

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

**Evaluación de la calidad física, química y bacteriológica
del agua tratada en un humedal de flujo subsuperficial
para uso piscícola.**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LOS
LABORATORIOS INTEGRALES DE BIOLOGÍA V Y VI, QUE
PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO PRESENTAN:**

**Eugenio Cruz Keyla
Gallardo Vega César Alonso**

Directora de Tesis: Biól. Maricela Arteaga Mejía

Enero de 2009



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.

AGRADECIMIENTOS

No hay palabras suficientes para agradecer todo el apoyo y cariño que he recibido a lo largo de mi vida, así como no habrá espacio suficiente para nombrarlos a todos; sin embargo gracias de todo corazón!! A los que están, a los que ya no quisieron esperar, a los que me faltó mencionar... Son como la fibra en la manzana, gracias a ustedes las cosas difíciles han sido fáciles de digerir y mi caminata ha sido más satisfactoria.

Mi Florecita te he de decir que haz cumplido satisfactoriamente tu misión en toda mi vida, embelleciendo en todo momento el jardín de mi pensamiento y mi corazón en donde crece la semilla que riegas palabra a palabra, caricia a caricia, sonrisa a sonrisa... Sólo puedo decir que soy la más afortunada, pues Dios creó a la más bella flor, y sin merecerla, me la regaló.

Papito gracias por quererme tanto y por los límites que siempre pusiste a mi vida, pues gracias a ellos nunca me desboque ante el precipicio. Gracias por brindarme la oportunidad de crecer en medio de una familia orgullosamente zapoteca, Yatzachi ya tiene otra profesionista.

Mamá Ofe, mi machita gracias por ser mi compañera de la infancia, por enseñarme que ser "canijo" no es una condición meramente masculina, pero sobre todo por enseñarme a caminar rápido, no me puedo detener ante los que no caminan a mi paso... algún día me alcanzarán y yo seré feliz porque ya no caminaré sola.

Mamá Catita nunca terminaré de agradecer sus oraciones, porque en cada una va una alegría recibida, un familiar sano, fortaleza para seguir con la marcha, un peligro menos, un triunfo que compartir, la ilusión del mañana. Gracias por acordarse año tras año de mi cumpleaños y compartir conmigo de sus deliciosas comidas.

Mito hoy te puedo decir que de lo malo he sacado lo mejor... Gracias por darme el coraje de seguir siempre adelante, sin retroceder... no podía darme ese lujo! Te amo incondicionalmente.

A mi padrino Alfredo gracias por cobijarme ante el frío de estar sola y por acompañarme con las películas de terror.

A mis padrinos Hugo y Bertha, gracias por dejarme entrar a su hogar, por permitirme convivir con Ivancito el tremendo (Qué se arma primo? jaja), las nenas, con madrina Agripina, con tía Mauri, tía Tere y todos los integrantes... Son una familia a la que quiero y admiro profundamente.

Mis hermanitas: Andaloy, Nahela, Beatriz, Angélica, Sarahí, Itzel, Lizeth si están bien ustedes yo también, gracias por su compañía y complicidad en muchas de mis locuras, han ocupado parte importante de mi vida.

A todos mis primos hermanos: A los Eugenio que son un montón... les agradezco sus juegos, el que me consintieran, que me hicieran parte de ustedes y que me enseñaran a defender de lo que se veía venir; a los Cruz gracias por dejarme quererlos, ser parte de mis buenos ratos y suportar mis rudezas. Y a los que ya me han hecho tía, doblemente gracias por esa alegría... Los adoro!!

A mis tíos: Abraham y Malena como agradecer todo el cuidado que han tenido con mi familia y el interés sincero por nuestro bienestar, Salatiel y Magarita gracias por el cariño y sinceridad, Martha y Wilebaldo gracias por su afecto y cuidados, Mario y Lidia gracias por darme refugio en su hogar y en la palabra de Dios. Tía Alicia, tío Gerardo, tía Ange, tío Eliezer, tía Gemima, tía Miriam, tío Néstor, tíos Conchitos (Martínez Morales), tío Abimael y tía Sarita gracias por su

solidaridad, consejos y cariño. Y por supuesto gracias a mi tía Olga quien fuera mi cómplice en mi huída a la UNAM, a todos mis tíos (que son muchos y algunos no menciono) gracias por darme la dicha de proveerme de más hermanos, los quiero y respeto mucho.

Por orden cronológico gracias a mi amigo Gerardo (prometo ya no patear), Lucero y Leonel (éramos un trío fantástico), Paulina (haces falta en mi cuarto), Víctor Hugo (cuida mis orejas Juguito), Oscar Martínez (gracias por acompañarme en el columpio), Yesnini (nunca me haz dejado), Luís Aquino (ahora ya son 4 amigos), David (cuando cantamos?), Eleane (gracias por prestarme a tu familia), Daniel (Dios me hablo de ti), Luz Verónica (no te olvides de nuestros planes), por supuesto no podía faltar el más loco de todos Lechuche (mi damo de compañía incondicional) y Cesarín, (el servicio social ya estuvo y ahora la tesis, que sigue??) Gracias por recorrer y correr conmigo este camino incierto... Éxito a todos ustedes, porque son como el chile en mi comida, han dado sabor a mi existir, y siempre los llevaré en mi corazón.

A mi mejor amigo, mi confidente (hasta de los peores chismes), mi porrista personal, mi despertador en las madrugadas de serenata, mi hermano en momentos malos y no tan malos, mi novio y todo lo que se le sume... Mil, ocho mil gracias Arturin.

Gil Bustamante mi maestro entrañable, maestro Joel gracias por su confianza y sus consejos que me permitieron culminar satisfactoriamente, maestra Maricela Arteaga gracias por sus enseñanzas, por su tiempo, por su paciencia, por su amistad, por sus ánimos y cariño, y por todo cuanto a compartido conmigo (lo cual es mucho!), es una bióloga ejemplar... En ausencia de mis padres ustedes me ha llevado de la mano, guiándome en este colosal camino, gracias.

A mis sinodales la Biól. Maricela Arteaga Mejía, el M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas, a la M. en C. Lourdes Castillo Granada, al la Biól. Ma. Eugenia Ibarra Hernandez y al Biól. Luis Samuel Campos Lince agradezco su tiempo y disposición en esta etapa final, me han ayudado a corregir mis errores y hacer de mi tesis un mejor trabajo.

