sup>3</sup> (mmm<sup>3</sup>). Para satisfacerla se extrae de fuentes superficiales y subterráneas 66.9 mmm<sup>3</sup>. Adicionalmente, esta demanda se satisface con un volumen de 11.5 mmm<sup>3</sup>, de los cuales, 6.5 mmm<sup>3</sup> provienen de acuíferos sobreexplotados. Los patrones de uso del agua y la aplicación de los instrumentos para administrar las aguas nacionales, en cantidad y calidad, obligan a enfrentar cuatro grandes desafíos de los que depende la sostenibilidad del uso y aprovechamiento: (i) La sobre explotación de acuíferos; (ii) la sobre concesión de aguas superficiales; (iii) la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos y (iv) los impactos del cambio climático y la capacidad para adaptarse a ellos. Cabe señalar que el mayor porcentaje de la demanda se concentra en el sector agrícola, la superficie dedicada a la agricultura en México es de aproximadamente 21 millones de hectáreas (10.5% del territorio nacional) y de ellas, 6.5 millones son de riego y 14.5 de temporal. La productividad de las áreas de riego es, en promedio, 3.7 veces mayor que las de temporal y a pesar de su superficie sustancialmente menor, la agricultura de riego genera más de la mitad de la producción agrícola nacional (CONAGUA, 2010).

La contaminación de los cuerpos de agua se debe a la deforestación generalizada, la pérdida del suelo y los procesos de erosión acelerada con la disminución de la capacidad de cauces y vasos, por azolvamiento. El problema es relevante toda vez que impacta a uno de los elementos clave del desarrollo, pues con el agua se sostienen diversas actividades vinculadas con la economía de la región, como son la agricultura y la industria (Gob. Edo. Oaxaca, 2011).

Las estadísticas del agua en México reflejan que en los últimos años se ha incrementado la cobertura de agua potable y alcantarillado para los hogares, sobre todo urbanos, sin embargo el tratamiento de las aguas usadas por la población no ha aumentado en la misma proporción.



Así, mientras se cubre el 90.3% de las necesidades de agua potable en el país, y el 86.4% del alcantarillado, tan sólo el 40.2% de las aguas residuales son tratadas (CONAGUA, 2010).

En Oaxaca existe un total de dos mil 82 fuentes de abastecimiento de agua, de las cuales, 181 se ubican en la región de la Cañada, representando 8.9% del total. La principal fuente de abastecimiento de agua en el estado son los manantiales, con un volumen promedio diario de extracción de 20 mil 797 metros cúbicos, que significa 99.9% del total del volumen de agua extraída en la entidad (Planes de Regionales de Desarrollo de Oaxaca, 2011-2016). De acuerdo con los datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda 2010, la disponibilidad de agua entubada en viviendas es de 47.9% en la región, lo que la ubica por debajo del promedio estatal de 68.9% y muy por debajo del promedio de cobertura nacional de 88.7%. El 50.2% de las viviendas disponen de drenaje, más abajo del promedio estatal de 70.3% y del nacional de 88.8%. El 96.3% de las viviendas disponen para su uso en sanitario, mientras que el promedio estatal es de 93.9%, y el nacional de 93.8% (INEGI, 2010).

### **Calidad del agua**

Para determinar la calidad del agua necesitamos conocer algunas características que afectan su posible uso, resulta complicado definir una forma única de medir su calidad. En general se puede hablar de dos métodos: los que utilizan como referencia parámetros físicos y químicos, y los que emplean algunos atributos biológicos como especies indicadoras o características de los ecosistemas naturales que permiten evaluar que tan alterado se encuentra un cierto cuerpo de agua. Los métodos más utilizados, principalmente por su facilidad y su aplicación más general son los basados en parámetros físicos y químicos como, por ejemplo, la concentración de oxígeno disuelto, la concentración de compuestos con nitrógeno y fósforo (como los nitratos y los fosfatos) y el contenido de materiales tóxicos como los metales pesados.

De uso más reciente son los llamados indicadores biológicos que utilizan ya sea especies individuales o bien comunidades completas, bajo la premisa de que los indicadores biológicos -como los peces, invertebrados, algas y protozoarios- son capaces de detectar y responder a los cambios de diversas variables ambientales-no

sólo químicas, que resultan en la degradación de los recursos acuáticos (CONAGUA, 2008).

La Ley de Agua Nacionales (2008) define a las agua residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. La NOM-001-ECOL-1996 define a las aguas residuales tratadas como aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público (NOM-001-ECOL-1996).

Las aguas residuales tratadas son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público (NOM-003-ECOL-1997). En México sólo el 5% de los cuerpos superficiales del país presentan excelente calidad, 22% presentan condiciones aceptables después de pasar por un tratamiento potabilizador, 49% poco contaminado y 24% muy contaminado sin poder hacer uso (CONAGUA, 2013).

### **Indicadores de calidad del agua**

Para evaluar la calidad del agua se ha decidido utilizar tres parámetros indicadores de la misma, que muestran la influencia antropogénica desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciada.

Para ello se ha considerado utilizar la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), (cuadro 1, 2 y 3) la  $DBO_5$  y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua proveniente principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal.

La DBO<sub>5</sub> determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la DQO mide la cantidad total de materia orgánica e inorgánica presentes. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los SST tienen su origen en las aguas residuales y erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana; hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipal, así como áreas con deforestación severa (CNA, 2007).

En los cuadros 1, 2 y 3 se muestran los criterios, clasificación y color para valorar la calidad del agua.

Cuadro 1. Clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
$DQO \leq 10$	<b>EXCELENTE</b> No contaminada	<b>AZUL</b>
$10 < DQO \leq 20$	<b>BUENA CALIDAD</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	<b>VERDE</b>
$20 < DQO \leq 40$	<b>ACEPTABLE</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	<b>AMARILLO</b>
$40 < DQO \leq 200$	<b>CONTAMINADA</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	<b>NARANJA</b>
$DQO > 200$	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	<b>ROJO</b>

Fuente: Subdirección General Técnica, CONAGUA 2005

Cuadro 2, Escala de clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
$DBO_5 \leq 3$	<b>EXCELENTE</b> No contaminada	<b>AZUL</b>
$3 < DBO_5 \leq 6$	<b>BUENA CALIDAD</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	<b>VERDE</b>
$6 < DBO_5 \leq 30$	<b>ACEPTABLE</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	<b>AMARILLO</b>
$30 < DBO_5 \leq 120$	<b>CONTAMINADA</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	<b>NARANJA</b>
$DBO_5 > 120$	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	<b>ROJO</b>

Fuente: Subdirección General Técnica, CONAGUA 2005

Cuadro 3, Escala de clasificación de la calidad del agua conforme a los Sólidos Suspendidos Totales (SST)

SST ≤ 25	<b>EXCELENTE</b> Clase de excepción, muy buena calidad	AZUL
25 < SST ≤ 75	<b>BUENA CALIDAD</b> Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto	VERDE
75 < SST ≤ 150	<b>ACEPTABLE</b> Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido	AMARILLO
150 < SST ≤ 400	<b>CONTAMINADA</b> Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido	NARANJA
SST > 400	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces	ROJO

Fuente: Subdirección General Técnica, CONAGUA 2005.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es un sistema cualitativo que permite hacer comparaciones de niveles de contaminación en diferentes áreas. El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones. Éste índice consideró 18 parámetros para su cálculo con distintos pesos relativos ( $W_i$ ), según la importancia que se le concedía a cada uno de ellos en la evaluación total (cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros y pesos relativos del ICA.

Parámetro	Peso ( $W_i$ )	Parámetro	Peso ( $W_i$ )
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5.0	Nitrógeno en nitratos	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	3.0	Potencial de Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales	2.0	Cloruros	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal	2.0	Turbiedad	0.5

Fuente: (SEMARNAT 2010).

Desarrollo: El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas: La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua. La segunda etapa involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro ( $I_i$ ). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación ( $W_i$ ) según su orden de importancia respectivo. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua (SEMARNAT, 2010).

De acuerdo a la NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de agua residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, estos no deben ser superiores a los indicados en el cuadro 5. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Cuadro 5. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Fuente: NOM-002-SEMARNAT-1996

En la LGEEPA Artículo 119 BIS.- En materia de prevención y control de la contaminación del agua, corresponde a los gobiernos de los Estados y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua, así como al del Distrito Federal, de conformidad con la distribución de competencias establecida en esta Ley y conforme lo dispongan sus leyes locales en la materia:

- I.- El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado;
- II.- La vigilancia de las normas oficiales mexicanas correspondientes, así como requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no cumplan con éstas, la instalación de sistemas de tratamiento;
- III.- Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva, pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar, y
- IV.- Llevar y actualizar el registro de las descargas a los sistemas de drenaje y alcantarillado que administren, el que será integrado al registro nacional de descargas a cargo de la Secretaría.

## Tratamiento de aguas residuales

Para cumplir con la calidad que exige la normatividad nacional en materia de aguas residuales, se han empleado diversos tratamientos ya sean físicos, químicos y biológicos (cuadro 6).

Cuadro 6. Tratamientos para aguas residuales

Lodos activados	Reactor anaerobio de flujo absorbente
Laguna de estabilización	Humedal artificial
Primario avanzado	Tanque imhooff
Lagunas aireadas	Discos biológicos
Dual	Tanque séptico
Filtros biológicos	Reactor enzimático
Zanjas de oxidación	

Elaborado a partir de información de la CONAGUA (2010).

Al término del año 2010 en el país, existían registradas 645 plantas potabilizadoras en operación, con una capacidad total instalada de 135,391.96 L/s y un caudal potabilizado de 91,722.81 L/s. Al cierre de 2011, el registro de plantas en operación aumentó a 653 unidades, con capacidad instalada en conjunto de 134,530.69 L/s y caudal potabilizado de 94,647.17 L/s. Esto significó un incremento en el ejercicio del 3.1% en el caudal de agua potabilizada (CONAGUA, 2011).

Dentro de la infraestructura hidráulica con la que cuenta el país para proporcionar el agua requerida para los diferentes usuarios nacionales, destaca la siguiente:

- 4,462 presas y bordos de almacenamiento.
- 6.50 millones de hectáreas con riego.
- 2.9 millones de hectáreas con temporal tecnificado.
- 631 plantas potabilizadoras en operación.
- 2,029 PTAR municipales en operación (CONAGUA, 2011)

De las plantas en operación destacan 64 instalaciones nuevas, con una capacidad instalada de 4.5 m<sup>3</sup>/s y 2.7 m<sup>3</sup>/s en operación, más 4 plantas de tratamiento rehabilitado y ampliado, que constituyen una capacidad de tratamiento adicional de 782 L/s. (De la Peña *et al*, 2013). Del total nacional de agua residual generada, Oaxaca contribuye con el 1.5% que lo ubica en el lugar 24° del país y del total



nacional de PTAR municipales, Oaxaca aporta el 3.1% ocupando el lugar 24°. Respecto del total de las PTAR industriales solo aporta el 0.5%, lo ubica en el lugar 26°, de los 3,531 L/seg de aguas residuales que genera el Estado de Oaxaca, colecta 2,376l L/seg, la cobertura de tratamiento es del 41%, ocupa el lugar 19° a nivel nacional (INEGI, 2012). Mazatlán Villa de Flores es uno de los municipios del estado con la más baja cobertura en tratamiento de aguas residuales (Figura 1)



*Figura 1. Descarga de aguas residuales hacia una barranca, Mazatlán Villa de Flores Oaxaca.*

Una planta potabilizadora es parte de un sistema de abastecimiento, el cual puede contar con una o varias potabilizadoras y hacer uso de diversos tipos de fuentes de suministro, los aspectos relacionados con la planta potabilizadora, los datos mínimos por definir son:

- Periodo de planeación
- Área de abastecimiento
- Capacidad máxima diaria
- Crecimiento a futuro
- Fuente de suministro
- Sitio de ubicación
- Financiamiento

Las principales fuentes de lodos son los procesos de desarenación, coagulación, floculación, sedimentación, precipitación y lavado de filtros. La cantidad y calidad de los lodos es muy variable y depende de la calidad del agua, los reactivos que se emplean y la forma de operar el proceso (CONAGUA, 2007).

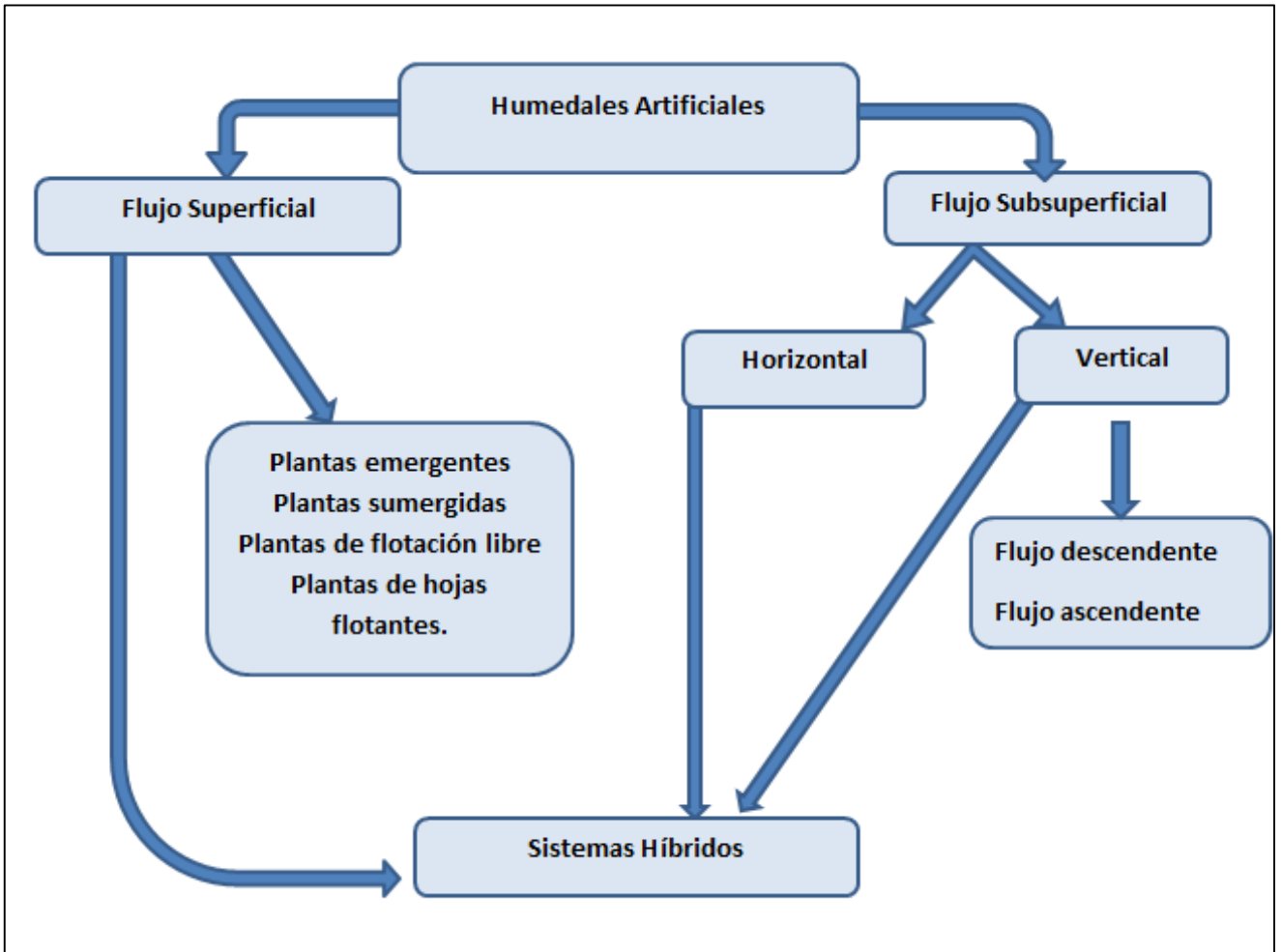
Las PTAR representan un problema, ya que en la mayoría se ha optado por métodos convencionales de tratamiento, en particular por el de lodos activados que requiere de un uso intensivo de productos químicos y de energía en el proceso, genera emisiones de contaminantes al aire (como amoníaco) y tiene como residuo grandes cantidades de lodos tóxicos para los que no se tienen sitios seguros de disposición final. Respecto a lo económico, al tratarse de obras de ingeniería especializada muy costosa, este tipo de plantas de tratamiento de agua quedan fuera del alcance de muchos municipios (Ramón, 2010).

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, solo el 36% de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración (Romero, *et al.* 2009).

De entre los procesos de tratamiento están los humedales artificiales (HA) que son utilizados generalmente para aguas residuales de tipo doméstico, aunque también han funcionado para aguas de origen industrial (Fenoglio, 2000).

### **Humedales artificiales**

El tratamiento de las aguas residuales por humedales artificiales (HA), (Vymazal, 2008), (figura 2) se basa en los principios de los sistemas naturales, por lo que, a pesar de la intervención del hombre, se han catalogado como “sistemas naturales de tratamiento”. Por tal motivo, esta tecnología resulta altamente atractiva, por su versatilidad y rentabilidad económica (Romero, 2009).