México Nación Multicultural, han sido más que una beca, me han brindado una oportunidad de vida. Han ayudado a mi gente, respetando nuestras costumbres, nos han inspirado a seguir adelante con la frente en alto; en un medio tan adverso e individualista me hacían sentir en casa... Gracias por su preocupación y cariño, gracias por su vocación de ayuda y servicio.

No podría olvidarme de mi universidad, la Universidad Nacional Autónoma de México “La Máxima Casa de Estudios” gracias a sus buenos maestros, su diversidad de ideas, su apoyo y aceptación a los estudiantes, sus oportunidades de superación, sus estímulos y muchas cosas más... Con cuotas mínimas he recibido lo mejor a nivel nacional! Como bien dijo un oaxaqueño: “Por mi raza hablará el espíritu”.

Concluyo agradeciéndole al principal en mi vida, que no me haya dejado ni en los días más nublados... gracias Dios padre por concederme volar, con ello me has permitido pasar sobre el fango sin haberme manchado.

Keyla Eugenio Cruz

AGRADECIMIENTOS

Querer ser diferente a lo cotidiano, tener una sed intensa por hacer las cosas con un estilo único y claro sobre todo perfectamente realizadas, en muchas ocasiones y aún en estos momentos es algo que no se puede lograr fácilmente y mucho menos sin el apoyo de ustedes, los que siempre han tenido gran influencia en mi persona aún hasta para las grandes decisiones que han marcado el destino de mi vida; con ustedes a mi lado en cada etapa de mi vida han sido muchas las alegrías, pero también las derrotas que sin ustedes a mi lado para levantarme en cada caída que mi vida me ha dado, algunas por la inexperiencia, otras por rebeldía, algunas más por no hacer caso a los consejos que su experiencia en la vida les ha dado, tal vez no estaría en este momento agradeciendo por esta alegría que junto con ustedes, mis padres Luis y Sara estamos viviendo, y sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de mucho trabajo, sólo deseo que entiendan que el logro mío, es el logro de ustedes; que mi esfuerzo es inspirado en el suyo, y que mi único ideal son ustedes.

Pero esta alegría y agradecimiento es necesario extenderla a todos ustedes, mi familia querida; a ti Luis, hermano con quien tuve la alegría de crecer y pasar muchos buenos momentos juntos y que no dejan de terminarse ahora con tu nueva vida que comienzas con Adriana y el pequeño Rodrigo, los quiero. También a ti Javier, mi segundo hermano que después de 10 años, cuando sentía que ya casi era grande, queriendo ser hombre, llegaste para recordarme que la infancia es la etapa de la vida que más nos hace soñar. Son de esa clase de personas que todo lo comprenden y dan lo mejor de sí mismos sin esperar nada a cambio, porque saben escuchar y brindar ayuda cuando es necesario, porque se han ganado mi cariño, admiración y respeto... Gracias hermanos por ser los mejores.

Es necesario mencionar también a Elvia, Soledad y Francisco, Mis Abuelos en los que los a papachos nunca son limitados, en los que siempre están ahí para protegernos de los regaños de los papas.

También quiero hacer extensivo este agradecimiento y está alegría a Mis Tíos, Celia, Benjamín, Paco, Raúl, Georgina, Martha y Raquel y a todos sus hijos, mis primos; con quienes hemos tenido las mejores convivencias en compañía de las familias completas. Porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de mis anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mi se depositó y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido.

También es necesario agradecer a mis amigos, con los que crecí, a los que en cada etapa fueron parte de mi ser y más aún a los que llegaron para nunca más irse, con los que cada momento de diversión se hace único, con los que están ahí, en el momento que se necesite sin importar si es bueno, malo, de estudio, de trabajo o de diversión.

Este momento creo que es el adecuado para mencionarte a ti, Keyla mi compañera y coautora de este trabajo de tesis, y hacer oportuno el momento para agradecerte por el apoyo y la paciencia que has tenido para lograr que este proyecto que empezamos juntos este llegando al fin de manera satisfactoria, porque dejando de lado el aspecto estudiantil por un momento, en ti encontré una amistad incondicional por sobre cualquier circunstancia y eso es algo que no se encuentra fácil en esta vida, en verdad de corazón te deseó lo mejor en el futuro de tu vida, en verdad gracias por todo.

También les quiero agradecer a todos los profesores, maestros, investigadores y doctores de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza que fueron parte de mi formación como Biólogo y hacer una mención especial de quien nos llevo casi de la mano en este trabajo, la Biól. Maricela Arteaga Mejía nuestra directora de tesis, en quien puedo decir que encontré el un buen ejemplo de experiencia y profesionalismo de la biología y de quien estoy realmente admirado, muchas gracias maestra Mary por cada momento de cátedra y ayuda que nos brindo.

También quiero agradecer al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas, a la M. en C. Lourdes Castillo Granada, al la Biól. Ma. Eugenia Ibarra Hernandez y al Biól. Luis Samuel Campos Lince. Nuestros sinodales, por su valioso tiempo prestado para realizar observaciones y comentarios al trabajo presentado.

César Alonso Gallardo Vega



ÍNDICE	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Disponibilidad de agua	2
2.2 Sobreexplotación de acuíferos	2
2.3 Marco legal del sector agua	2
2.4 Calidad del agua	3
2.5 Aguas residuales	4
2.6 Tratamiento de aguas residuales	6
2.6.1 Tratamiento primario	6
2.6.2 Tratamiento secundario	6
2.6.3 Tratamiento terciario o avanzado	6
2.7 Reutilización de aguas residuales	7
2.8 Humedales construidos	8
2.8.1 Humedales de flujo subsuperficial (FSS)	9
2.9 Componentes de un humedal artificial y sus funciones	10
2. 9.1 Vegetación	10
2. 9.2 Microorganismos	11
2. 9.3 Sustrato	11
2.10 Procesos de tratamiento que se llevan a cabo en el humedal	12
2. 10.1 Conversiones bioquímicas	12
2. 10.2 Volatilización	12
2. 10.3 Interacciones con el suelo	12
2. 10.4 Deposición/Filtración	13
2. 10.5 Nutrición de la vegetación	13
2.11 Eficiencia de los humedales artificiales en la remoción de contaminantes	13
2.12 Diseño y construcción de un sistema de tratamiento con humedales construidos	14
2.13 Importancia de usar humedales construidos para tratar aguas residuales que provienen de comunidades rurales y zonas urbanas	14



3. ZONA DE ESTUDIO	16
3.1 Orografía	17
3.2 Hidrografía	17
3.3 Clima	17
3.4 Flora	17
3.5 Fauna	17
3.6 Uso del suelo	17
3.7 Grupos étnicos	17
3.8 Geología	17
4. OBJETIVOS	19
4.1 General	19
4.2 Particulares	19
5. HIPÓTESIS	19
6. MÉTODO	20
6.1 Trabajo de campo	20
6.2 Trabajo de laboratorio	24
7. RESULTADOS	40
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
9. CONCLUSIONES	59
10. BIBLIOGRAFÍA	61
11. ANEXO	64



1. INTRODUCCIÓN

Generalmente el agua se considera un recurso renovable, es decir, que puede utilizarse de manera que no afecte la disponibilidad a largo plazo (Gleick, P. H. 1998). Uno de los principales desafíos es preservar los ecosistemas acuáticos que proporcionan valiosos servicios ambientales, para que suministren agua de buena calidad a la población (WRI. 2000).

México presenta una gran variedad de climas y ambientes naturales, mismos que afectan las distintas fases del ciclo hidrológico y establece un marcado contraste de escasez y abundancia de agua. La escasez y mala distribución espacial y temporal imponen limitaciones a su uso, la contaminación se ha manifestado como otro factor restrictivo para su disponibilidad y uso. La mayoría de los cuerpos superficiales reciben descargas de agua residuales sin tratamiento previo¹.

En el año 2005, las descargas municipales y la industria generaron un caudal de 205 m³/s de aguas residuales, solo se trataron 71.8 m³/s, lo que representa 35% del total de aguas residuales generadas (CNA. 2005).

Existen distintas formas de tratar las aguas residuales: los tratamientos físicos y químicos suelen ser rápidos y la calidad que puede alcanzarse es buena. La desventaja radica principalmente en su costo y por lo tanto, no pueden aplicarse en zonas de bajo desarrollo económico. Además, se utiliza para el tratamiento una gran cantidad de productos químicos, cuyos residuos pueden causar problemas ambientales. Asimismo, durante el proceso se generan lodos residuales a los que es difícil asignar un destino adecuado.

Otro tratamiento es el biológico, se usa para la remoción de materia orgánica principalmente los microorganismos proveen, captan y almacenan nutrientes y algunos otros contaminantes a corto y largo plazo (dependiendo de las condiciones).

Ante la problemática señalada con los tratamientos convencionales, como una alternativa diferente para tratar aguas residuales se propone el uso de humedales construidos, por su alta eficiencia en la remoción de contaminantes, por requerir de áreas relativamente pequeñas para su funcionamiento y porque pueden obtenerse beneficios adicionales del sistema. En el presente trabajo de investigación nos ocuparemos de la caracterización biológica, física y química del agua tratada en un humedal construido de flujo subsuperficial.

¹ El banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas consideran que una disponibilidad natural per cápita de 1000 m³/año indica una gran escasez de agua, mientras que menos de 2000 m³/año indica un nivel peligrosamente bajo en años de escasa precipitación.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 Disponibilidad de agua

La cantidad de agua disponible varía considerablemente de un país a otro y la población que se asienta en cada uno de ellos no necesariamente corresponde con esta disponibilidad. Un indicador ampliamente utilizado es el que se refiere a la disponibilidad natural media per cápita¹, medido en m³/hab/año. En comparación con otros países, México cuenta con una disponibilidad per cápita inferior en 40% respecto a la de Estados Unidos y tan sólo en 14% respecto de Canadá. Actualmente, la disponibilidad media anual de agua para cada mexicano es de 4 547 m³, esta disponibilidad ha descendido, ya que en 1955 era de 11 500 m³/hab, y para el año 2025 se espera que sea únicamente de 3 500 m³/hab (Mazari- Hiriart M. 2005).

2.2 Sobreexplotación de acuíferos

En México la sobreexplotación de los acuíferos es cada vez más intensa; en 1975 eran 32 cuerpos de agua subterránea sobreexplotados, éste número se elevó a 36 en 1981, a 80 en 1985, a 97 en 2001 y a 102 en el 2004. De los acuíferos sobreexplotados se extrae aproximadamente el 57% del agua subterránea para todos los usos (OCDE, 2003).

En el territorio nacional se reciben 772 mm de agua de lluvia en promedio anualmente, lo que se considera abundante. Sin embargo, la cantidad de agua que se recibe como precipitación es variable año con año y de una región a otra del país. Los estados localizados en la zona norte ocupan cerca del 50% de la superficie del país y contribuyen con apenas poco más del 25% del agua que ingresa por lluvia, mientras que los estados de la zona sur, con sólo el 20.6% de la superficie nacional, reciben el 40.5% de la lluvia.

Se estima que existen en el país del orden de 35 mil descargas de aguas residuales que se vierten a cuerpos receptores de propiedad nacional (SEMARNAT, 2003).

2.3 Marco legal del sector agua

Existen diferentes instrumentos legales para el uso, manejo y disposición del recurso hídrico, como son: La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículo 115, modificado en 1987; Ley de Aguas Nacionales y su reglamento, Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, Ley de Ingresos de la Federación, Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica, Leyes estatales en materia de agua potable y alcantarillado, Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Tratado sobre la distribución de aguas nacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de Norteamérica y decreto presidencial de creación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

¹ De acuerdo a este indicador la disponibilidad de las regiones y países se clasifican de la siguiente manera: menos a 1000, extremadamente baja; de 1001 a 2000, muy baja; de 2001 a 5000, baja; de 5001 a 10000, media; de 10001 a 20000, alta; y más de 20001, muy alta.



En este sentido, la Comisión Nacional del Agua (CNA), que es una entidad desconcentrada de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), es la autoridad federal responsable de administrar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, de acuerdo con las facultades que le otorga la Ley de Aguas Nacionales (Swackhamer, D. L. 2004).

La Ley de Aguas Nacionales, mantiene el principio de dominio de la nación sobre los recursos hídricos, ésta Ley otorga seguridad jurídica a los usuarios y reconoce la participación particular en la administración de los recursos hídricos, en el financiamiento, construcción, operación y conservación de la infraestructura hidráulica federal. En su Reglamento 2004, define el uso para conservación ecológica como el caudal mínimo en una corriente o el volumen mínimo en cuerpos receptores o embalses, que deben conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema (CNA. 2005).

2.4 Calidad del agua

El agua que es posible utilizar, se determina no solo por la cantidad disponible, sino por las condiciones de calidad. Por ello, no es adecuado hablar de buena o mala en abstracto, sino cada actividad, requiere un agua que llene los requisitos para su uso. Sin embargo, hay factores físicos, químicos y biológicos que pueden afectar de manera natural su calidad.