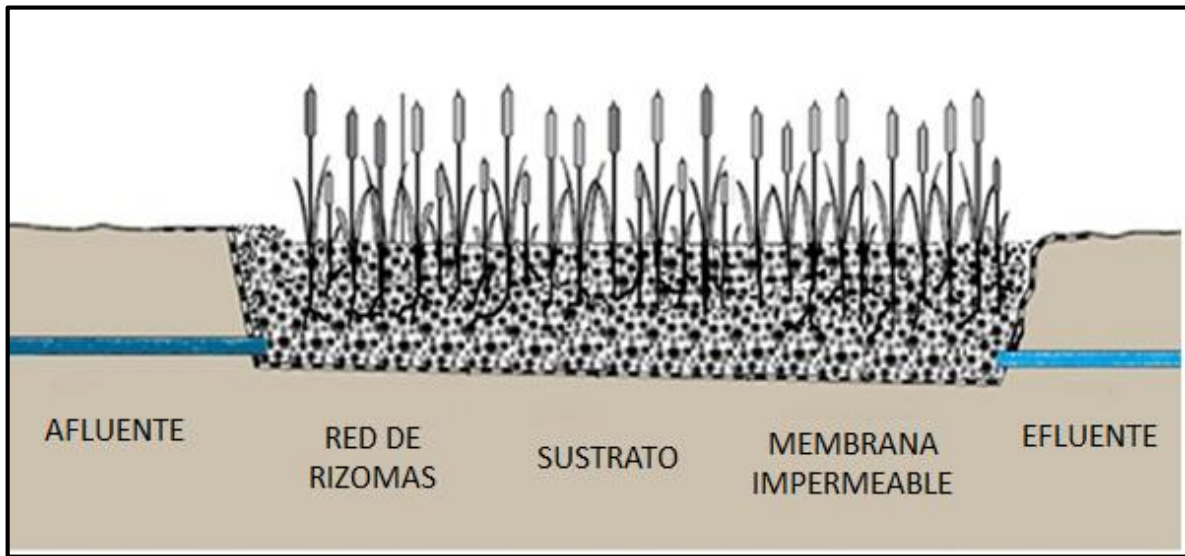
Fuente de: Vymazal 2010.

Figura 2. Clasificación de humedales

En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas.

Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora. En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas (figura 3).

Figura 3. Humedal de flujo subsuperficial



Fuente: Vymazal 2005

Las principales diferencias de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos, y mayor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible.

### Humedales de flujo vertical

Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno. La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado.

La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica); pero, son más susceptibles a la colmatación (García J y Hernández A. 2008)

## **Humedales de flujo horizontal**

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie). Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos: (1) estructuras de entrada del afluente, (2) impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada, (3) medio granular, (4) vegetación emergente típica de zonas húmedas, y (5) estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua.

## **Diseño de humedales**

Los humedales artificiales son sistemas que han sido diseñados y construidos para utilizar los procesos naturales relacionados con la vegetación de los humedales, los suelos, y sus ensambles microbianos asociados para ayudar en el tratamiento de aguas residuales (Vymazal, 2006).

Proceso de tratamiento mecánico del humedal, la comprensión de los mecanismos de tratamiento es esencial para que el diseño de los sistemas de humedales pueda ser mejorado para un mejor rendimiento del tratamiento. Los principales mecanismos para la eliminación de contaminantes en los humedales artificiales incluyen los procesos biológicos, como la actividad metabólica microbiana y absorción de las plantas, así como los procesos físico-químicos como la sedimentación, adsorción y precipitación (Binti, 2010).

## **Variables de diseño**

### **Remoción de materia orgánica**

En los sistemas de humedales, la degradación microbiana desempeña un papel dominante en la remoción de materia soluble/coloidal orgánica biodegradable (DBO o DQO) en las aguas residuales, la DBO restante asociada con sólidos sedimentables es removida por sedimentación.

Tanto los sistemas de flujo subsuperficial (FWSS) y Flujo Libre (FWS) funcionan esencialmente como reactores biológicos de crecimiento adjunto. Para los sistemas FWS, la contribución de los microbios en suspensión.

El crecimiento de la columna de agua para la remoción de DBO también debe tenerse en cuenta. El mecanismo de la eliminación de la DBO en las biopelículas que es similar a la de los filtros percoladores. La biodegradación tiene lugar cuando la materia orgánica disuelta realiza el proceso de difusión en la biopelícula sobre las plantas sumergidas tallos, el sistema de raíces y el suelo o el medio circundante. El papel de la vegetación en los humedales es proporcionar un medio de apoyo a la degradación microbiana a tener lugar y transporte de oxígeno a la rizósfera para la biodegradación aeróbica (Binti, 2010).

Sólidos sedimentables se elimina fácilmente mediante la sedimentación por gravedad, los sistemas de humedales generalmente tienen largos tiempos de retención hidráulicos. Los sólidos no asentados / coloidal se eliminan a través de mecanismos que incluyen: Esfuerzo, sedimentación y biodegradación. Los tipos de mecanismo de eliminación en el proceso son muy dependientes de los tamaños y la naturaleza de los sólidos presentes en las aguas residuales y los tipos de medios de filtro utilizadas. Vegetación de los humedales tiene un papel insignificante para jugar en la remoción de sólidos (Binti, 2010).

Aunque la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción. En el sustrato reducen la velocidad del agua, favoreciendo ambos procesos. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal. La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos (Brix en Kolb, 1998, citado en Delgadillo *et al.*, 2010).

## Cálculo de las variables de diseño

El criterio para la selección de las variables se realiza a partir de la concentración máxima registrada de los parámetros de muestreo, misma que es contrastada con los LMP de la NOM-002-SEMARNAT-1996. Al respecto, el empleo de múltiples variables permitió dimensionar la superficie necesaria para tratar los diferentes contaminantes presentes en el influente, la validez del diseño estará sustentada en el contaminante que requiera la mayor área para su remoción (López, 2011)

De acuerdo con Buchberger y Shaw (1995) las ecuaciones de diseño se basan en dos premisas:

I. Los HA son sistemas biológicos que operan con una cinética de primer orden, de acuerdo a la siguiente ecuación que define la tasa de remoción de contaminantes en función de la DBO<sub>5</sub>:

$$C_e = C_i \exp^{-t/K_T} \quad (1)$$

Donde  $C_e$  y  $C_i$  son las concentraciones del efluente y del influente en  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $t$  es el tiempo de tratamiento (en días) y  $k_T$  es una constante cinética dependiente de la temperatura (en  $\text{d}^{-1}$ ), la cual puede obtenerse a partir de la siguiente relación (Delgadillo *et al.*, 2010):

$$K_T = 1.104 \times 1.06^{T_i - 20} \quad (2)$$

Donde  $T_i$  es la temperatura del influente.

Cabe destacar que las constantes asociadas a los modelos de diseño son parámetros del sistema que dependen de las variaciones de operación del mismo; por lo que los valores de  $k_T$  descritos en la literatura difieren entre sí. Los HAFS tienen valores de  $k_{20^\circ\text{C}} \approx 0.50$ , mientras que los HAFSS presentan valores de  $k_{20^\circ\text{C}}$  de 1.10 (Delgadillo, *et al.*, 2010).

II. El flujo a través del sistema es uniforme y sin interrupciones, con un tiempo de tratamiento igual a:

$$t = \frac{Anh}{Q} \quad (3)$$

Donde A es el área de tratamiento (en m<sup>2</sup>), n es la porosidad del sustrato (en %), h la altura del humedal (en m) y Q es gasto promedio del influente (en m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>). Éste último puede ser calculado como sigue:

$$Q = \frac{Q_i + Q_e}{2} \quad (4)$$

Donde Q<sub>i</sub> y Q<sub>e</sub> son los flujos del influente y del efluente respectivamente. Cabe señalar que para hacer el diseño preliminar se asumirá que Q<sub>i</sub> y Q<sub>e</sub> son iguales.

La combinación de las ecuaciones 1 y 3 dará el área necesaria para un humedal:

$$A = \frac{Q}{n h k_T} \ln \left| \frac{C_i}{C_e} \right| \quad (5)$$

Las dimensiones finales del sistema deberán elegirse para satisfacer la ecuación 5, pero sujetas a una relación de aspecto b:a que ofrezca menores costos de construcción y una mejora en el control hidráulico. Para obtener una relación largo-ancho de 1:3 el ancho y el largo se calcularán como sigue:

$$a = \sqrt[2]{\frac{A}{3}} \quad (6)$$

$$b = \frac{A}{a} \quad (7)$$



Cabe señalar que el diseño dado por las ecuaciones anteriores, y por otras ecuaciones de diseño, tiene inconvenientes, por lo que serán tomadas en cuenta durante el diseño (Buchberger y Shaw, 1995; Rousseau *et al.*, 2004):

- La tasa de remoción de contaminantes y el tiempo de retención hidráulica son simplificaciones de las condiciones reales, por lo que no son probables que existan en la práctica.
- No hay un consenso universal de que la cinética de reacción para el sistema sea de primer orden, debido a que en estos sistemas se altera la tasa de remoción de contaminantes como consecuencia de los procesos internos de descomposición; por lo que este hecho debería de ser incluido en la ecuación de diseño.
- En la práctica, los humedales artificiales no presentan un comportamiento ideal de flujo a pistón.

La contaminación del agua en México ha obligado a la búsqueda de alternativas de solución técnica y económicamente viables para su tratamiento (Durán-de-Bazúa, 2006), su reutilización ha sido provocada por la escases muy marcada en diferentes zonas del país. El tratamiento del agua residual a través de humedales artificiales (HA) es una alternativa, ya que su base radica en los principios de los sistemas naturales por ello son denominados ecotecnologías, además, por su rentabilidad económica, mantenimiento relativamente sencillo y bajo costo financiero (García y Corzo, 2008; Durán-de-Bazúa *et al.* 2005; citados en Durán-de-Bazúa, 2006).

## **Zona de estudio**

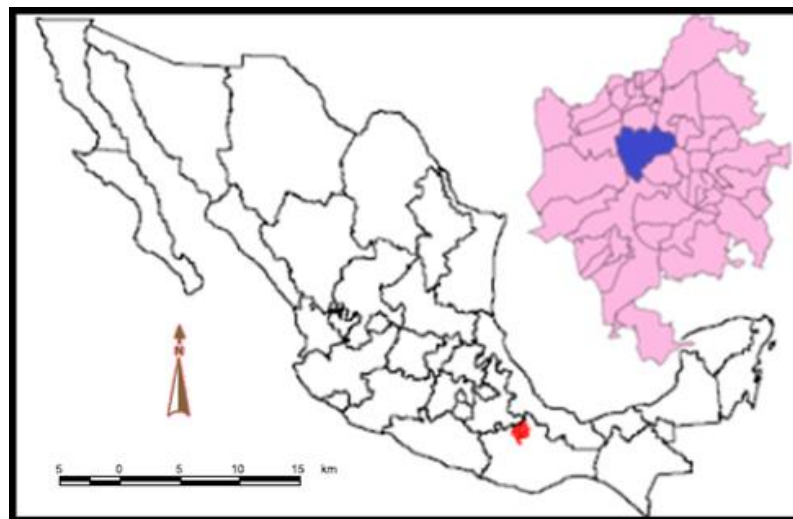
### **Localización**

En el estado de Oaxaca se encuentra el municipio de Mazatlán Villa de Flores limita al norte con Tecomavaca hasta Nopalera, al sur con el municipio de Huautla de Jiménez, al oriente con la agencia municipal de San Isidro Zoquiapam, que pertenece a San Lucas Zoquiapam y al poniente con el municipio de Cuyamecalco. Geográficamente se encuentra comprendido entre el 18° 01' de LN

y los 96° 55' de LO, con una altitud de 1,140 metros (figura 4). Se ubica a 198 km al noroeste de la capital del estado (INAFED, 2010).

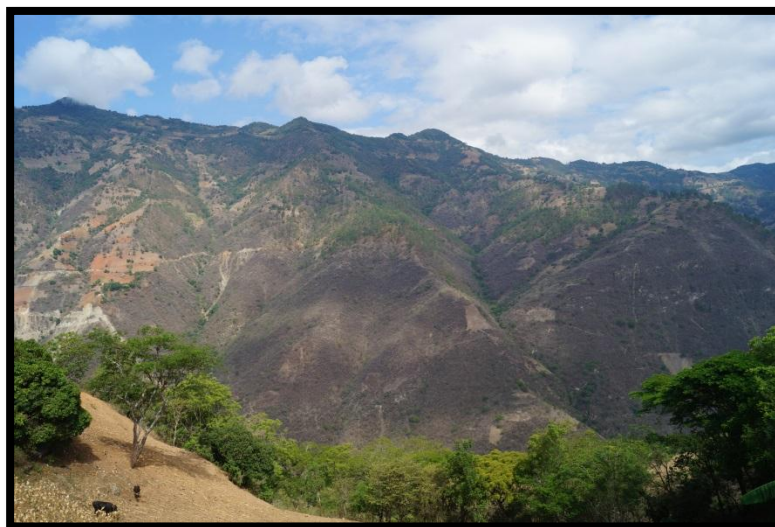
### Extensión

La superficie total del municipio es de 137.79 km<sup>2</sup>, respecto al total del estado representa el 0.145 % (INAFED, 2010). En la figura 5 puede observar algunos de los tipos de vegetación natural del sitio y su grado de conservación.



FUENTE: INEGI 2000.

*Figura 4. Mapa con ubicación de la localidad.*



*Figura 5. Vista de la Sierra Mazateca, Oaxaca.*

## **Orografía**

La extensión del municipio y su ubicación geográfica que es una zona netamente montañosa, dan origen a una gran variedad de montes, peñas y cerros; de estos últimos se cuenta con varios cerros como son: El Quemado, el de Agua de Cerro, el Pelón, el Piedra Boluda, Peña Blanca, el Águila, el Platanillo y Malangares; también se identifica a una cordillera de cerros ubicada en los terrenos del municipio conocida con la generalidad del cerro Pochotepec, así como el cerro Loma Celosa (INAFED, 2010).

## **Hidrografía**

Entre los ríos más importantes se puede destacar el río Chico, también denominado río Verde; el río Grande el cual baja de Cuicatlán llegando hasta el cerro campana en donde forma una laguna que se llama Igualeja y el río Frío (que es una cueva donde nace el agua). En loma Celosa, que se ubica a 30 Km aproximadamente de la población, se encuentra una cascada que se llama Agua Tehuacán (INAFED, 2010).

## **Clima**

El clima predominante es frío en las partes altas del municipio; en las partes bajas se siente más calor, lo que provoca un clima templado. Las lluvias fuertes comienzan en junio hasta octubre (INAFED, 2010).

## **Vegetación**

Se describen nueve tipos de vegetación y dos más considerados dentro de las categoría de otros tipos, de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1978), siendo estos: Bosque tropical caducifolio, matorral xerófilo, bosque espinoso, pastizal, bosque de *Quercus*, bosque de coníferas, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical subcaducifolio y vegetación acuática y subacuática, además Rzedowski (*op. cit.*) Incluye otros tipos como: palmar y bosque de galerías.

## Flora

En cuanto a flora, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán está representado por 57 especies de musgos, como parte de la flora no vascular documentada para esta zona, y por 180 familias, 891 géneros y 2 mil 686 especies de la flora vascular (Dávila *et al.*, 1993, en: Dávila *et al.*, 2002). La riqueza florística del Valle Tehuacán-Cuicatlán se observa mejor cuando se comparan las familias más diversas de México como las Asteraceae, Fabaceae, Orchidaceae, Poaceae, Cactaceae y Lamiaceae. El Valle contiene aproximadamente 10% de las 30 mil especies de plantas vasculares descritas para México. Este porcentaje aumenta a 11.4%, si se consideran las estimaciones de diversidad florística realizadas por Rzedowski (1993), en donde para México se reconocen 22 mil 800 taxa de plantas vasculares, lo que demuestra que el Valle de Tehuacán-Cuicatlán tiene entre 10-11.4% de la diversidad florística a nivel nacional, en aproximadamente 10 000 Km<sup>2</sup>. Comparado con otros estados del país y con otras áreas naturales con ecosistemas similares el Valle de Tehuacán-Cuicatlán ocupa el primer lugar en diversidad de flora con 2 mil 686 especies y 0.26 especies/Km<sup>2</sup>, con 365 especies endémicas de plantas vasculares (13.6%), de las cuales 82%, se han registrado dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (RBTC). Lo que le da el primer lugar en especies endémicas y por lo tanto en importancia para la protección de la riqueza florística de las zonas áridas y semiáridas de México (Méndez-Larios *et al.*, 2004).

## Fauna

Al igual que otras regiones del país, en la RBTC se presentan elementos de la región Neártica y Neotropical. Entre los vertebrados se reportan 14 especies de peces, 28 de anfibios, 83 de reptiles, de las cuales 20 son endémicas; 338 especies de aves, de ellas 5 son endémicas. 102 especies de mamíferos, de estas, 11 son endémicas y 26 se encuentran catalogadas en riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental: Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (CONANP, 2013).