Existen dos formas a través de las cuales se puede contaminar el agua. Una de ellas es por medio de contaminantes naturales, es decir, el ciclo natural del agua puede entrar en contacto con contaminantes que se vierten en las aguas, atmósfera y corteza terrestre por ejemplo: sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión, tales como arsénico, cadmio, bacterias, arcillas, materia orgánica, etc. La otra es a través de los contaminantes generados por el hombre producto de los desechos líquidos y sólidos que se vierten directa o indirectamente en el agua por ejemplo: las sustancias que provienen de rellenos sanitarios, de desechos industriales, sustancias empleadas en el combate de plagas agrícolas y/o vectores de enfermedad (Novonty, V. & Harvey, O. 1994).

La naturaleza de las características físicas, químicas y biológicas de los recursos acuáticos está directamente relacionada con el uso que le dará el ser humano (Mazari-Hiriart M., 2005). Para evaluar los cambios en las condiciones del agua se pueden emplear parámetros tanto físicos, químicos, o biológicos, que proporcionan ciertas características al agua; a estos se les denomina "indicadores de la calidad del agua" (Seóanez, C. M. 1999).

La valoración del agua como de buena o mala calidad no es absoluta, depende del uso que se le dé o el destino que tenga (Revenge C., 2000), por ello, la calidad del agua puede también ser definida simplemente como la aptitud del líquido para sostener varios usos o procesos (Meybeck, M. y Helmer, R. 1996).

Las aguas de desecho domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias en general no reciben tratamiento y se vierten crudas directamente en los cuerpos de agua superficiales (CNA. 2005), además, funcionan como sumideros para otras fuentes de contaminación, puntuales o difusas (Jackson, R. B. 2001).

2.5 Aguas residuales



El agua residual se define, considerando las fuentes de su generación, como la combinación de los desperdicios líquidos y los desperdicios acarreados por el agua que se remueven de residencias, instituciones y establecimientos comerciales e industriales junto con agua superficial, subterránea o de tormenta que pueda estar presente (Metcalf y Eddy 1996).

La NOM-001-SEMARNAT-1996, define el agua residual como “las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas”. Los contaminantes en el agua residual son generalmente una complicada mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Las sustancias químicas representan un problema para la calidad del agua dependiendo de su toxicidad intrínseca, del tiempo que persisten en el líquido sin descomponerse, de su bioacumulación, de la manera cómo interactúan con otros químicos, de cómo se transportan del suelo y del aire hacia el agua, y de su potencial transformación en otras formas químicas más peligrosas (Swackhamer, D. L. 2004).

Entre los parámetros físicos, químicos y biológicos de importancia para la evaluación de la calidad del agua se encuentran:

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada, quedando como una medida equivalente de oxígeno, contenida en la materia orgánica. Las pruebas son rápidas, por lo general reproducibles y han tomado gran importancia porque sirve para evaluar la resistencia de los residuos industriales no biológicos. Este parámetro puede relacionarse empíricamente con la DBO, el carbono orgánico, o la materia orgánica (APHA, 1992).

Sólidos: Los sólidos pueden afectar la calidad y suministro del agua. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatividad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor; se encuentran mezclados en una fracción coloidal que puede ser removida por sedimentación, están constituidos por partículas de materia orgánica e inorgánica, generalmente se requiere una oxidación biológica o coagulación, seguida de una sedimentación para poder remover estas partículas.

Los sólidos en suspensión evitan que la luz penetre hasta los organismos fotosintéticos, originando una reducción en la producción de oxígeno, liberan gran cantidad de oxígeno, nitrógeno y fósforo presentes en las proteínas.

pH: El desarrollo normal de una depuración biológica estriba en la adecuada actividad de las enzimas de los organismos que habitan en el agua, por tanto es importante mencionar que son activas en un rango muy estrecho de pH y suelen inhibirse con concentraciones altas de sales. El intervalo de pH idóneo para la existencia de la mayoría de los organismos en un cuerpo de agua, es muy estrecho y crítico, y muy sensible a cambios externos, principalmente en los mecanismos osmóticos.

Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM): Los detergentes, tanto para uso doméstico como para uso industrial contienen fosfatos; los detergentes fosforados juegan un papel muy importante, son ablandadores que por sus propiedades como acomplejantes, disminuyen la dureza del agua al fijar el calcio y magnesio. Los fosfatos que se encuentran en un producto para el lavado se presentan en general en forma de polifosfatos, que son las moléculas más difíciles de separar.



Fósforo: Es un compuesto característico de los organismos vivos y es liberado por la descomposición de las células, de manera que los residuos humanos, animales y de aguas residuales procedentes de industrias que procesan materiales biológicos, la industria alimenticia, constituye otra fuente de los compuestos de fósforo (Hernández, G. M. G. y Rivera, B. E. 1996).

Conductividad Eléctrica y Temperatura: Estos parámetros tienen una relación directa ya que la conductividad se incrementa a medida que aumenta la temperatura, a un índice de 1.98 (μS) por 100°C aproximadamente, esto hace notar que cada ión tiene un coeficiente de temperatura distinto. La medición de la conductividad eléctrica se utiliza para evaluar las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales, así como para el monitoreo de la calidad en abastecimientos de agua con alta pureza.

La temperatura es importante no solo por participar en las actividades metabólicas y la conducta de los organismos, sino porque puede alterar el estado físico-químico de los contaminantes.

Metales Pesados: Algunos metales son esenciales para diferentes actividades metabólicas, mientras que otros pueden perjudicar a los organismos, a los sistemas de tratamiento y aguas de depósito. En muchos casos el potencial benéfico o de riesgo depende de la concentración en la que estén presentes.

Concentraciones altas de metales pueden desestabilizar los procesos metabólicos de los tejidos en plantas y organismos, la base química de este efecto es la afinidad que tienen por los grupos sulfhídrico de las proteínas, en especial arsénico, plomo y mercurio, unidos a las proteínas de una membrana celular pueden alterar la distribución de los iones, cambiar los potenciales eléctricos y de este modo el movimiento de fluidos a través de la membrana, afecta la partición de iones entre la fase sólida y la solución del suelo y con esto el flujo convectivo de nutrimentos (Jiménez, J. R. 2002).

Coliformes: Los organismos coliformes no son en sí perjudiciales, de hecho son importantes para la degradación de la materia orgánica en los sistemas de tratamiento. Sin embargo, junto con los organismos coliformes el hombre descarga patógenos, como los que pueden causar fiebre tifoidea, disentería, cólera, etc.

Teniendo en cuenta que la población de estos microorganismos patógenos en las aguas residuales es pequeña, y además que es difícil de localizar, se utiliza la presencia de organismos coliformes que son numerosos y fáciles de localizar como indicadores potenciales de la presencia de organismos patógenos, las coliformes cumplen la función de organismos indicadores (Jiménez, J. R. 2002).

Color: El color aparente está dado por los sólidos en suspensión más el color verdadero de la muestra. El color afecta la efectividad del proceso de desinfección con cloro e incrementa el mal olor y sabor si están presentes fenoles en el agua, puede ser originado por la presencia de iones metálicos como el hierro y manganeso, sustancias húmicas, plancton o algas.

Nitrógeno: Es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y organismos, aunque en exceso puede ser no deseable, conduciendo a menudo a la eutrofización.



El nitrógeno es uno de los componentes básicos de las proteínas, en el agua lo usan los productores primarios en la formación de células. La mayor cantidad está en la atmósfera, lo que equivale al 78% en volumen. En el ciclo del nitrógeno se alternan las formas inorgánica y orgánica, las de interés son: N_2 , NH_3 , y NO_3^- . Las plantas tienen la capacidad para fijarlo y convertirlo a nitratos, mientras que los animales no pueden utilizar el nitrógeno inorgánico. El nitrógeno puede también introducirse en las aguas superficiales o subterráneas mediante las aguas residuales o industriales (Tebbutt, T. H. Y. 2002).

2.6 Tratamiento de aguas residuales

En México la proporción de agua tratada con respecto al caudal colectado en los sistemas de drenaje es baja. A pesar de que se han hecho algunos esfuerzos por incrementar esta proporción, un estudio realizado por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2005) revela que falta mucho por hacer.

Al 31 de diciembre de 2005 están registradas 1,666 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con capacidad instalada de $101.3 \text{ m}^3/\text{s}$, de estas, 1,433 están en funcionamiento, con una capacidad instalada de $95.77 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ante esta problemática se requieren sistemas de tratamiento de aguas residuales eficientes y que no impliquen un gran capital en infraestructura y recursos humanos, en la actualidad encontramos algunos tipos de tratamiento convencional, cuyo uso depende fundamentalmente de los límites de vertido para el afluente, tales como:

2.6.1 Tratamiento primario

Cribado o desbrozo, sedimentación, flotación, separación de aceites, homogeneización y neutralización. Se emplean para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario.

2.6.2 Tratamiento secundario

Lodos activados, aireación prolongada, estabilización por contacto, lagunaje con aireación, estabilización por lagunaje, filtros biológicos y tratamientos anaerobios comprende los tratamientos biológicos convencionales. Con ellos se logra la remoción de nitrógeno inorgánico (nitrato y amonio), además de contaminantes.

2.6.3 Tratamiento terciario o avanzado

Microtamizado, filtración, precipitación, coagulación, adsorción, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, cloración y procesos de reducción de nutrientes. Su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se retiraron en el tratamiento secundario (Ramalho, R. S. 1996).

2.7 Reutilización de aguas residuales



Desde hace mas de 100 años, la reutilización del agua residual sin tratar para riego agrícola ha sido una práctica común, uno de los distritos de riego pioneros en esta práctica es en el Distrito de Riego Tula en el estado de Hidalgo, donde se utiliza agua residual generada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

La reutilización de aguas residuales en México es una práctica bastante extendida pero, pocas veces, ha sido planificada por lo que se ha generado toda una problemática en relación con los efectos negativos que produce el uso de estas aguas en ríos, acuíferos, suelos, cultivos y en el hombre.

Estos efectos negativos se han podido constatar en el Valle del Mezquital donde la reutilización de aguas residuales sin ningún tratamiento ha dado lugar a la contaminación de los suelos, de las aguas subterráneas y a la aparición de enfermedades entre la población (Metcalf y Eddy 1996).

La autoridad correspondiente ha generado las normas oficiales mexicanas que contemplan límites máximos permisibles de contaminantes en el agua y que pueden ser vertidos a corrientes superficiales o bien para diferentes usos (ver cuadros 1 y 2).

CUADRO 1. Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales, establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)			
	Uso de riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTATUARIOS (B)				Uso en riego agrícola (A)	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A	N.A	40	40
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia flotante (3)	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te	Au sen te
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125
Demanda bioquímica de oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150
Nitrógeno total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A
Fosforo total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A

(1) Instantáneo. (2) Muestra simple promedio pondera. (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.
 N.A. No es aplicable. P.D. Promedio diario. P.M. Promedio mensual.
 (A), (B), (C): Tipos de cuerpos receptores según la Ley Federal de Derechos.



CUADRO 2. Límites Máximos Permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES					
TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales (NMP 100mL⁻¹)	Huevos de helminto (h L⁻¹)	Grasas y aceites (mg L⁻¹)	DBO₅ (mg L⁻¹)	SST (mg L⁻¹)
Servicios al público con contacto directo	240	1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1 000	5	15	30	30

2.8 Humedales construidos

Los humedales son ecosistemas donde se realiza la mayor actividad biológica en la tierra. Por esta razón, estos lugares son capaces de transformar gran parte de los contaminantes presentes en las aguas residuales, además de que los nutrientes esenciales pueden ser usados en los mismos procesos de la actividad biológica.

Para muchos países es una tecnología nueva, es una alternativa que usa solo recursos locales, estéticamente es más parecido a un jardín, que una planta de tratamiento convencional, por lo que favorece al paisaje urbano. Este sistema promueve el uso sustentable de recursos locales, es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales que resulta más compatible con el ambiente (García, J., *et al.* 1997).

Para el establecimiento de un sistema de tratamiento mediante humedales artificiales se requiere solamente de cierto volumen de excavación, bombeo y entubado del afluente y del efluente, así como de sencillas estructuras de concreto. El principal tratamiento se da a través de la actividad de los microorganismos, especialmente bacterias y hongos, los cuales prosperan en este tipo de ambientes. Algunos de estos organismos llegan a unirse a los tallos sumergidos de las plantas y los residuos procedentes de ellas, mientras que otros forman parte del sistema suelo-raíz (Seóanez, C. M. 1999).

El papel que juega la vegetación en el humedal es primordial en el tratamiento de aguas residuales, estas favorecen que en un área de su superficie se establezcan microorganismos, los componentes de las plantas estabilizan la superficie del sustrato, el flujo lento hacia abajo ayuda al sedimento establecido y atrapado en el proceso y finalmente, en la transparencia del agua, además tienen un papel vital en la retención de nutrientes y previenen la eutrofización del humedal (Seóanez, C. M. 1999).