## Perfil Demográfico y Económico

En Oaxaca existe una población total de 3, 801,962 habitantes (INEGI, 2010) de los cuales 59.2% viven en municipios categorizados como ZAP. Este estado concentra una buena parte de los recursos destinados a escala nacional para el desarrollo de obras de infraestructura básica en municipios ya que 465 de los 570 componen Oaxaca entran en esta categoría de prioridad. La presencia de la Unidad de Microrregiones de la SEDESOL en el estado de Oaxaca es importante. El municipio de Mazatlán Villa de Flores con 12 934 habitantes, tiene una población predominantemente indígena, 80% son hablantes de mazateco y 30%, monolingües (figura 6).



*Figura 6. Pobladores Mazatecos*

La oferta de servicios de salud y educación es muy limitada. Se ubica en una zona montañosa con gran variedad de montes, peñas y cañadas, donde apenas existen brechas y caminos de terracería que conducen a los principales caminos que conectan al municipio con las poblaciones de Huautla de Jiménez y Teotitlán Flores Magón, importantes nodos en la región. Conforme a la valoración del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), Mazatlán Villa de Flores es uno de los 125 municipios más pobres del país; ocupa el lugar 57 a nivel nacional, de acuerdo con su muy alto índice de rezago social (IRS 2.05039), y participa en la estrategia 100 x 100 de la SEDESOL.

Según el Consejo Nacional de Población CONAPO (2005), su índice de marginación (IM 2.07399) también es muy alto y lo sitúa en el lugar 76 en el país (Sánchez, 2012).

Los municipios de la Cañada Mazateca son entidades menores a los 5 000 habitantes, se comprenderá que la vasta mayoría de población indígena de la región habita en zonas rurales que se caracterizan por tener un asentamiento disperso. De hecho, la gran mayoría de la población indígena de la Cañada Mazateca está distribuida en localidades que cuentan con un volumen de población menor a 2 500 habitantes. De ahí que de cada 100 personas que forman parte de hogares indígenas, sólo 10 residan en localidades medianas o en las ciudades de la región (Comisión Nacional Para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2008).

En promedio, los hogares tienen 4.7 integrantes; los más comunes son de cinco, seguidos de cuatro y tres. Hay nueve personas que viven solas y ocho familias de más de nueve integrantes. Por otra parte, 76% son hogares en los cuales existe un único núcleo conyugal, 21% con dos y sólo 3% con tres o más. Esta información nos revela que el segundo núcleo conyugal normalmente convive en el hogar por la incapacidad de mantener un hogar independiente (Sánchez, 2012).

Entre las actividades más comunes según la encuesta de localidad; hacemos notar que los porcentajes exceden 100% porque se incluyen datos de personas que se dedican a más de una actividad y el porcentaje fue calculado sobre el total de personas que aportan a la economía doméstica, de acuerdo con la misma encuesta. Por orden de frecuencia, son: 37% “campesino(a) de auto subsistencia” (figura 7), 31% “peón o jornalero(a) agrícola”, 25% “otras” actividades, 15% “pequeña(o) comerciante”, 7% “albañil” y 5% “afanador” la pregunta del sector donde se trabaja, las respuestas son: 59% en el campo, 15% en comercio, 14% en servicios, 10% en construcción y 8% en otros. Los medios de producción son propios en 63% de los casos y en 53%, de terceros.

En cuanto a las actividades, 88% son de tipo “manual/físico”, 14% “técnico/calificado” y sólo 2% “profesional”.

Las condiciones de vida de los hogares y la infraestructura de sus entornos juegan un papel sustancial para limitar o promover el acceso efectivo a los principales programas sociales y a la información sobre sus beneficios.



*Figura 7. Actividad para auto sostenimiento de campesinos mazatecos.*

En este sentido, es importante conocer si existen estrategias que den prioridad a la inyección de recursos en las zonas que presentan marcadas insuficiencias y rezagos de desarrollo social (figura 8), como caminos, redes de energía eléctrica y agua potable, así como sistemas de comunicación (Sánchez 2012).



*Figura 8. Vivienda Mazateca sin servicios básicos*

Mazatlán Villa de Flores es una de las Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) constituye, según el artículo 30 de la Ley General de Desarrollo Social decretada por la Cámara de Diputados, “áreas o regiones de carácter rural o urbano cuya población registra índices de pobreza y marginación (Figura 9), indicativos de marcadas insuficiencias y rezagos en el ejercicio de los derechos para el desarrollo social establecidos por la ley.



*Figura 9 Material combustible para cocinar alimentos.*

## **Problemática**

El estado de Oaxaca es rico en recursos naturales, presenta regiones y climas que propician la existencia de un gran número de especies de flora y fauna silvestre, así como una hidrografía extensa y abundante, pero debido a lo accidentado de la región es de muy heterogénea distribución tanto desde el punto de vista geográfico como climatológico, la hidrografía del estado resulta muy complicada por la gran cantidad de corrientes, que se dividen en dos vertientes generales: la del Golfo de México y la del Océano Pacífico.

Oaxaca cuenta con un total de dos mil 82 fuentes de abastecimiento de agua, de las cuales, 149 se ubican en la región de la Cañada, lo que representa 7.4% del total de los sistemas instalados en el estado. La principal fuente de abastecimiento



de agua en el estado son los manantiales, con un volumen promedio diario de extracción de 20 mil 797 m<sup>3</sup>, que significa 99.9% del total del volumen de agua extraída en la entidad (Gob. Edo. Oaxaca, 2011).

De acuerdo con los datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda 2010, la disponibilidad de agua entubada en viviendas es de 47.9% en la región, lo que la ubica por debajo del promedio estatal de 68.9% y muy por debajo del promedio de cobertura nacional de 88.7%. El 50.2% de viviendas disponen de drenaje, más abajo del promedio estatal de 70.3% y del nacional de 88.8%. El 96.3% de las viviendas disponen de escusado o sanitario, mientras que el promedio estatal es de 93.9%, y el nacional de 93.8% (INEGI, 2010). La región enfrenta dificultades tanto por la falta de cobertura a la población de mayor rezago social y en zonas rurales, como de infraestructura (que abarca el alcantarillado). La Cañada posee abundancia del líquido, pero presenta problemas de contaminación, principalmente por inundaciones y descargas de aguas residuales.

La infraestructura en materia de capitación, potabilización y tratamiento de aguas no es suficiente para satisfacer la demanda y las necesidades de abastecimiento, adicionalmente, el servicio de dotación de agua potable no es suficiente al proporcionar el líquido diariamente a menos de 50% de la población.

El análisis del Organismo de Cuenca arroja la conclusión de que, no obstante las condiciones de disponibilidad, la contaminación limita severamente el uso de las fuentes de abastecimiento, lo que complica su accesibilidad para las comunidades más marginadas. Entre las causas del agotamiento y la contaminación del agua, pueden señalarse los procesos de pérdida de suelos, que evitan una adecuada absorción y recarga de los mantos acuíferos; la incapacidad de captar agua de lluvia; la falta de un plan estratégico de inversión en infraestructura, tanto para la potabilización como para el tratamiento de agua residual, así como el inadecuado manejo de residuos sólidos que contaminan los cuerpos de agua (Gob. Edo. Oaxaca, 2011).



*Figura 10 .Sembradío de maíz irrigado con agua residual en el barrio Guadalupe.*

En el municipio de Mazatlán Villa de Flores se puso en marcha en el año 2010 una PTAR cuyo objetivo principal era tratar el agua residual del Barrio Guadalupe, para regar los sembradíos (figura 10) que son la principal fuente de ingreso de los campesinos en la región. El funcionamiento de dicha planta es a partir de un bombeo y en su recorrido recibía productos químicos como coagulantes y floculante que al llegar a un tanque de control enviaba el caudal a canales de sedimentación, su recorrido terminaba en el manto zeolítico (figura 11). La vida útil de la planta estaba calculada para 30 a 40 años y beneficiaría a 400 habitantes de la localidad de barrio Guadalupe (Ovando, 2010). Sin embargo, solamente funcionó dos meses debido a los elevados costos en la dotación de insumos químicos, mantenimiento y reposición de la infraestructura, teniendo un déficit operativo de la PTAR. Al realizar la caracterización física, química y biológica de los vertidos residuales del barrio Guadalupe, se contará con información que permita habilitar la planta de tratamiento en humedal artificial de flujo sub superficial, aprovechando al máximo la infraestructura existente.



*Figura 11. Infraestructura para tratar aguas residuales del barrio Guadalupe, Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca.*

## **Justificación**

El municipio de Mazatlán Villa de Flores cuenta con una planta tratadora de aguas residuales, que funcionó aproximadamente dos meses, ya que su operación y mantenimiento es muy costosa, cabe señalar que este municipio se encuentra catalogado como el cuarto más marginado del estado de Oaxaca. Actualmente de toda la infraestructura que conforma la PTAR, solo funciona el cárcamo, en él, se concentra toda el agua residual cruda del barrio Guadalupe, que periódicamente es vertida a los cultivos, por ello es importante realizar su caracterización física, química y biológica, para que con base en los resultados se desarrolle una propuesta para adecuar la PTAR como un humedal artificial de flujo subsuperficial (HFSS), ya que es una opción viable para tratar las aguas residuales crudas, debido al bajo costo de operación, mantenimiento y disponer el agua tratada de forma segura.

## **Hipótesis**

Una adecuada caracterización del agua residual del Barrio Guadalupe, permitirá establecer las condiciones técnicas de: gasto, tiempo de retención hidráulico y tipo de sustrato, para habilitar la PTAR como en un humedal artificial de flujo subsuperficial.

## **Objetivo general**

Realizar la caracterización física, química y biológica del agua residual del Barrio Guadalupe y del efluente del cárcamo de la PTAR para establecer las condiciones técnicas de gasto, tiempo de retención hidráulico, tipo de sustrato y rehabilitarla como un humedal artificial de flujo subsuperficial.

## **Objetivos particulares**

- Determinar la calidad del agua residual del Barrio Guadalupe y del efluente de la PTAR a partir de los parámetros: pH, temperatura, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitratos, nitritos, coliformes totales y fecales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, sólidos disueltos, sólidos totales, fósforo total y fósforo ortosoluble , de acuerdo a las normas oficiales mexicanas y métodos estándares (APHA).
- Comparar los resultados de calidad del agua del afluente con la NOM-002-SEMARNAT-1996 y efluente con la NOM-003-SEMARNAT-1997 y con el ICA, para determinar porcentaje de remoción.
- Estimar el volumen de descarga residual generado en el Barrio Guadalupe de Mazatlán Villa de Flores Oaxaca.
- Determinar el Tiempo de Residencia Hidráulica (TRH) y el tipo de sustrato para el funcionamiento del humedal.
- Rehabilitar la PTAR en un humedal artificial de flujo subsuperficial considerando para su funcionamiento calidad del agua, caudal, TRH y tipo de sustrato.

## **Método**

El trabajo se dividió en tres etapas: gabinete, campo y laboratorio.

### **Trabajo de gabinete**

Se realizó un meta análisis sobre humedales naturales y artificiales, calidad de agua en México, en el estado Oaxaca y en el municipio de Mazatlán Villa de Flores, preferentemente artículos científicos.

Se seleccionaron las normas oficiales mexicanas y los métodos APHA específicos para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Los resultados obtenidos después de la caracterización fueron capturados en una hoja de cálculo en Microsoft Office Excel 2010®, donde fueron graficados y analizados: En cada gráfica se contrastó la concentración obtenida vs el mes en que se realizó la determinación; asimismo, se anotaron los valores más altos registrados durante todo el periodo de muestreo y se compararon con los valores establecidos en los límites máximos permisibles (LMP) de la norma oficial mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 y la NOM-003-SEMARNAT-1997. Los parámetros que excedieron los LMP o cercanos a estos, fueron tomados como la base para el de diseño del humedal artificial.

### **Trabajo de Campo.**

#### **Muestreo**

Se establecieron dos sitios de muestreo, el primero, afluente que corresponde a aguas residuales que proceden del Barrio Guadalupe (cárcamo) (figura 12) y el segundo sitio en el efluente de la PTAR (figura 13) y corresponde a aguas que se vierten en los campos de cultivo o sembradíos.

El muestreo se realizó con base a la NOM-AA-003- 1997 Aguas Residuales.-  
Muestreo.



*Figura 12. Ingreso del agua residual del barrio Guadalupe al cárcamo.*



*Figura 13. Planta tratadora de aguas residuales (PTAR), sitios de muestreo.*



*Figura 14. Agua residual cruda, sitio de muestreo afluente.*

La misma NMX-AA-003-1997, aguas residuales–Muestreo; señala las condiciones bajo las cuales se debe realizar la recolecta, conservación y procesamiento de las muestras, en este estudio se siguieron las indicaciones desde el muestreo hasta el procesamiento.

El análisis de laboratorio consistió en los parámetros y métodos que se indican en el cuadro 7.

Cuadro 7. Parámetro, tipo de recipiente, conservador y tiempo máximo de análisis de las muestras.

PARÁMETRO	RECIPIENTE	CONSERVADOR	DÍAS DE CONSERVACIÓN
DBO	Botella Winkler	Sin conservador	5 a 7 días
DQO	Polietileno	Refrigeración	6 horas a 14 días máximos
Nitrógeno amoniacal y orgánico	Polietileno o vidrio	Refrigeración	7 a 28 días
Fósforo Ortosoluble	Polietileno	Refrigeración	48 días
Hidrosoluble Total			
Coliformes	Vidrio ámbar esmerilado	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - refrigeración	7 a 28 días
Sólidos	Polietileno o vidrio	Refrigeración	2 a 7 días
Nitratos y Nitritos	Polietileno o vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	28 días
SAAM	Polietileno	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2 a 7 días
Grasas y Aceites	Vidrio ámbar	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> . o HCl	28 días

Una segunda toma de muestra fue practicada para determinar *in situ* los parámetros que se indican en el cuadro 8, figuras 15 y 16



Cuadro 8. Determinación de los parámetros de campo

PARÁMETRO	MÉTODO	NORMA
Oxígeno disuelto	Alstelbergazida	4500-0 A APHA, AWWA, WPCF, 1992
pH	Potenciométrico	NOM-AA-008-SCFI-2000
Temperatura	Visual con termómetro	NOM-AA-007-SCFI-2000
Conductividad Eléctrica	Potenciométrico	NOM-AA-008-SCFI-2000



Figura 15. Colecta de muestra del agua residual del cárcamo, sitio 1afluente.



Figura 16. Determinación de oxígeno disuelto (OD).

## Trabajo en laboratorio.

Cuadro 9. Parámetros, método y norma oficial realizados en el laboratorio.

DETERMINACIÓN	MÉTODO	NORMA
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> ) y nitrógeno orgánico (N-Org)	Kjendahl	NOM-AA-026-SCFI-2010
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	Ácido Sulfanílico	NOM-AA-099-SCFI-2006
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Ácido fenoldisulfónico	NOM-AA-079-SCFI-2001
Número más probable de Coliformes totales y fecales	Tubos múltiples	NOM-AA-042-SCFI-2005
Demanda bioquímica de oxígeno después de n días (DBO <sub>n</sub> )	Dilución	NMX-AA-028-SCFI-2001
Demanda química de oxígeno (DQO)	Reflujo Cerrado, colorimétrico	4500-0 C APHA, AWWA, WPCF, 1992
Sólidos (ST, SS, SD, SSF, SSV, SDF, SDV)	Gravimétrico	NMX-AA-004-SCFI-2000 NOM-AA-034-SCFI-2000
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	Colorimétrico de azul de metileno	NOM-AA-039-SCFI-2001
Fósforo Total	Ácidos nítrico y sulfúrico	NMX-AA-029-SCFI-2001
Grasas y Aceites	Recirculación	NOM-AA-005-SFCI-2000



Figura 17. Fotografía tomada en la Determinación del parámetro SAAM.

**Fundamento:** Se basa en la formación de un par iónico extractable en cloroformo, de color azul por la reacción del azul de metileno catiónico y un tensoactivo aniónico incluyendo al sulfonato de alquilbenzeno lineal, otros sulfonatos y ésteres de sulfonatos. La muestra se acidifica y se mezcla con una disolución de azul de metileno. Los extractos de cloroformo son lavados con una disolución ácida para remover los pares iónicos menos hidrófobos (con coeficientes de partición bajos) que pueden formarse por sustancias que interfieren potencialmente.

NMX-AA-039-SCFI-2001



Figura 18. Determinación de sólidos sedimentables.

**Fundamento:** La materia sedimentable se define como la cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas.

NMX-AA-004-SCFI-2000



Figura 19. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

**Fundamento:** Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a refluo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

4500-0 C APHA, AWWA, WPCF, 1992



Figura 20. Determinación de nitrógeno amoniacal ( $N-NH^3$ ) y nitrógeno orgánico ( $N-Org$ ).

**Fundamento:** En el método Kjeldahl los compuestos nitrogenados de la muestra se descomponen con ácido sulfúrico concentrado en caliente, transformándose el nitrógeno de la mayoría de los grupos funcionales orgánicos en amonio. Cuando la descomposición se ha completado la disolución se enfría, se diluye y se alcaliniza con hidróxido de sodio concentrado. El amoniaco liberado se destila y se adsorbe en una disolución de concentración conocida de ácido bórico.

NMX-AA-026-SCFI-2001



Figura 21. Determinación de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

**Fundamento:** El principio del método consiste en que los nitritos presentes reaccionan en medio ácido ( $\text{pH} = 1,9$  a  $2,5$ ), para formar ácido nitroso que reacciona con la sulfanilamida por una reacción de diazoción para formar una sal de diazonio, la cual por copulación con el diclorhidrato de N-(1-Naftil) etilendiamina forma un colorante azóico de color purpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a  $543 \text{ nm}$ .

**NMX-AA-079-SCFI-2001**



Figura 22. Determinación de Fósforo Total.

**Fundamento:** La reacción de los iones ortofosfato con una disolución ácida conteniendo iones molibdato y antimonio, forma un complejo antimonio-fosfomolibdato. La reducción del complejo anterior con ácido ascórbico forma un complejo azul fuertemente colorido de molibdeno. La medición de la absorbancia de este complejo determina la concentración de ortofosfato presente. Los polifosfatos y ciertos compuestos organofosforados se determinan si se transforman, por hidrólisis con ácido sulfúrico, en ortofosfatos que reaccionan con el molibdato.

Muchos compuestos organofosforados se transforman en ortofosfato por mineralización con peroxidisulfato. Cuando es preciso un tratamiento más energético, utilizar la mineralización con una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico.

**PROY-NMX-AA-029/1-SCFI-2008.**



Figura 23. Determinación de sólidos suspendidos volátiles.

**Fundamento:** El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

**NMX-AA-034-SCFI-2001**



Figura 24. Determinación de Nitritos (NO<sub>2</sub>).

**Fundamento:** El principio del método consiste en que los nitritos presentes reaccionan en medio ácido (pH = 1,9 a 2,5), para formar ácido nitroso que reacciona con la sulfanilamida por una reacción de diazoción para formar una sal de diazonio, la cual por copulacion con el diclorhidrato de N-(1-Naftil) etilendiamina forma un colorante azóico de color purpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a 543 nm.

**NMX-AA-099-SCFI-2006**

## Resultados y Análisis

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes del agua, pues siempre influye en la solubilidad de sales y gases y en todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiológico, procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Roldán, 2003). Así mismo, las velocidades de reacciones tanto químicas como biológicas importantes en los procesos de tratamiento de agua residual como las reacciones enzimáticas y ciertas oxidaciones como la nitrificación y la degradación de materia orgánica (Walter, 2003), suelen ser más rápidas, mostrando una dependencia hacia este factor. Los valores de temperatura, que se encuentra por encima de los 20°C (figura 25), favorecen los procesos de biotransformación (Londoño, 2009), lo que favorece al adecuado funcionamiento del humedal y a los procesos de biotransformación.

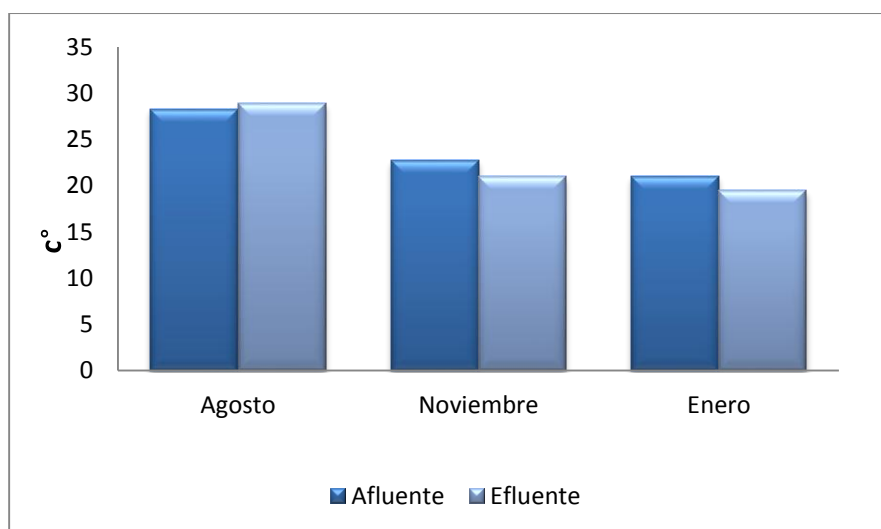


Figura 25. Temperatura

Diversos autores señalan que la cantidad de oxígeno disuelto es una de las principales características para definir la salud del sistema (Sánchez *et al.*, 2010), es por esto que el oxígeno disuelto es un factor determinante para que se lleve a cabo la oxidación de ciertos compuestos en otros de menor toxicidad y asimilables para las plantas, lo que permitirá la remoción de contaminantes del agua.

El agua generalmente tiene una concentración de OD de 8 mgL<sup>-1</sup> (Cartró, 2003; citado en Delgadillo *et al.*, 2010), de acuerdo a esta referencia, la concentración

promedio de OD en el afluente es escasa ( $1.22 \text{ mgL}^{-1}$ ), debido a que el agua que entra al humedal está saturada de materia orgánica (figura 26).

En el sistema se observa que las concentraciones de OD no varían en gran medida, más bien son constantes ya que en los tres meses de muestreo se encontraron en el afluente de  $1.35$ ,  $1.15$  y  $1.15 \text{ mgL}^{-1}$  y en el efluente de  $2.29$ ,  $2.29$ ,  $2.29 \text{ mgL}^{-1}$ , en agosto, noviembre y enero respectivamente. Se puede observar en la (figura 26) que las concentraciones de OD en el agua son bajas por la alta cantidad de materia orgánica, sin embargo, el humedal ha sido efectivo en remoción de materia orgánica, debido a que se crean ambientes óxicos y anóxicos que favorecen procesos de óxido-reducción. A medida que la concentración de OD aumenta, la velocidad de crecimiento microbiano sobre el sustrato también lo hace. Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, en cambio, los autótrofos no utilizan materia orgánica sino dióxido de carbono como fuente de carbono (Gray en Kolb, 1998).

Dos clases diferentes de biodegradación microbiana, la aeróbica o la anaeróbica, tienen lugar en los humedales construidos, dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto.

Asimismo, es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo intervalo óptimo se encuentra entre  $25^{\circ}\text{C}$  a  $35^{\circ}\text{C}$ . Cuando la temperatura se acerca a los  $50^{\circ}\text{C}$  los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen; por otro lado, cuando la temperatura es menor a  $5^{\circ}\text{C}$  la actividad microbiana se inhibe (Crites y Tchobanoglous, 2000).

La solubilidad del oxígeno en el agua se ve afectada por la temperatura, un cuerpo de agua puede aumentar la solubilidad en cerca de un 40% al bajar la temperatura de  $25$  a  $0^{\circ}\text{C}$  (Walter, 2003). Sin embargo, esta relación no se hace evidente, ya que en noviembre y enero, donde las temperaturas fueron menores, la concentración de OD no aumentó (figura 26). En agua fría, las moléculas se unen más, reteniendo por tanto mayor cantidad de oxígeno. Por lo que es claro que el



aumento de temperatura puede llegar a desoxigenar al sistema en un alto porcentaje (Londoño, 2009).

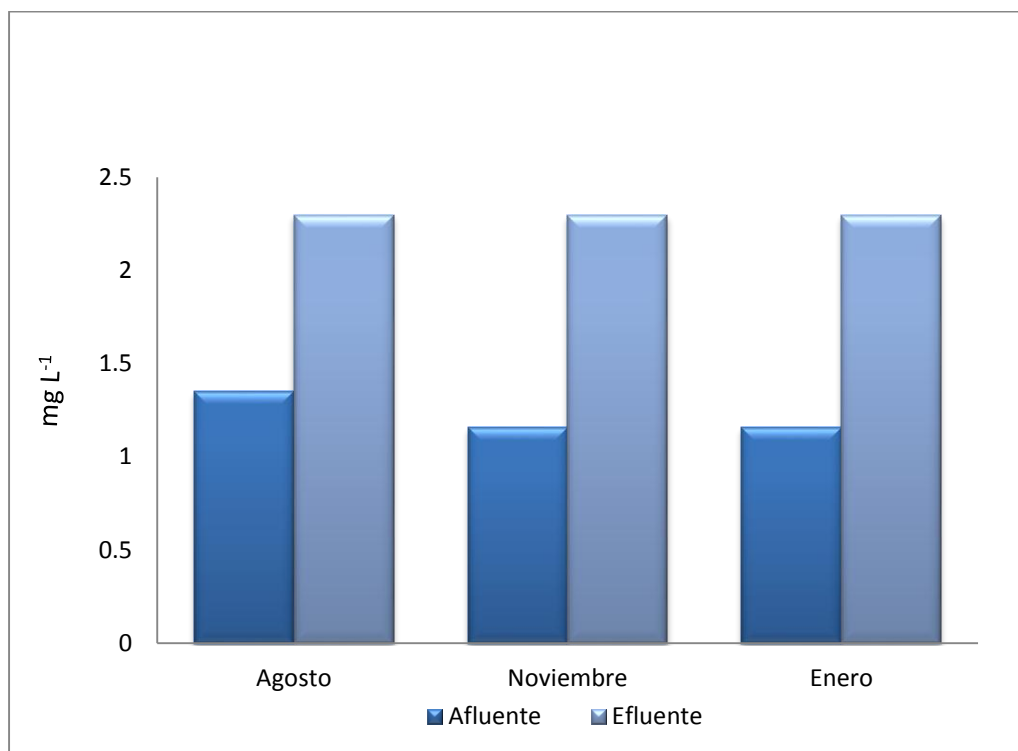


Figura 26. Oxígeno Disuelto

El pH es un factor abiótico que regula procesos biológicos mediados por enzimas (ej. fotosíntesis, respiración); la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas (ej.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua (Marín, 2003).

El pH aunque se encuentra dentro del intervalo mencionado, ha mostrado pequeñas variaciones como se muestra en la figura 27, donde en el mes de agosto registró un pH de 6.5-6.8, en noviembre de 7.1-7.3 y en enero de 6.8-7.4. El pH obtenido durante el muestreo varía de ligeramente de ácido a la neutralidad, estos ligeros cambios pueden ser provocados por la naturaleza de los contaminantes, además la presencia de los iones bicarbonato y carbonato en el

agua como resultado de los procesos de fotosíntesis y respiración, fomentan en el primer caso el cambio del pH del agua hacia el lado básico, y en el segundo, hacia el lado ácido (Roldán, 2003). Esta variación también puede ser atribuida a que el sitio presenta temperaturas extremas, el cambio en la temperatura del agua afecta la constante de disociación de ésta y por ende, cambios en temperatura inciden en cambios en las concentraciones relativas de los iones hidronio e hidroxilo. En la figura 27 se observa que el pH tendió hacia la neutralidad en noviembre y enero, donde las temperaturas registradas fueron menores.

Los valores promedio del pH se encontraron en el intervalo de 6.9 a 8.0 considerado óptimo para el crecimiento de los organismos aerobios (Guinea *et al.*, 2000; citados en Castillo-Borges *et al.*, 2012). La alcalinidad es muy importante en el proceso de nitrificación ya que se requiere de  $7.1 \text{ mgL}^{-1}$  de oxígeno para poder oxidar 1 mg de amonio (Sperling y Lemus, 2005; citados en Castillo-Borges *Op cit.*).

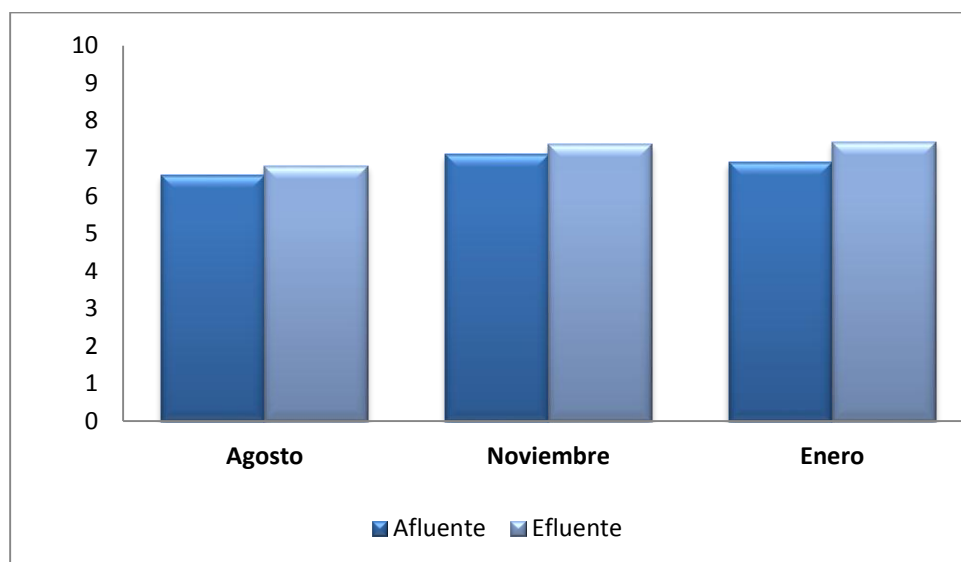


Figura 27. pH

El nitrógeno se puede encontrar en las aguas residuales en tres formas predominantes: nitrógeno orgánico, este incluye proteínas, aminoácidos, aminas, entre otros. Puede ser soluble o insoluble en el agua; nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3 < - > \text{NH}_4^+$ ) que, según el pH, puede estar en forma de amoniaco (generador de malos

olores) o como amonio (soluble en agua). En el sistema, el nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico son las formas químicas del nitrógeno predominantes.

El proceso de remoción de nitrógeno en aguas residuales incluye diferentes mecanismos como: amonificación/nitrificación/desnitrificación y adsorción en la matriz del sustrato, sin embargo el mecanismo más importante de remoción es el proceso de nitrificación/desnitrificación (Vymazal *et al.* 2000). Consiste en dos pasos claves: la nitrificación, que busca oxidar la mayor parte del nitrógeno a nitrato y la desnitrificación esta reacción convierte el nitrato en nitrógeno elemental, el cual al ser un gas se libera al ambiente, eliminándose así el nitrógeno del agua residual (figura 28).

El nitrógeno amoniacal, producido por la mineralización de la materia orgánica, es convertido a nitrito y rápidamente a nitrato (Crites *et al.*, 1998), éste último es básicamente la forma de nitrógeno completamente oxidada.

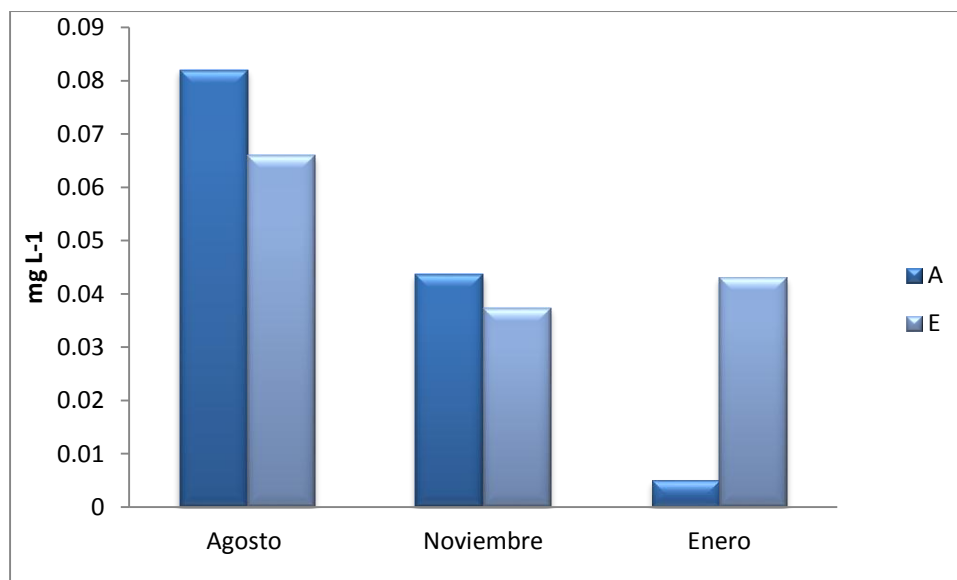


Figura 28. Nitratos

En la figura 29 se puede observar que en agosto no hubo transformación de nitrógeno amoniacal lo que está relacionado a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto y al pH (6.5-6.8) que influyó en la presencia de amoniacal, ya que se percibieron malos olores en este mes. La remoción por los procesos físicos y químicos que ocurre principalmente para la fracción de nitrógeno orgánico, ya que,

como constituyente de materia orgánica, está asociado con sólidos en suspensión. Además, en la biopelícula que existe está asociada al sustrato que dan los procesos de sorción de nitrógeno. Esto por el intercambio catiónico del ión amonio en las arcillas del sustrato del humedal puede también ocurrir, si bien su contribución está limitada a la capacidad de intercambio catiónico del sustrato. Otro proceso físico-químico a indicar es el desprendimiento de amoníaco gaseoso (volatilización), por efecto de la variación del pH del agua.