Un sistema de humedales construidos es específicamente diseñado para la mejora de la calidad de agua, en algunas partes del mundo estos sistemas fueron construidos para tratar



los volúmenes bajos de aguas residuales cargadas ligeramente de materia orgánica en las poblaciones aisladas de las áreas urbanas (CNA. 2005).

Pueden crearse los humedales construidos a costos más bajos que otras opciones de tratamiento, donde ninguna nueva o compleja herramienta tecnológica se necesita.

El sistema puede tolerar diferentes niveles de contaminación y pequeños o grandes volúmenes de agua, esto incluye aguas residuales municipales o domésticas, pluviales, de escurrimientos, agrícolas o efluentes industriales.

En las aguas residuales podemos evaluar una serie de parámetros como son: color, turbidez, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad, cloruros, sulfatos, Si, Ca, Mg, Na, K, Al, dureza total, sólidos, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, amonio, carbono orgánico, fenoles, surfactantes, compuestos organoclorados, Fe, Mn, Cu, Zn, P, F, Co, As, Cd, cianuros, Cr, Hg, Ni, Pb, pesticidas, hidrocarburos policíclicos aromáticos, coliformes, huevos de helminto, DQO y DBO, entre otros y que son relevantes para definir su calidad (Ramalho, R. S. 1996).

Se han propuesto diversos diseños de humedales construidos a lo largo de su desarrollo tecnológico. Las variables de diferenciación pueden hacer referencia al sistema de flujo del agua residual, sustrato o lecho utilizado, vegetación y sucesión de unidades de tratamiento.

En esencia, hay tres líneas de desarrollo tecnológico de humedales construidos, cuyo modo de actuación, aun basándose en los mismos principios biológicos, es diferente. Se trata de los denominados humedales de Flujo libre superficial (FS), los humedales de flujo subsuperficial (FSS) y los humedales que utilizan plantas acuáticas flotantes (PAF), (NRCS, 2002).

2.8.1 Humedales de flujo subsuperficial (FSS)

Este tipo de humedales es muy efectivo para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Las aguas tratadas por este medio deben recibir un pretratamiento adecuado debido a que las altas concentraciones de sólidos suspendidos pueden tapar los poros del sustrato.

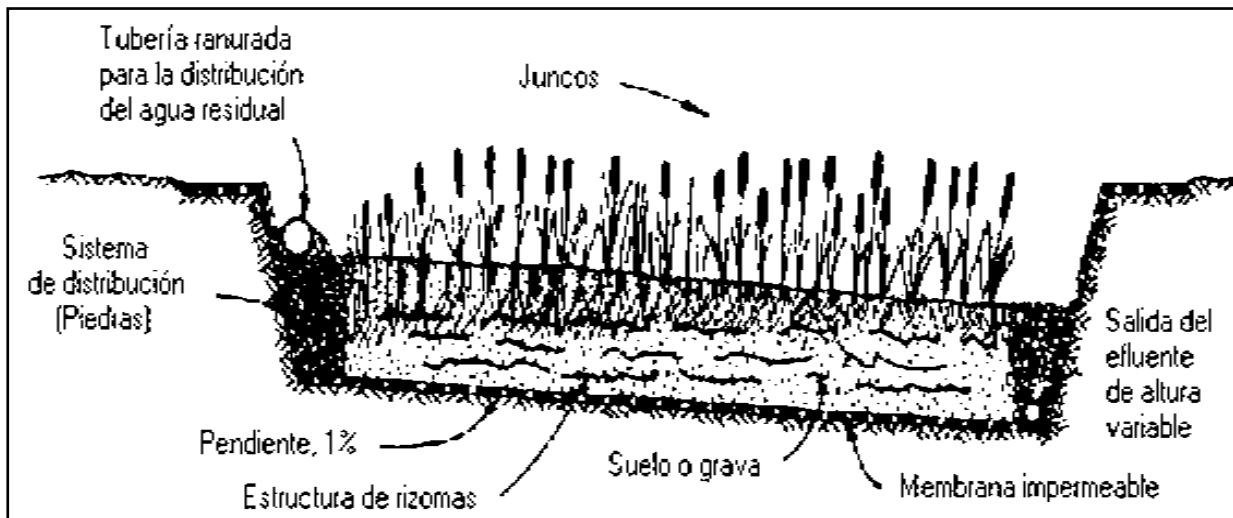
Los humedales construidos están conformados por una cama de grava, piedra o suelo (sustrato), a través del cual fluye el agua residual, el sustrato se coloca por debajo del nivel natural del terreno, el agua residual atraviesa el sustrato hasta aproximadamente la mitad de su profundidad. Los factores de diseño fundamentales son la pendiente del lecho, la porosidad del sustrato y el promedio diario de entrada del afluente. Estos factores son considerados importantes para mantener el gradiente hidráulico adecuado dentro del sistema de tratamiento. Si estos factores no se controlan, el nivel del agua dentro del sustrato puede ascender y provocar encharcamientos en la superficie (Fig 1).

La depuración de contaminantes se realiza a través de tres mecanismos:

1. Sedimentación de sólidos.
2. Incorporación de nutrientes en plantas y su posterior cosechado.
3. Degradación de la materia orgánica por un conjunto de microorganismos facultativos asociados a las raíces de las plantas y en el detritus del fondo de la laguna.



Figura 1. Humedal de Flujo Sub-superficial



Fuente: www.gem.es/.../DOCUMENT/g01/d01203/d01203.htm

Para el manejo de un humedal es importante conocer el tiempo de supervivencia de los microorganismos patógenos en los vegetales y en el suelo para evaluar los problemas a que puede dar lugar un vertido y con ello controlar la eficacia en la eliminación de gérmenes de los diferentes tratamientos de aguas residuales, a través del tiempo de retención del caudal a tratar (Seóanez, C. M. 1999).

2.9 Componentes de un humedal artificial y sus funciones

Podemos decir que los humedales artificiales son sistemas ecológicos que combinan procesos físicos, químicos y biológicos para el diseño de un complejo tratamiento en el que intervienen tres factores básicos: las plantas, el sustrato y los microorganismos (García, J., et al. 1997).