El pH puede incrementar puntualmente en momentos de alta actividad fotosintética, y en condiciones determinadas de temperatura y alcalinidad el ión amonio pasa a amoníaco gas, que puede desprenderse del sistema (Fernández, 2012). Además, en el humedal el pH se encuentra por debajo de los niveles óptimos (7,5-8,6) según Metcalf & Eddy (1991) citados en Montoya Op cit. para llevar a cabo el proceso nitrificante. Sin embargo para los meses de noviembre y enero el porcentaje de remoción de nitrógeno amoniacal alcanzó el 96% (figura 30), debido a que el pH tendió ligeramente a la alcalinidad (6.8-7.4), esto nos indica que se llevaron a cabo procesos de nitrificación (Cervantes-Carillo *et al.* 2000).

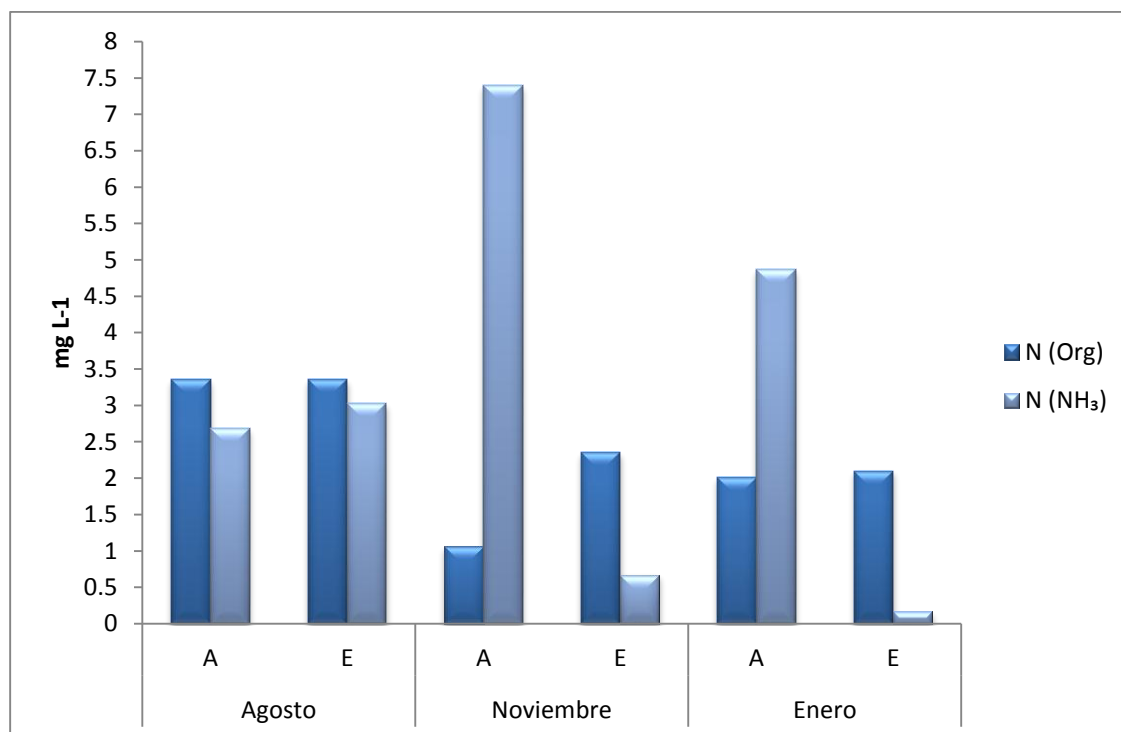
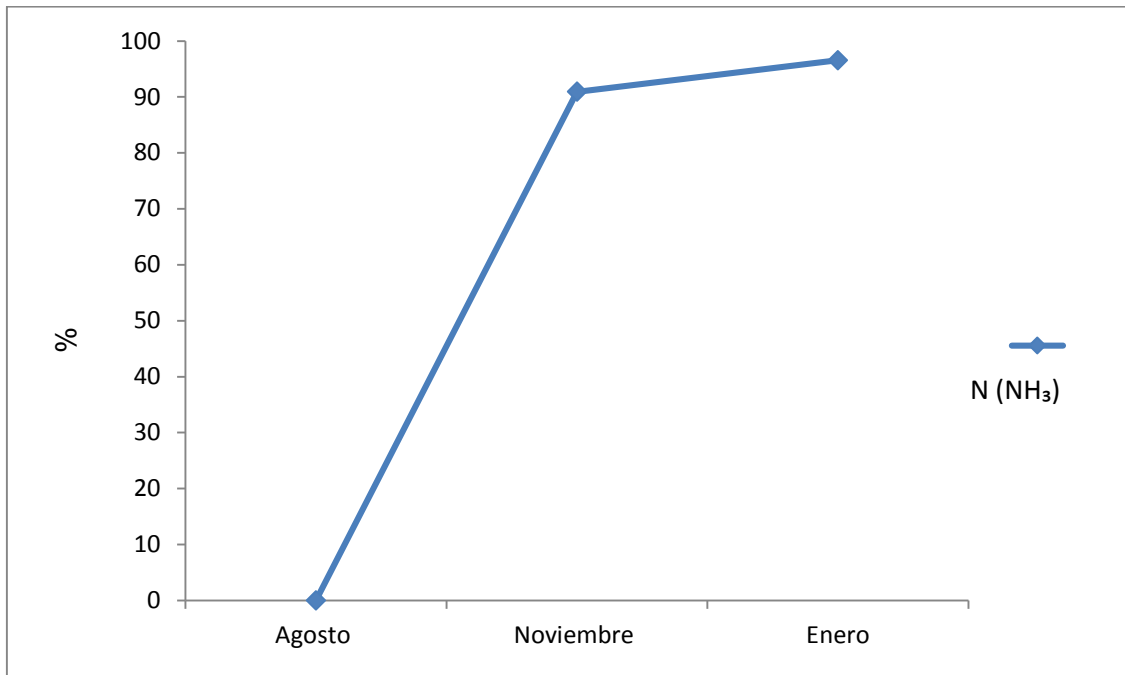


Figura 29 Nitrógeno orgánico y amoniacal



*Figura 30. Remoción de Nitrógeno en el sistema.*

El nitrógeno orgánico en agosto no presentó una variación en su concentración ( $3.36\text{mgL}^{-1}$ ) en afluente y efluente, sin embargo, en noviembre y enero fue de  $1.064$  y  $2.016\text{ mgL}^{-1}$  en el afluente y de  $2.35$  y  $2.1\text{mgL}^{-1}$  en el efluente, respectivamente. Los compuestos nitrogenados constituyen nutrientes clave para el crecimiento de los seres vivos, así que el nitrógeno puede ser eliminado del agua siempre que sea asimilado por los microorganismos.

En el caso de los nitritos en los tres monitoreos aumentaron las concentraciones (figura 31) lo que demuestra que los procesos de nitrificación/desnitrificación se están llevando a cabo de manera parcial, sin embargo, el nitrito no es asimilable por las plantas de un humedal por lo que se puede biotransformar dentro del sistema a diferentes especies químicas del nitrógeno, pero es evidente que a medida que el tiempo transcurre estas concentraciones van en aumento, lo que puede significar una acumulación de este compuesto debido a que los procesos redox han sido incompletos.

La acumulación de nitritos en el sistema puede deberse a dos procesos que no han sido completados: en primer lugar, en la conversión de amonio a nitritos representada por la *Nitrosomonas* sp., ocurre el mayor consumo de oxígeno, lo que puede provocar la falta de oxígeno disuelto para completar la oxidación hasta nitrato, la oxidación incompleta también puede deberse a la ausencia o falta de individuos de *Nitrobacter* sp., que se encargan de la conversión de nitritos a nitratos mediante la acción de la nitrito óxido-reductasa (NOR) (Gaitán, 2006).

En segundo lugar, la desnitrificación heterótrofa es un proceso de reducción del nitrato presente en las aguas residuales a nitrógeno molecular, en el que éste elemento pasa por diferentes estados de oxidación ( $\text{NO}_2$ - $\text{NO}$ - $\text{N}_2\text{O}$ - $\text{N}_2$ ) en condiciones anóxicas por la acción de bacterias heterótrofas (*Pseudomonas*, *Paraccocus*, *Alcaligenes*, *Thiobacillus*, *Bacillus*), que usan un sustrato orgánico como fuente de carbono y energía.

En el proceso de desnitrificación existe además la posibilidad de acumulación de intermediarios ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ) debido al tipo y concentración del sustrato empleado o a las condiciones de operación, como es el caso de nuestro sistema, en el que se han ido acumulando los nitritos. Algunos organismos (por ejemplo, *E. coli*) producen solamente nitrato reductasa y, por lo tanto, solo pueden realizar la primera reducción, lo que lleva a la acumulación del nitrito.

Para enero las concentraciones de nitratos se incrementaron aumentadas en comparación con los monitoreos de agosto y noviembre.

Morel y Diener (2006); citados en Hoffmann *et al.* (2011), reportan porcentajes de remoción de Nitrógeno total de 15-40%, en este trabajo se obtuvo el 67.07%, este resultado superó el valor reportado en la literatura, sin embargo, la remoción del nitrógeno no ha sido completada y esto se ve reflejado en la acumulación de nitritos, que ha sido explicada anteriormente.

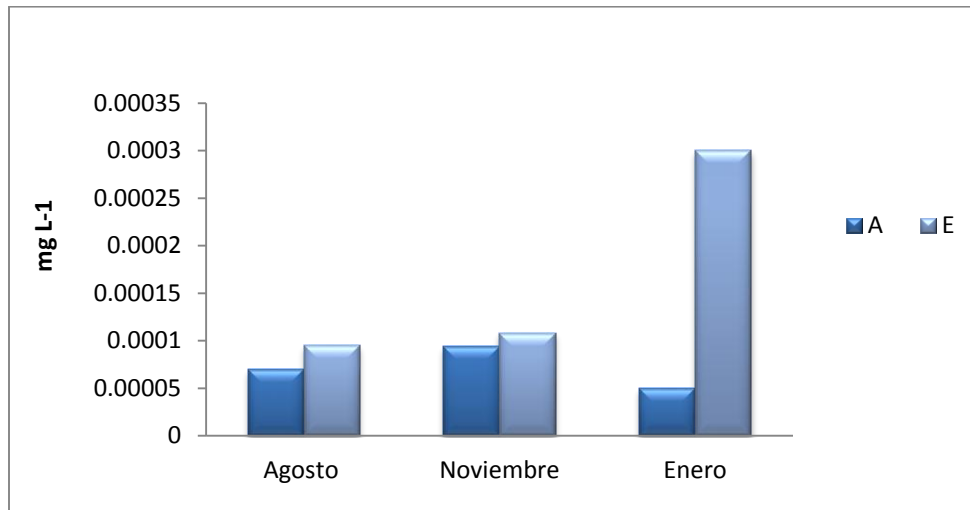


Figura 31. Nitritos

Las proteínas y carbohidratos constituyen el 90% de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas. Las fuentes de estos contaminantes biodegradables incluyen los excrementos y orina, los residuos de alimentos de la cocina, el polvo y la suciedad procedente del baño y del lavado de ropa, más varios jabones, detergentes y otros productos de limpieza (Henry, 1999). Se utilizan diversos parámetros como medida de la concentración orgánica de las aguas residuales. En su mayoría, los métodos comunes se basan en la cantidad de oxígeno que se necesita para convertir el material oxidable en productos finales estables. Puesto que el oxígeno que se consume es proporcional al material oxidable presente, sirve como una medida relativa de la concentración de las aguas residuales. Los dos métodos de uso más frecuente para determinar las necesidades de oxígeno de las aguas residuales son las pruebas de DQO y DBO.

La remoción de DQO fue de 48.9, 40.61 y 12.25% para agosto, noviembre y enero (figura 32), en este último mes la remoción se alteró significativamente ya que no se controló el TRH, el metabolismo de los macro y microorganismos heterótrofos aerobios y anaerobios, que utilizan los compuestos orgánicos del agua (Kadlec *et al.*, 2000; citados en Romero-Aguilar Op cit.), quedó limitado por la velocidad del flujo.

La DQO alcanzó el 48.98% de remoción, este resultado es ligeramente menor al reportado por Conte *et al.* (2001) y Kao *et al.* (2001); citados en Romero-Aguilar *et al.* (2009), quienes apuntan porcentajes de remoción de 50-70%.

En los tres monitoreos el porcentaje de remoción para DBO fue constante e incrementó de 26.15, 48.26, 77.47  $\text{mgL}^{-1}$  (figura 32), la formación de la biopelícula en el sustrato está en desarrollo y en ella ocurren los procesos de adsorción, filtración y biotransformación, (Armstrong y Beckett, 1990; Brix, 1993; citados en Montoya O.).Morel y Diener (2006); citados en Hoffmann *et al.* (2011), mencionan que las eficiencias de remoción de DBO en HAFSS son de 80-90%, para el presente trabajo, se alcanzó una eficiencia de remoción de 77.47%, este valor se aproxima al reportado por los autores.

La DBO es uno de los parámetros más importante en el control de la contaminación del agua. Este dato se utiliza como una medida de la contaminación orgánica, como una base para estimar el oxígeno necesario para los procesos biológicos y como un indicador del rendimiento de los procesos. La velocidad de la reacción de la DBO depende del tipo de residuos presentes y de la temperatura.

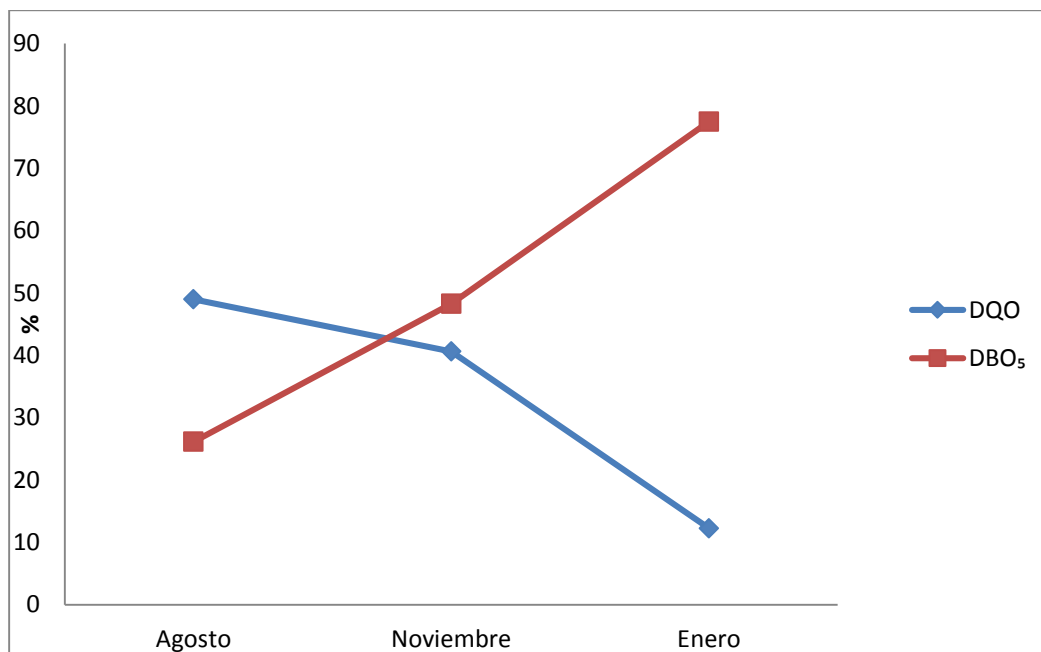


Figura 32. Porcentaje de remoción DQO-DBO



Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disuelto serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad. Es por esto que se debe controlar el Tiempo de Residencia Hidráulica (TRH) para que los procesos de biotransformación de contaminantes sean completos y se alcance el porcentaje de remoción deseado.

La DBO en aguas residuales suele variar entre 200 y 400 mg/L (Cartró, 2003; citado en Delgadillo *et al.*, 2010). Los valores más elevados normalmente corresponden a poblaciones pequeñas con gran abundancia de agua, riego de calles, sistemas de distribución deficientes que inciden en la red de alcantarillado (Delgadillo *et al.*, 2010).

La NOM-003-SEMARNAT-1997 establece que el LMP de DBO para reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional es de  $30\text{mgL}^{-1}$ , en el caso del sistema de humedal, las concentraciones obtenidas de DBO rebasan el LMP, siendo de 162.1, 80.36 y  $68.89\text{ mgL}^{-1}$  en agosto, noviembre y enero respectivamente (figura 33), esto sugiere que los procesos de oxidación de materia orgánica no han sido completados, sin embargo se puede observar, en la figura 32, que a medida que pasa el tiempo el porcentaje de remoción aumenta, por lo que se puede asegurar que el humedal, al llegar al punto de madurez, podrá completar los procesos biológicos, y se podrá obtener la concentración de  $\text{DBO}_5$  deseada. Para evaluar la calidad del agua se ha decidido utilizar tres parámetros como indicadores, DBO, DQO y SST, que muestran la influencia antropogénica desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable (CONAGUA, 2012).

De acuerdo con la escala de clasificación de la calidad del agua, propuesta por CONAGUA, concentraciones mayores a  $120\text{mgL}^{-1}$  de DBO indican que el agua está fuertemente contaminada (color rojo), como es el caso del agua residual del afluente de Barrio Guadalupe en agosto, noviembre y enero ya que registraron concentraciones de 219.5, 155.3 y  $305.9\text{ mgL}^{-1}$  respectivamente.