2.9.1 Vegetación

Entre sus funciones destacan:

- Promover la precipitación y la retención de sólidos suspendidos.
- Dispersión del flujo del agua y reducción de su velocidad.
- Proveer superficies para el desarrollo de películas bacterianas.
- Transportar oxígeno dentro de su zona radicular para propiciar la nitrificación y otros procesos microbiológicos aeróbicos.
- Asimilación de nutrientes y regreso de los mismos en formas orgánicas disponibles.
- Producción de desechos como una fuente de carbono orgánico para la desnitrificación y otros procesos microbiológicos.
- Disminuye la superficie libre del agua para la reducción del crecimiento de algas.



- Disipación de la acción del viento para reducir la resuspensión de los sólidos y problemas erosivos.
- Permite el desarrollo de fauna y proporciona un valor estético adicional (Gleick, P. H. 1998).

2.9.2 Microorganismos

Requieren de carbono, nitrógeno, fósforo para el crecimiento celular y una fuente de energía para mantener las funciones metabólicas requeridas para su crecimiento.

Acción de los hongos: Los hongos en los humedales son generalmente saprófitos. Son organismos heterótrofos, no fotosintéticos y degradan la materia orgánica liberando enzimas que transforman los productos a nutrientes asimilables.

Acción de las bacterias: Su función básica es el consumo de materia orgánica y la degradación o transformación de algunos productos más o menos tóxicos presentes en el agua residual aportada. Las bacterias presentes degradan tanto los productos orgánicos básicos como proteínas, lípidos, almidón o celulosa.

Las bacterias producen enzimas, que atacan o digieren múltiples productos, y absorben los nutrientes del medio líquido del humedal; cuando el medio es favorable, su población crece muy rápidamente y se transforman fuertes cantidades de nutrientes y otros productos.

Acción de las algas: Las algas son un conjunto de organismos, que al igual que los anteriormente citados son fundamentales en la biocenosis del humedal. Existen diversos grupos de ellas que según la estación, ceden la dominancia a grupos determinados.

2.9.3 Sustrato

Los humedales de flujo subsuperficial son estructuras que funcionan como filtros horizontales de grava, por lo tanto el medio granular es prácticamente su principal constituyente. Las propiedades físicas y químicas de sustrato actúan directamente sobre el agua. En él, se retienen la materia en suspensión y los microorganismos patógenos, se produce la sedimentación de sólidos en suspensión en los espacios intergranulares, se absorbe la materia orgánica disuelta, los patógenos, los nutrientes y hasta algunos metales en la superficie de los granos y en la biopelícula.

Por otro lado, el medio granular debe permitir el crecimiento de las plantas y del medio bacteriano. Sin embargo, la principal característica del lecho granular es su permeabilidad, ya que esta propiedad es la responsable del paso del agua. Por lo anterior, los suelos de tipo granular son los recomendados para tal fin.

En la práctica, la vegetación de un humedal construido es considerada una parte integral del sustrato. La vegetación provee superficies para el crecimiento de microorganismos en sus raíces, rizomas, hojas y tallos; filtran sólidos; y transfieren oxígeno para proveer un ambiente aeróbico/oxidado para la descomposición de productos orgánicos y para el crecimiento de microorganismos deseables en el medio, tales como los nitrificantes. A su vez, el sustrato soporta la vegetación, provee superficies para el desarrollo de microorganismos y está asociado con los mecanismos físicos y químicos de tratamiento. Se necesita de un sustrato adecuado porque si las raíces de las plantas no logran expandirse en toda la cama, se



pueden crear zonas anaerobias que provocan una fuerte disminución en los procesos de nitrificación y reducción del amonio (Elida, N. B. 2001).

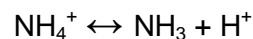
2.10 Procesos de tratamiento que se llevan a cabo en el humedal

Para que el tratamiento pueda ser posible se requiere de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos. Los más importantes se describen a continuación:

2.10.1 Conversiones bioquímicas

Son realizadas principalmente por los microorganismos que se encuentran en el complejo sustrato-raíces. Los principales productos finales de la digestión anaerobia son el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4); sin embargo, se genera en pequeñas cantidades varios gases menores, de esta manera, el contenido orgánico del agua residual es medido en 5 días como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sólidos volátiles (SV), los cuales se reducen enormemente por el tratamiento en humedales.

Las bacterias convierten el nitrógeno orgánico a formas amoniacaes como amonio (NH_4^+) y amoniaco (NH_3). Ambas formas se expresan en la ecuación de equilibrio:

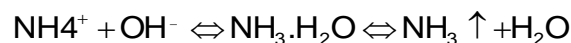


Se presenta la conversión de amonio a nitrito (NO_2^-) y luego a nitrato (NO_3^-) (Hernández, M. A. 1992).

2.10.2 Volatilización

A la liberación de componentes de la superficie de un líquido a la atmósfera circundante es llamada volatilización. La cantidad de líquido transformado a gas es gobernado por la ecuación estándar del equilibrio químico para los componentes en cuestión. Si la concentración de un componente en la fase gaseosa es baja o inexistente, la fracción contenida en la fase líquida continúa evaporándose hasta alcanzar el equilibrio. El amonio es un componente que se volatiliza con facilidad y es uno de los más importantes en el manejo de residuos de origen animal. Las concentraciones de amonio en lagunas de tratamiento anaeróbico representan del 60 al 70% del total de la concentración de nitrógeno. Mientras que una parte del nitrógeno perdido por el proceso de desnitrificación mediante conversiones bioquímicas, el nitrógeno adicional puede ser perdido a través de la volatilización del amonio (Mazari- Hiriart M. 2005).

La explicación de una parte de la ecuación de equilibrio del amonio es:



2.10.3 Interacciones con el suelo

Cuando el agua residual entra a la matriz suelo-planta-raíz, pueden ocurrir diferentes reacciones dependiendo del tipo y cantidad de arcillas, hidróxidos y materia orgánica.



2.10.4 Deposición / Filtración

Sólidos presentes en el agua residual pueden depositarse en el fondo del humedal y llegar a formar parte del material acumulado o bien, puede ser filtrado atrapado por los tallos de las plantas para formar parte de los desechos que normalmente se depositan al fondo del humedal. Parte de la materia orgánica es eventualmente convertida a productos finales más estables a través de conversiones bioquímicas.

2.10.5 Nutrición de la vegetación

La vegetación extrae N, P, K así como varios nutrientes menores y metales del agua residual. Estos constituyentes pueden ser usados en el desarrollo de los tallos y hojas, o bien pueden ser acumulados en las raíces y rizomas.

En el humedal construido en el que se desarrolla la presente investigación, se están cultivando plantas de ornato como el alcatraz *Zantedechia aethiopica*, a través del rizoma remueven nutrimentos durante su crecimiento, pero una gran parte de ellos regresan como desechos cuando las plantas mueren.

2.11 Eficiencia de los humedales artificiales en la remoción de contaminantes

Eliminación de DBO₅: Ocurre rápidamente por sedimentación y filtración de partículas en los espacios entre la grava y las raíces. La DBO₅ soluble es eliminada por los microorganismos que crecen en la superficie de la grava, raíces y rizomas de las plantas. La degradación de la materia orgánica es aerobia en micrositos de la superficie de las raíces de las plantas, pero en el resto del lecho sumergido ocurre por vías anaerobias: fermentación metanogénica y sulfato reducción.

Eliminación de nitrógeno: Se encuentra básicamente como nitrógeno orgánico o amoniacal, con escasas cantidades de nitratos. Los procesos de descomposición y mineralización convierten este nitrógeno en amonio. Por lo general los procesos en el interior del humedal son anaerobios, ya que no existe suficiente oxígeno para la nitrificación y posterior desnitrificación. La desnitrificación puede estar también limitada por la falta de una fuente de carbono para el proceso, ya que por cada gramo de nitrógeno son necesarios aproximadamente 3 gramos de DBO₅.

Eliminación de sólidos en suspensión: Los sólidos en suspensión son eliminados de una manera muy efectiva en los humedales, ocurriendo en los cinco primeros metros de distancia desde la entrada y consiguiendo siempre valores de salida inferiores a 20mg L⁻¹. Una parte de los sólidos en suspensión están formados por materia orgánica, algas o microorganismos, que son degradados hasta productos gaseosos.

Eliminación de fósforo: La cantidad de fósforo en el efluente es prácticamente igual que en el afluente, en la mayoría de los casos. La cantidad de fósforo asimilado por la vegetación o fijada al sedimento es pequeña en relación a la aportada por el agua residual. Por tanto los humedales no son un método muy efectivo para la eliminación de fósforo.

Eliminación de patógenos: Como norma general, los humedales pueden reducir los coliformes fecales en uno o dos órdenes logarítmicos, en algunos casos se han obtenido 200



UFC/100 mL o menores. También son capaces de reducir otros patógenos, como protozoos y helmintos (García, J. et al., 1997).

2.12 Diseño y construcción de un sistema de tratamiento con humedales construidos

La caracterización física, química y biológica de las aguas residuales con miras a ser tratadas es sumamente importante ya que de eso dependerá el diseño y construcción de todos los componentes del sistema. Los parámetros que son necesarios determinar, dependen del objetivo de tratamiento.

Al momento de establecer la vegetación debe pensarse en que las plantas establecidas tengan:

- ✓ Tolerancia a tóxicos y condiciones anaerobias
- ✓ Capacidad para almacenar nutrientes
- ✓ Facilidad de manejo
- ✓ Adaptación a profundidades variables
- ✓ Importante desarrollo de la rizósfera

El efluente obtenido del tratamiento tendrá la calidad que se haya elegido desde un inicio en el diseño. Sin embargo, esto se debe corroborar mediante una toma de muestras para análisis de laboratorio. Con los datos obtenidos del análisis, se podrá tomar una decisión adecuada para reuso del agua. Dependiendo de los caudales manejados en el sistema, se pueden construir tanques de almacenamiento del agua tratada, o bien, puede conducirse directamente hacia estanques para criaderos de especies acuáticas de consumo humano (Ramalho, R. S. 1996).

2.13 Importancia de usar humedales construidos para tratar aguas residuales que provienen de comunidades rurales y zonas urbanas

Las aguas residuales urbanas más típicas tienen componentes normalmente separables o biodegradables, como sólidos, materia orgánica, aceites y grasas. Los volúmenes generados por habitante son variables dependiendo del tamaño de la población y época del año.

Por lo general, las pequeñas comunidades tienen consumos por habitante inferiores a los de los grandes núcleos, pero con vertidos más concentrados (Álvarez J. y Bécares E., 1999).

En el caso de nuestra comunidad de estudio utilizan los sistemas de riego, de temporal y aguas residuales. El distrito de desarrollo rural más grande es el 03, recibe un volumen aproximado de 1 800 000 m³ aguas residuales al año, y abarca una superficie total de 514 411 ha, de las cuales el 16.4% son tierras de riego; el 3.6% de temporal; el 48.9% son ganaderas y 3.1% forestales (CNA, 2002).

El plan de riego propuesto por el gobierno ha convertido, de manera lenta pero constante, la estepa en terrenos irrigados. Las aguas negras provenientes del Distrito Federal son utilizadas para regar y esto genera algún ingreso a los campesinos que rentan sus tierras, además son utilizadas para abrevar el ganado. El uso de estas aguas representa una



posibilidad de sobrevivencia para la población del Mezquital, y un gran negocio para unos cuantos acaparadores de tierras y aguas.

La baja productividad agrícola y la carencia de industrias en la región han obligado a los campesinos, desde hace tiempo, a emigrar en busca de trabajo asalariado. Hasta hace poco tiempo esta migración se dirigía al Distrito Federal y Zona Metropolitana, donde los hombres se empleaban como peones de albañil y las mujeres como trabajadoras domésticas. En la última década la migración se ha dirigido también a Estados Unidos (Vázquez, V. H. 2008).

Los humedales construidos pueden y deben jugar un papel en la reducción de la pobreza. Actualmente donde quiera se puede ver la degradación y la pérdida de los ecosistemas de humedales y los servicios que prestan. Los humedales construidos son una fuente primordial de ingresos rurales y pueden adquirir una importancia vital si fallan otras fuentes de ingresos” (Convención Ramsar al anunciar el DMH 2006).

“Los humedales cumplen funciones irremplazables como la provisión y depuración del agua dulce, recarga de acuíferos y mitigación de inundaciones y sequías, además de ser grandes criaderos naturales de peces”. “Si hablamos de pobreza, los humedales son un verdadero almacén gratuito donde los sectores de bajos ingresos nivelan la economía familiar mediante actividades como la pesca, la recolección de leña, frutos y fibras, e incluso materiales para fuentes de trabajo como la ladrillería, la construcción de techos o el tejido con fibras vegetales, por sólo citar unos pocos ejemplos. El problema es que esto no es reconocido pues entra en la economía informal. Los recursos de los humedales se valoran cuando ya es tarde, es decir cuando se pierden” (Cappato. Convención Ramsar, 2006).



3. ZONA DE ESTUDIO