En el caso del efluente, solamente en agosto se clasificó el agua como fuertemente contaminada (color rojo) con  $162.1\text{ mgL}^{-1}$ ; para noviembre y enero se registraron concentraciones de DBO de 80.36 y  $68.89\text{ mgL}^{-1}$  respectivamente, lo

que indica que el agua está contaminada (color naranja), es decir aumentó una escala de calidad en estos meses debido a que se están llevando a cabo procesos de remoción de DBO.

Para concentraciones mayores a  $200\text{mgL}^{-1}$  de DQO, la clasificación indica que el agua está fuertemente contaminada (color rojo), el agua del afluente rebasa el valor establecido, registrando concentraciones de 405.4, 450.8 y  $336.3\text{mgL}^{-1}$ , asimismo en el efluente se obtuvieron 206.8, 267.7 y  $295.1\text{mgL}^{-1}$  en agosto, noviembre y enero respectivamente. De acuerdo con la escala de clasificación, la calidad del agua residual no ha cambiado, sin embargo las concentraciones de DQO han disminuido aproximándose a la siguiente escala de clasificación (color naranja), que es contaminada.

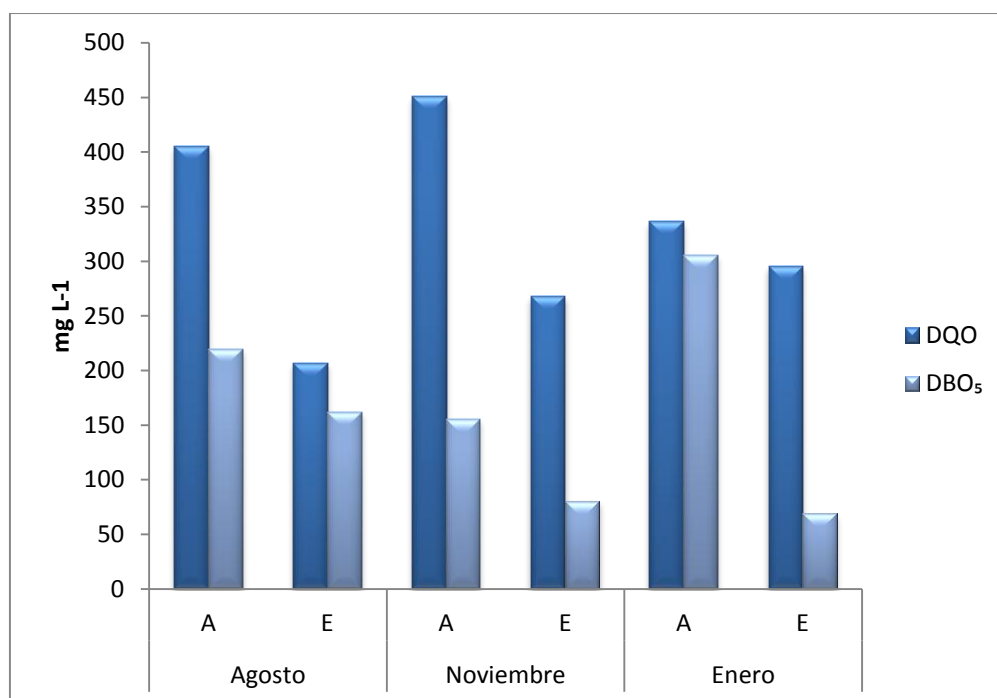


Figura 33. Relación DBO - DQO

Los sólidos incluyen toda materia sólida contenida en el efluente líquido. Estos miden de forma indirecta el grado de turbidez del agua, en el presente trabajo se alcanzó el 68.18% de remoción (figura 34), este dato no se encuentra dentro del intervalo sugerido por Morel y Diener (2006); citados en Hoffmann *et al.* (2011), quienes reportan porcentajes de remoción de SST de 80-95%. El remanente de sólidos que queda en el caudal puede inducir una reacción fisiológica desfavorable a diversos organismos.

La concentración de sólidos suspendidos totales del afluente y efluente en agosto, noviembre y enero fueron menores a  $25 \text{ mgL}^{-1}$ , por lo tanto, de acuerdo a la escala de clasificación de la calidad del agua, se clasifica como excelente (color azul). Los valores de SST obtenidos nos indican que la remoción de estas partículas ha sido eficaz en el humedal.

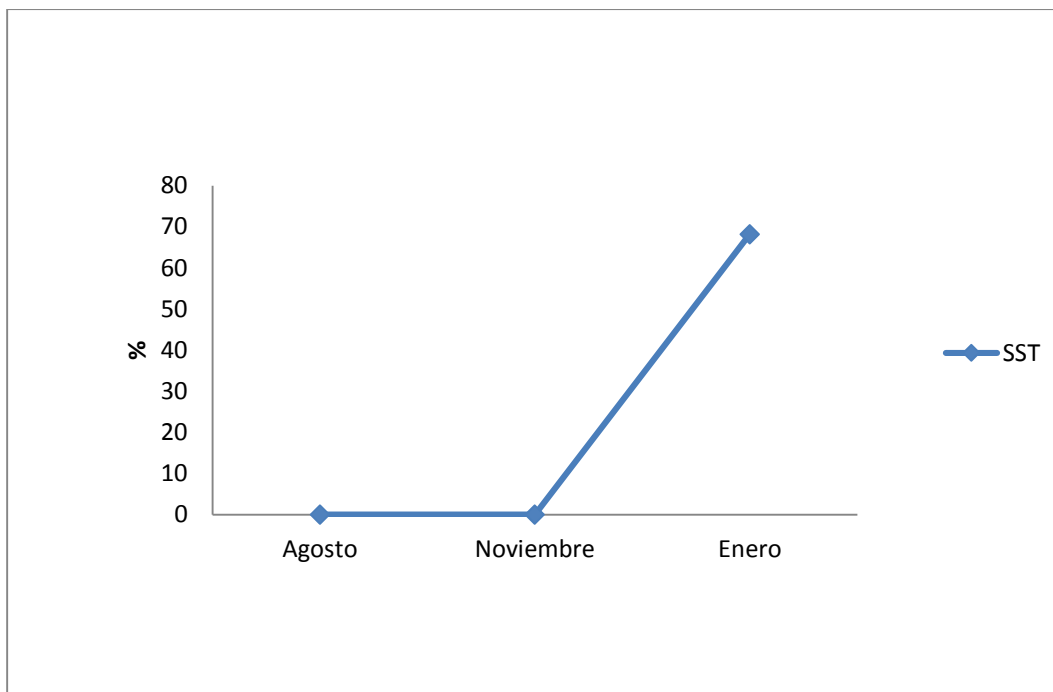


Figura 34. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales.

Los fosfatos provienen principalmente de compuestos que se aplican como fertilizantes en las zonas agrícolas y de los detergentes que se emplean en actividades de limpieza, también se generan por la materia orgánica en descomposición. Aun cuando no se consideran tóxicos para los humanos y los animales, pueden tener efectos negativos indirectos a través de la eutrofización de los cuerpos de agua superficial lo que implica el posterior abatimiento de oxígeno.

El fósforo puede ser precipitado como una sal de calcio (Fernández, 2012 ) debido al material utilizado como sustrato, sin embargo este tipo de reacción disminuye con el tiempo (figura 35) y con ello su remoción del medio, ya sea porque los sólidos totales arrastran fracciones de este elemento al quedar atrapado en ellos (Viñals *et al.*, 2011) o porque es tomado por los microorganismos para integrarlo a sus células pero lo que no alcanzan a asimilar lo remineralizan en forma de ortofosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) que se encuentra disponible conforme la solución del sistema se acerca a la neutralidad (figura 36).

Cuando los microorganismos mueren se reincorpora parte del fósforo, por lo que el sistema está alcanzando apenas una remoción promedio de 18.76%, a pesar de ello, los valores se encuentran dentro de los LMP de los contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Al comienzo del funcionamiento del humedal, los procesos que conducen a la inmovilización en el sustrato/sedimento del fósforo que llega en el afluente, son intensos, y por ello suele observarse una buena remoción de fósforo. Sin embargo al cabo de un tiempo se alcanza el límite de la capacidad de inmovilización en el sustrato/sedimento, y entonces este mecanismo de remoción pasa a ser poco significativo, como se observa en la figura 35.

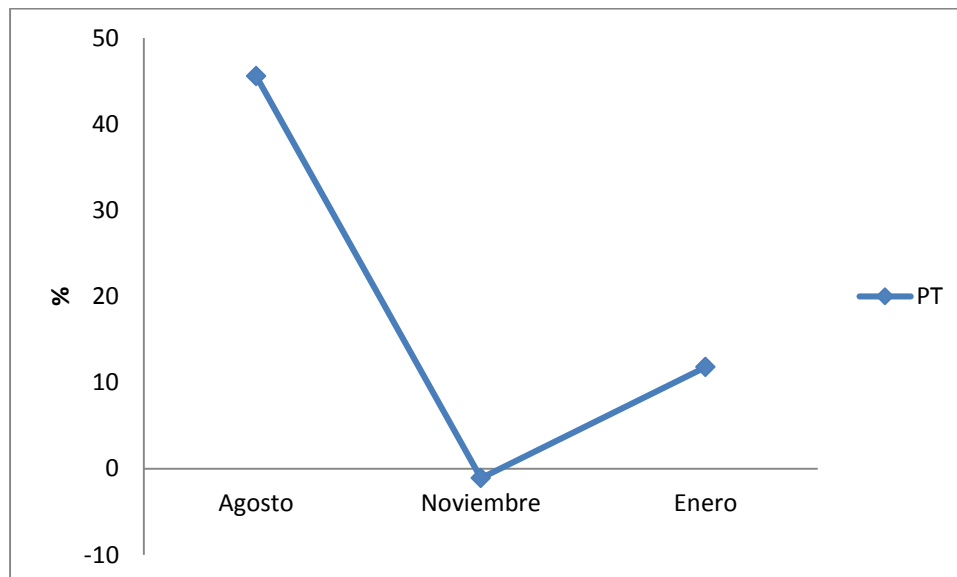


Figura 35. Porcentaje de remoción de fósforo total

El fósforo orgánico disuelto, fósforo orgánico en partículas y fósforo insoluble no están disponibles para las plantas, a menos que sean transformados en fósforo inorgánico soluble, por esto es difícil su remoción del sistema. En el humedal estas transformaciones pueden ocurrir por la intervención de microorganismos que se hayan suspendidos y en biopelículas sobre superficies de plantas emergentes y en los sedimentos. Debido a la baja eficiencia de eliminación de fósforo de forma natural, se propone desarrollar la PBR (Enhanced Phosphorus Biological Removal) o eliminación biológica de fósforo mejorada en el humedal. Este tratamiento se basa en el enriquecimiento selectivo de bacterias acumuladoras de polifosfatos inorgánicos como un ingrediente de sus células.

Durante la etapa anaerobia, los microorganismos bacterianos del fango (aplicados como un inóculo al agua residual) agotan la materia orgánica y las fuentes de carbono del agua residual, acumulando biopolímeros en el proceso (principalmente PHA's y glucógeno) y liberando ortofosfato soluble.

La fuente de energía para el proceso procede principalmente del polifosfato, esta molécula de almacenamiento altamente energética, que bajo condiciones de hidrólisis, puede proporcionar grandes cantidades de energía para las reacciones bioquímicas dentro de la célula. Cuando las condiciones cambian de anaerobias a aerobias, los polihidroxicanoatos (PHA's) se usan como fuente de carbono y

energía para la absorción de cantidades de ortofosfato incluso mayores que las liberadas durante la fase anaerobia. En la fase aerobia el ortofosfato se reincorpora en la biomasa intracelular microbiana en forma de polifosfato. De manera sintetizada, existen bacterias con habilidad para solubilizar fosfato y también para acumular fuentes de fósforo inorgánico a partir de soluciones acuosas, otras bacterias tienen la habilidad de tomar el exceso de ortofosfato y acumularlo como polifosfatos, entonces el fósforo es removido en el sistema de tratamiento de agua.

Existen numerosos géneros reportados como organismos acumuladores de polifosfato (PAOs por sus siglas en inglés) en lodo activado (Bernal, 2010), entre los más comunes, se propone el uso de *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Klebsiella* y *Xanthomonas*.

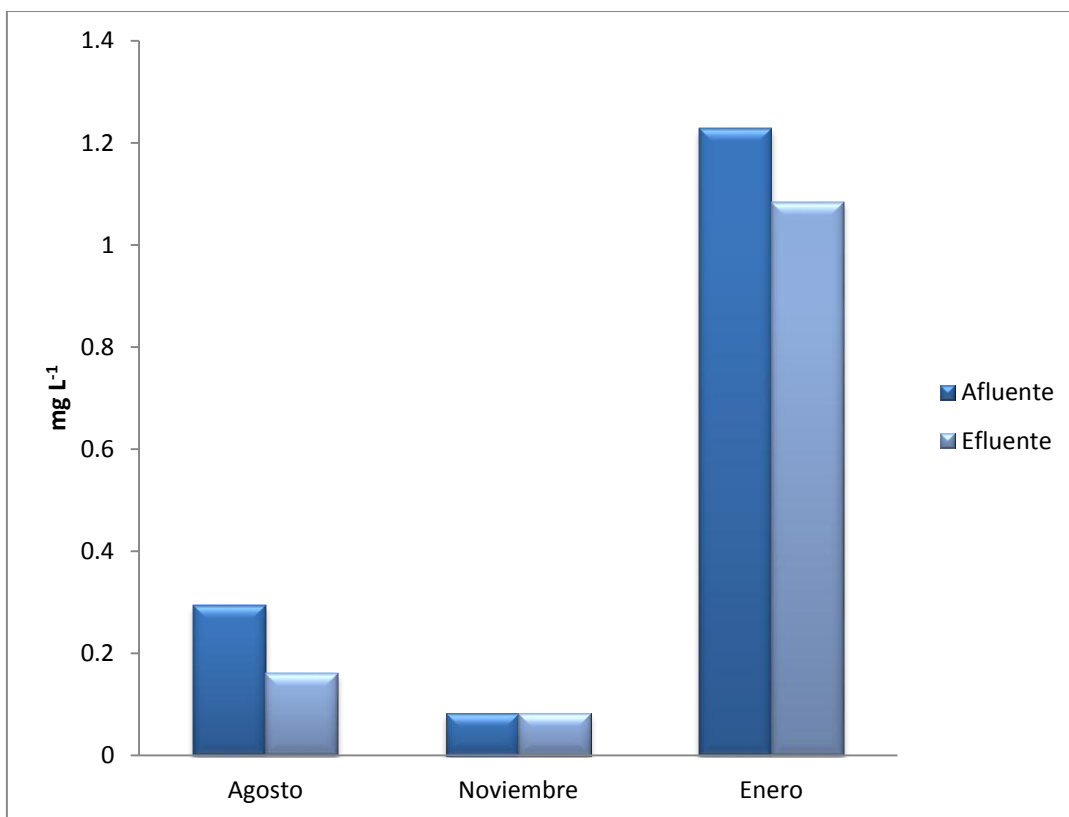


Figura 36. Ortofosfatos en afluente y efluente.

Los detergentes y otras sustancias activas al azul de metileno al ser compuestos orgánicos consumieron parte del oxígeno en el afluente para biotransformarse en compuestos de cadenas más cortas y poder ser asimilados por parte de la microbiota del sistema, alcanzando en agosto una remoción hasta del 71.22% (figura 37), habiendo mayor adsorción de estos en el sustrato del humedal que actúa como coloide; aunque para los siguientes meses solo fue de 1.42 y 15.12% debido que la parte fosfatada de estas sustancias queda unida a las partículas sólidas desprendidas por el desgaste del sustrato.

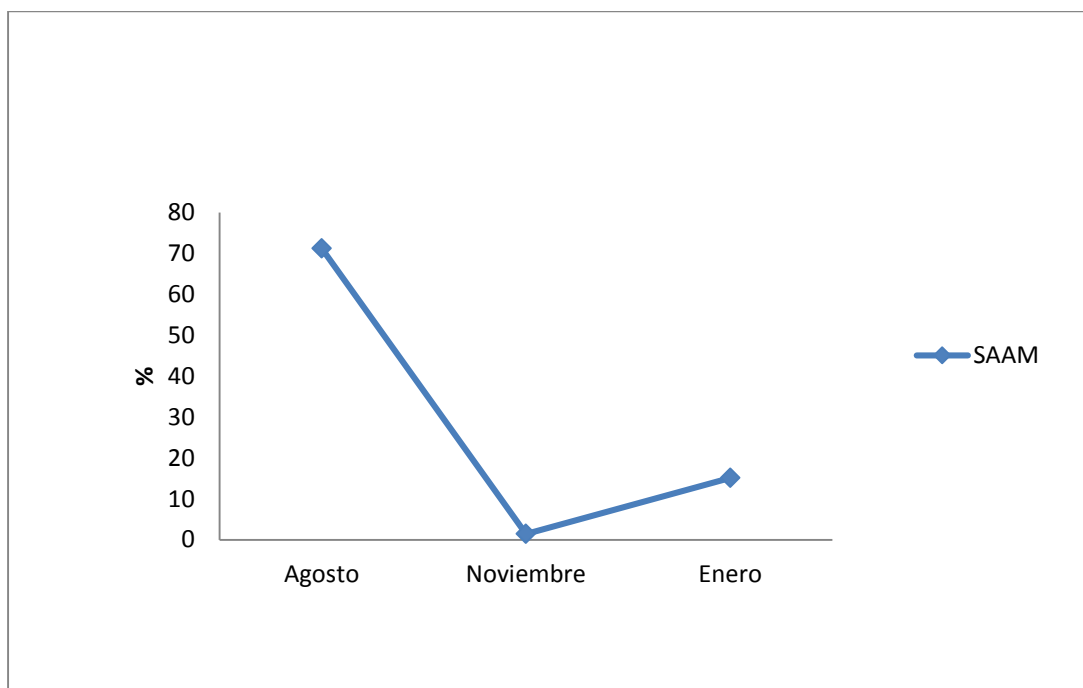


Figura 37. Porcentaje de remoción de Sustancias Activas al Azul de Metileno.

Tras el análisis para grasas y aceites, se obtuvo para agosto 20.375 mg L<sup>-1</sup> y 10.738 mg L<sup>-1</sup> en afluente y efluente respectivamente, este último rebasaba el límite máximo permisible de la NOM-003-SEMARNAT-1997. En el mes de noviembre los valores para el afluente fueron 241.04 (mg L<sup>-1</sup>) y en el efluente de 138.58 (mg L<sup>-1</sup>), en el mes de enero el resultado fue de 654.8 en el afluente y de 653.6 (mg L<sup>-1</sup>) para el efluente mg L<sup>-1</sup> (figura 38), esto repercute en la salida de gases además, permite una mayor penetración de luz.

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal e hidrocarburos del petróleo; son de baja o nula biodegradabilidad, poseen características especiales: baja densidad y poca solubilidad en agua. Por ello, tienden a separarse de la fase acuosa, ocupan la superficie del líquido que las contiene y forman “natas”. A nivel doméstico la aportación de grasas y aceites es en forma de margarinas, mantequilla, manteca, y grasas y aceites vegetales. Otras actividades humanas en que se desechan estas sustancias son: los talleres automotrices, en rastros y procesamiento de carnes. Las “natas” formadas por grasas y aceites pueden llegar a impedir el intercambio gaseoso entre el agua y la atmósfera; con ello, disminuye la cantidad de oxígeno que recibe el agua y aumenta el CO<sub>2</sub>. Esto se puede traducir en una acidificación del agua y baja en los niveles de oxígeno; al mismo tiempo disminuye la penetración de la luz, lo que incide directamente sobre la vida vegetal y animal del agua y en los procesos fotosintéticos.

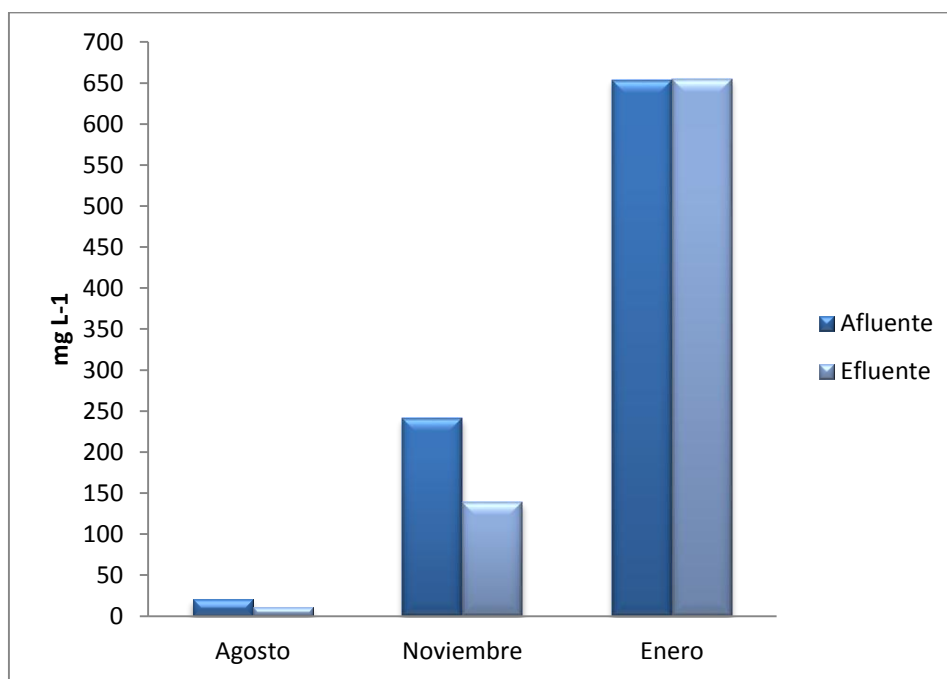


Figura 38. Concentración de grasas y aceites en afluente y efluente.



Entre los parámetros que se utilizan para establecer si el agua es adecuada para un fin específico, es decir para determinar la calidad del agua, está la cuantificación de indicadores de contaminación microbiológica. Estos organismos contenidos en el agua están asociados con los aportes de agua residual y su importancia se relaciona con los riesgos que para la salud representa la propagación de enfermedades infecciosas.

El agua residual puede transmitir enfermedades entéricas (intestinales) debido al contacto con desechos humanos o animales. La fuente principal de patógenos entéricos son los excrementos y otros desechos eliminados por humanos enfermos y/o animales huéspedes (García, 2004; citado en Delgadillo *et al.*, 2010). Se denominan coliformes fecales a las bacterias coliformes capaces de crecer a 44.5°C, entre las cuales se encuentra *Escherichia coli*, que es una bacteria común en el tracto digestivo, normalmente no patógena, sin embargo, incluye cepas que pueden ser: enterotóxicas, enterohemorrágicas, enteropatogénicas o enteroinvasiva. Por lo que es considerada actualmente como el mejor indicador de contaminación fecal. También es generalizada la determinación de estreptococos (*Streptococcus*) por ser una de las bacterias más comunes en aguas residuales (Delgadillo *et al.*, 2010).

Mendonça (2000) citado en Delgadillo *et al.*, 2010, describe a los coliformes totales como bacterias aerobias y anaerobias facultativas no esporulados. La capacidad de reproducción de estos bacilos, fuera de los intestinos de los animales homeotérmicos (de sangre caliente), es favorecida por las condiciones adecuadas de temperatura, materia orgánica, pH, y humedad. También se pueden reproducir en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable. Con los resultados obtenidos se puede asegurar que hay presencia de *E. coli*, debido a que el agua residual proviene de fuentes domésticas, es importante que los procesos de eliminación de bacterias coliformes se lleven a cabo ya que el destino final del agua tratada es para riego agrícola, y con una adecuada remoción se podrá disminuir el riesgo sanitario.

En agosto, noviembre y enero la remoción de coliformes fecales alcanzó el 98.7, 61.1 y 91.25% respectivamente (figura 39), estos datos variaron cada mes debido a que se presentaron ligeros cambios en el pH, por desgaste del sustrato de zeolita y el flujo de agua favoreció la presencia de pH alcalinos. En noviembre se aprecia una disminución en la remoción de coliformes totales y fecales debido al descenso de la temperatura y al pH, la concentración de coliformes fecales y totales no difiere después de que el agua es tratada (figura 40), por tanto, los procesos de remoción no lograron completarse en el sistema.

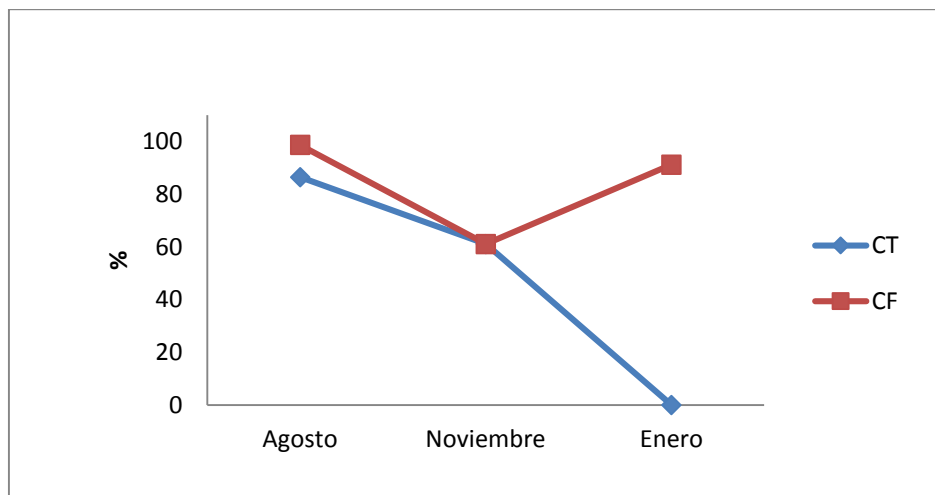


Figura 39. Porcentaje de remoción de coliformes fecales respecto de las totales.

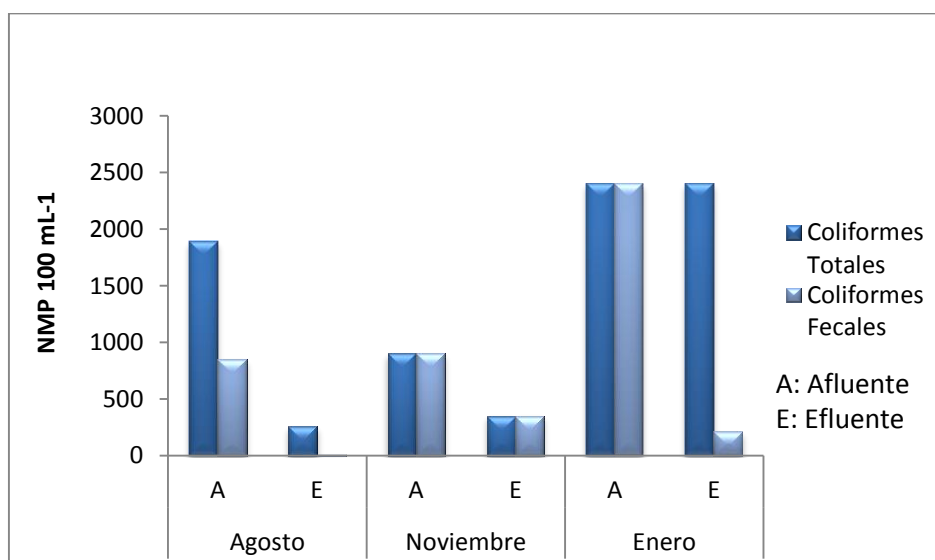


Figura 40. Organismos coliformes totales y fecales en afluyente y efluente.

Algunas investigaciones muestran porcentajes de eliminación de cóliformes de 90-99%, el porcentaje más alto de remoción de cóliformes fecales obtenido fue de 98. La remoción de cóliformes fecales puede ser más efectiva si se incrementa la vida microbiana (biopelícula) y ajustando el TRH. (Kadlec y Wallace, 2009; citados en Guzmán y Borrero, 2012)

De acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1996 se establece que el LMP de cóliformes fecales para reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional es de 1000 (NMP/100mL). La concentración promedio de cóliformes fecales obtenidos en el efluente durante los meses de muestreo fue de 190.33 NMP/100mL, este valor se encuentra por debajo del LMP establecido.

Los datos descritos anteriormente corresponden a la caracterización de afluente-efluente de los muestreos y parámetros realizados durante 2013 y 2014, se encuentran en el anexo 1.

A partir de los resultados obtenidos, se determinó el Índice de Calidad del Agua (ICA), éste indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100% (CONAGUA, 1999).

La calidad del agua residual del Barrio Guadalupe se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas en forma grupal. También, se evaluó el ICA con base a los parámetros de importancia como son: cóliformes fecales, pH, DBO<sub>5</sub>, nitratos, fosfatos y oxígeno disuelto.

El índice de calidad del agua se calculó de acuerdo a una función ponderada multiplicativa:

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i \cdot w_i$$

Dónde:

n = Parámetros

w<sub>i</sub> = Pesos relativos asignado a cada parámetro

q<sub>i</sub> = Subíndice del parámetro i

Finalmente el valor obtenido de la función ponderada multiplicativa se interpreta mediante la clasificación del ICA propuesta por Brown (cuadro 10).

Cuadro 10

RANGO	COLOR
Excelente: 91-100	Azul
Buena: 71-90	Verde
Media: 51-70	Amarillo
Mala: 26-50	Naranja
Muy mala: 0-25	Rojo

Fuente: Fernández y Solano (2005); citados en Castro y Alcázar (2010).

De acuerdo con el Índice de Calidad del Agua (ICA), el valor promedio obtenido para el afluente es de 30.78% y el del efluente de 36.93%, lo que indica que la calidad del agua es mala (color naranja), (cuadro 11).

Cuadro 11. Índices de Calidad del Agua en los tres meses de muestreo

	Agosto	noviembre	Enero
Afluente	32.04	34.1	26.22
Efluente	41.2	37.04	32.56

En la actualidad los indicadores de calidad y contaminación se presentan como una opción viable para la interpretación de variables físicas, químicas y biológicas de un programa de monitoreo, debido a que las diferentes variables son combinadas para generar un valor (Ruíz *et al.*, 2007) dependiendo de la calidad del agua en función del uso que se le quiera dar. Sin embargo, la evaluación en forma grupal de los diferentes indicadores sólo nos da una visión general de la aptitud del agua, sin incluir el comportamiento individual de cada indicador en el sistema.

El material del lecho filtrante jugó un papel determinante en la eficiencia del tratamiento el que se utilizó es poroso y resistente al desgaste mecánico y químico ocasionado por el flujo continuo de aguas residuales, tiene una mayor

conductividad hidráulica y ha demostrado proporcionar una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

Para la rehabilitación del humedal se colocó sustrato tipo zeolita, que es una roca compuesta de aluminio, silicio, y oxígeno (figuras 41 y 42). La zeolita tiene una porosidad natural debido a que tiene una estructura cristalina con ventanas, tiene un “tamaño de poro” uniforme, lo cual hace que se le denomine como un “tamiz molecular”.

Las aplicaciones de la zeolita son diversas:

Tratamiento de aguas residuales.

Potabilización de agua.

Suplemento dietético para animales.

Tratamiento de residuos de granjas.

Fabricación de fertilizantes de liberación lenta.

Modificación de suelo.

Medio cultivo para plantas.

Purificación y separación de gases.

Manipulación de residuos nucleares.

Materiales de construcción ligeros.

Control de contaminación.

Desodorizándote.

(Ecologic, 2014))

En el tratamiento de aguas residuales y de efluentes: La zeolita natural es el mejor sistema de filtración natural que existe, ofrece un efecto superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento (figura 43). La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras. Están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden adsorber cationes, como metales pesados y amoníaco. También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos y olores no deseados.



Figura 41. *Habilitación de la PTAR en HFSS, colocación de sustrato en módulos del humedal.*

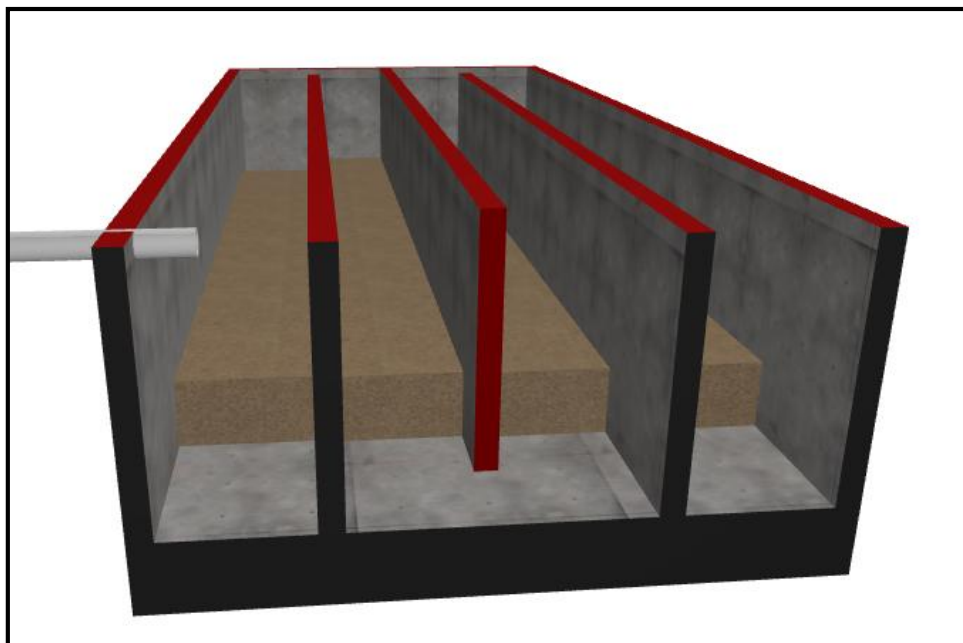


Figura 42. *Zeolita en cada una de las celdas del HFSS. Realizada por medio del programa ARCHICAD 2007®.*

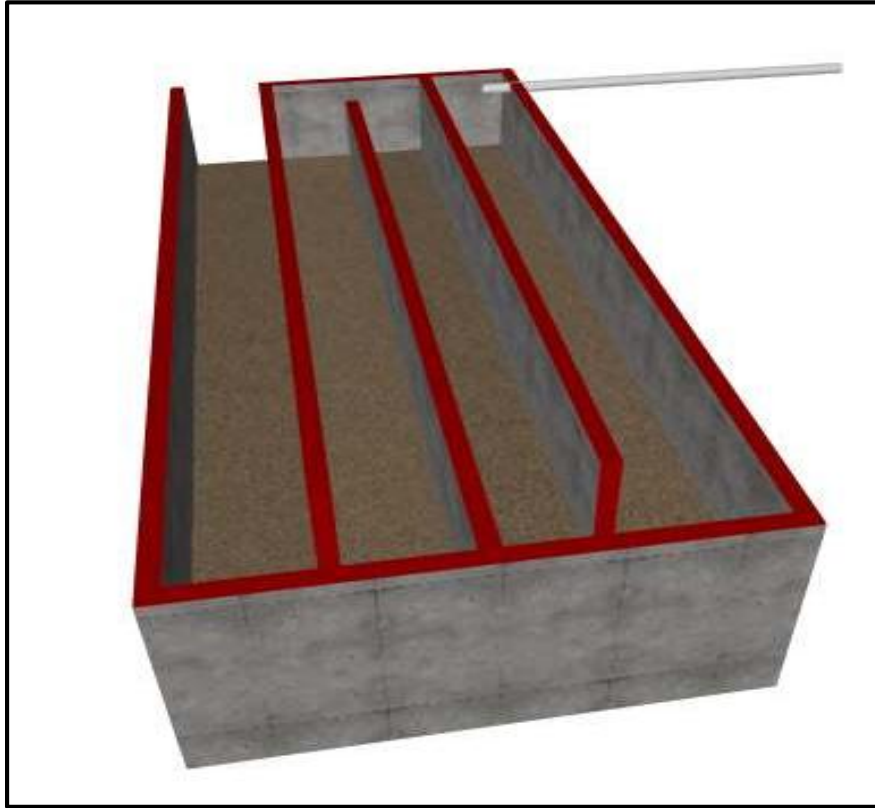


Figura 43. Vista del sustrato colocado en el humedal.

Éste último puede ser calculado como sigue:

El flujo a través del sistema es uniforme y sin interrupciones, con un tiempo de tratamiento igual a:

$$t = \frac{16.728 (0.50)(1.23)}{3.42}$$

Donde A es el área de tratamiento (en m<sup>2</sup>), n es la porosidad del sustrato (en %), h la altura del humedal (en m) y Q es gasto promedio del influente (en m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>).

Él gasto promedio puede ser calculado como sigue:

En el barrio de Guadalupe existen 935 habitantes, de los cuales aún son pocos los que tienen una conexión al drenaje de la zona.



Figura 44. Llave de paso para ajuste el desalojo del efluente



Figura 45. Humedal habilitado y en funcionamiento y grupo de trabajo.



## Conclusiones.

De acuerdo con el Índice de Calidad del Agua (ICA), la remoción de DBO es buena, el agua pasó de estar fuertemente contaminada (color rojo) a contaminada (color naranja).

Respecto a la DQO, la calidad del agua residual no ha cambiado, está fuertemente contaminada.

De acuerdo a los resultados de SST, el agua se clasifica como excelente (color azul).

El ICA indica que el agua, tanto del afluente como efluente, se encuentra categorizada como inadecuada por su nivel de contaminación, por lo que la remoción no fue suficiente para mejorar la calidad.

De acuerdo con los porcentajes de remoción más altos y haciendo una comparación con la literatura, el HAFSS ha sido más eficiente en la remoción de nitrógeno amoniacal y coliformes fecales, alcanzó valores de 96.55 y 98.70% respectivamente, esto supera lo reportado por Binti (2010), quien refiere una remoción en más del 80% de coliformes y de 56% de nitrógeno amoniacal.

La habilitación de la PTAR como HAFSSsh mejoró los procesos de remoción de contaminantes del agua residual y posterior al tratamiento pueda ser reutilizada para el riego agrícola de acuerdo con los límites establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Al realizar las modificaciones de la PTAR como la colocación de sustrato, regular el efluente, esto sin la utilización de energía eléctrica; dan una mejor eficiencia al humedal.

El barrio Guadalupe descarga 3.42 m<sup>3</sup> de agua residual, por lo que se necesita un TRH de 3 días para poder mejorar la capacidad de remoción.

Se puede aumentar la capacidad de remoción ajustando el tiempo de retención hidráulica; al modificar esta variable, los procesos químicos, físicos y biológicos podrán completarse, degradando y biotransformando una mayor cantidad de contaminantes y obtener agua de mejor calidad.



*Figura 46. Habitantes de la Comunidad de Mazatlán, profesora y alumnos de la FES Zaragoza*

## ANEXO I

**Caracterización de afluente-efluente 2013 y 2014.** Resultados de los parámetros realizados.

Parámetros	Agosto Entrada	Agosto Salida	Noviembre Entrada	Noviembre Salida	Enero Entrada	Enero Salida
T°C.	28.3	28.9	22.76	20.96	21	19.5
pH	6.55	6.8	7.1	7.36	6.88	7.44
OD (mg L <sup>-1</sup> )	1.3508	2.2964	1.158	2.296	1.158	2.296
CTNMP/100 mL	1892	256	900	350	2400	2400
CFNMP/100 mL	850	11	900	350	2400	210
SST(mg L <sup>-1</sup> )	0.02	0.02	0.0059	0.026	0.0022	0.0007
SS mg L <sup>-1</sup>	2.94	1.6	0.3	0.1	0.5	0.1
SVmg L <sup>-1</sup>	0.5	0.1	0.3409	0.279	0.09	0.116
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	219.5	162.1	155.35	80.366	305.9	68.89
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	405.405	206.8	450.8	267.72	336.365	295.134
NT(mg L <sup>-1</sup> )	6.04	6.384	8.46	3.022	6.888	2.268
N (NH <sub>3</sub> )(mg L <sup>-1</sup> )	2.688	3.024	7.396	0.672	4.872	0.168
N (Org)(mg L <sup>-1</sup> )	3.36	3.36	1.064	2.35	2.016	2.1
NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0.082	0.066	0.0436	0.0374	0.005	0.0435
NO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0.00007	0.000095	0.000094	0.000108	0.00005	0.0003
P.Total(mg L <sup>-1</sup> )	0.294	0.16	0.0823	0.0832	1.229	1.084
P.Hidrosoluble(mg L <sup>-1</sup> )	1.2482	0.36	1.1347	1.0822	1.294	1.23
P.Ortosoluble(mg L <sup>-1</sup> )	0.7853	0.352	1.097	1.0706	1.083	0.855
SAAM(mg L <sup>-1</sup> )	0.549	0.158	0.633	0.624	0.9194	0.7803
Grasas y aceites(mg L <sup>-1</sup> )	20.375	10.7368	241.04	138.58	654.8	653.6

## Referencias bibliográficas.

- APHA, AWWA, WPCF, (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales), Ed. 18. Madrid, España, editorial Días de Santos, S.A.
- Barnes, D., Bliss, P., Gould, B. & Vallentine, H.R. (1981). Water and Wastewater Engineering System. Great Britain: Pitman Publishing Limited.
- Binti, N. (2010). Performance of constructed wetlands using *Vetiveria zizanioides* for sewage treatment. A project report for Master of Engineering. Malaysia, Universiti Teknologi Malaysia.
- Buchberger S., Shaw G. (1995). An Approach Toward Rational Design of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Ecological Engineering. p. 249-275.
- CNDPI, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (2008). Condiciones Socioeconómicas y Demográficas de la Población Indígena, Región Sur 1 Oaxaca, p. 22.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, consultado el 15/ 8/ 2014 recuperado de [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/09\\_Diseño\\_De\\_Instalaciones\\_Mecánicas.pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/09_Diseño_De_Instalaciones_Mecánicas.pdf)
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2012). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México, Comisión Nacional del Agua, consultado el 13/05/2014, recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2013). Tratamiento de agua residuales consultado el 25/01/2013 recuperado de [http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_en\\_mexico.pdf](http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/tratamiento_de_aguas_residuales_en_mexico.pdf)
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2011). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, consultado el 4/04/2014 recuperado de <http://www.Conagua.gob.mx/>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2011). Estadísticas del Agua en México, consultado el 20/04/2014, recuperado de <http://www.conagua.gob.mx>.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2011). Agenda del Agua, consultado el 15/02/2014, recuperado de <http://www.conagua.gob.mx>

- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2008). Programa Nacional Hídrico 2007-2012, consultado 6/03/2014, recuperada de <http://www.conagua.gob.mx>.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2007). Estadísticas del Agua en México. Consultado el 12/12/2014 recuperado de <http://centro.paot.org.mx/index.php/porinstituciones/federales/38conagua/84-estadisticas-agua-2007>
- CONANP, Comisión Nacional de las Áreas Naturales Protegidas (2013). Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, p.36-37, consultado el 17/10/2013, recuperado de [http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/pdf/programas\\_manejo/tehuacan\\_2013.pdf](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/tehuacan_2013.pdf)
- Dávila, A., Medina, R., Ramírez, A., Salinas, A., Tenorio, P. (1991). Análisis de la flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán endemismo y diversidad. Simposio sobre evaluación, recuperación, propagación y mantenimiento de plantas en peligro de extinción. México, Universidad Autónoma de México, Instituto de Biología, p.40-46.
- Dávila, P. (2003). La flora útil de dos comunidades indígenas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Coxcatlán y Zapotitlán de las Salinas, Puebla. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores- Iztacala, Unidad de Biotecnología y Prototipos, p.20.
- Delgadillo O., Camacho A., Pérez L. y Andrade M. (2010). Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales. Bolivia: Serie Técnica.
- Ecologic maintenances México 2014. Purification wáter systems, waste water treatments, consultado el 20/12/2014 recuperado de [www.emmexico.com](http://www.emmexico.com)
- Estadísticas del Agua en México (2011). Consultado 20/04/2014 recuperado de [http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf).
- Durán C., Rodríguez M, J., (2006), Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco en Tecnología Ciencia Educación, Tecnología, Ciencia, Educación, 21, Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C Monterrey, México, p. 2-33 consultado 15/06/2014 recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa>.
- Fenoglio L. (2000). Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Fernández C. Fitodepuración en humedales. Conceptos generales. Consultado en 16/07/2015, recuperado de: <http://www.cienciasmarinas.uvigo.es>

- García J., Corzo, A., (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. 2011. Planes de Regionales de Desarrollo de Oaxaca zona La Cañada, 2011-2016. p. 57- 72, consultado 06/02/2013, recuperado de <http://www.transparenciapresupuestaria.oaxaca.gob.mx/pdf/03/Canada.pdf>
- Guzmán C., Borrero, J., (2012). Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales: estado del arte” en Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 22 (2): 39-61.
- Guzmán, C., Borrero, J., (2012). Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales estado del arte en Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 22 (2): 39-61.
- Henry, G., Heinke, W., (1999). Ingeniería Ambiental. Prentice Hall, México, p.800.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., Muench, E. (2011). Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. Agencia de Cooperación Internacional de Alemania (GIZ), Eschborn. P 39.
- Montoya, I., Ceballos L., Casas, C., Morató J., (2010). Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas en Revista EIA. 14, p. 75-84.
- Instituto Nacional de ecología (2007). Mapas de Zonas Alta Prioridad, Mazatlán Villade Flores. Consultado 01/02/2013, recuperado de <http://www.ine.gov.mx/>
- Londoño, L., Vanegas, C., (2009). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética*. (Tesis de maestría), Universidad Tecnológica de Pereira.
- López S. (2011). *Diseño construcción y mantenimiento de humedales de flujo sub-superficial para el tratamiento de agua residuales en los municipios de Apaxtla de Castrejón y Tetipac*, (Tesis de licenciatura), UNAM FES, Zaragoza.
- Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (2010), Región la Cañada, consultado 03/09/2013, recuperado de <http://www.snim.rami.gob.mx/>
- Instituto nacional de estadística y geografía (INEGI). Mazatlán Villa de Flores consultado 3/01/2013, recuperado de <http://www.inegi.org.mx/>

- García J., Hernández C., (2008). Depuración con humedales construidos, consultado 26/07/2013, recuperado de [http://upcommons.upc.edu/eprints/bitstream/2117/2474/1/JGarcia\\_and\\_ACorzo.pdf](http://upcommons.upc.edu/eprints/bitstream/2117/2474/1/JGarcia_and_ACorzo.pdf)
- Méndez I. (2005). *Zonificación de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán: un enfoque fitogeográfico*. (Tesis Doctoral). México: UNAM, FES Iztacala.
- Metcalf & Eddy (2004), *Wastewater Engineering (Treatment and Reuse)*. 4th ed. New York: McGraw Hill.
- Municipio de Oaxaca de Juárez. Plan Municipal de Desarrollo 2011-2014 (2011). Consultado 06/02/2013 recuperado de [http://www.municipodeoaxaca.gob.mx/gobierno/pdf/12medio\\_ambiente.pdf](http://www.municipodeoaxaca.gob.mx/gobierno/pdf/12medio_ambiente.pdf)
- Romero, A., Colín, M., Sánchez, E. y Ortiz, M. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica, recuperado el 10/06/2014 de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/21580>.
- Rousseau D., Vanrolleghem P., De Pauw N. (2004). Model-Based Design of Horizontal Subsurface Flow Constructed Treatment Wetlands: A Review. *Water Research* 38 ,1484–1493.21
- Ruíz, N., Escobar, Y., Escobar, C., (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*. 27(3) ,172-181.
- Rzedowski, J., Calderón, G. (1994). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 5. Linaceae Gray. México, Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez G. (2012). Acceso a la información servicios y apoyos en zonas de atención prioritaria Oaxaca, Centro de Investigación y Estudios Superiores en antropología Social (Unidad Occidente) p.49-52.
- Sánchez O., Herzing M., Peters E., Márquez R. y Zambrano L. (2010). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recurso Naturales (SEMARNAT). NOM-01-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México, 2003: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recurso Naturales (SEMARNAT). NOM-002-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. México, 1998: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). MX-AA-003-1980. Aguas Residuales. Muestreo, Dirección general de normas. Fecha de aprobación y publicación. México, 1980: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. México, 1998: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NOM-AA-004-SCFI-2000. Análisis de Agua. Determinación de Sólidos Sedimentables en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-004-1977). México, 2000: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NOM-AA-005-SCFI-2000. Análisis de Agua. Determinación de Grasas y Aceites Recuperables en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-005-1980). México, 2000: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NOM-AA-008-SCFI-2000. Análisis de Agua - Determinación del pH - Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-008-1980). México, 2000: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de Agua. Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas Método de Prueba (cancela a la NMX-AA-026-SCFI-2001). México, 2011: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO<sup>5</sup>) y Residuales Tratadas - Método de Prueba (cancela a la NMX-AA-028-1981). México, 2001: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NOM-AA-029-SCFI-2001. Análisis de Aguas. Determinación de Fósforo Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas Método de Prueba (las partes de esta NMX cancelan la NMX-AA-029-SCFI-2001). México, 2001: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NOM-AA-039-SCFI-2001. Análisis de Aguas Determinación de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas Método de Prueba. México, 2001: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). NOM-AA-042-SCFI-2005. Calidad del Agua. Determinación del Número más Probable (NMP) de



Coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y *Escherichia Coli* Presuntiva. México, 2005: Diario Oficial de la Federación.

Secretaría del Medio Ambiente y Recurso Naturales (2010), consultado el 15/08/2014 de [aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadísticas/compendio2010/10.100.13.5\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet28b9.html](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadísticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html).

Seoáñez M. (1999). Aguas residuales, tratamiento por humedales artificiales, fundamentos científicos, tecnologías, diseño, ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Seoáñez M. (2005). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo, ediciones Mundi-prensa, Madrid. p. 66

Ortiz P. (9 septiembre 2009). Terminan planta tratadora de aguas residuales en Mazatlán, *Voz del Sur Oaxaca*, Recuperado de <http://www.vozdelsur.com.mx/archivo/1192-terminan-planta-tratadora-de-aguas-residuales-en-mazatlan.html>

Ovando G. (1 de febrero 2010), Se pone en marcha planta tratadora de aguas residuales en comunidad mazateca, *Crónica de Oaxaca*, Recuperado 2/10/2013, <http://www.cronicaoxaca.info/informaciongeneral/2225-se-pone-en-marcha-plantatratadora-de-aguas-residuales-en-comunidad-mazateca.html>

Vymazal, J., Brix H., Cooper P., Green M. & R. Haberl (1998). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe, Bachuys Publishers, Leiden, NL.

Vymazal J,(2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Department of Landscape Ecology, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences, Prague. 2, 530-549.

Viñals, J. Blasco, D., Morant, M. (2011). Los humedales mediterráneos: el contexto ambiental y social. Reflexiones para su estudio y gestión eficaz. Fundación Biodiversidad. Gobierno de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Informaciones agronómicas no. 36. Consultado el 12/06/2014 recuperado de <http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf>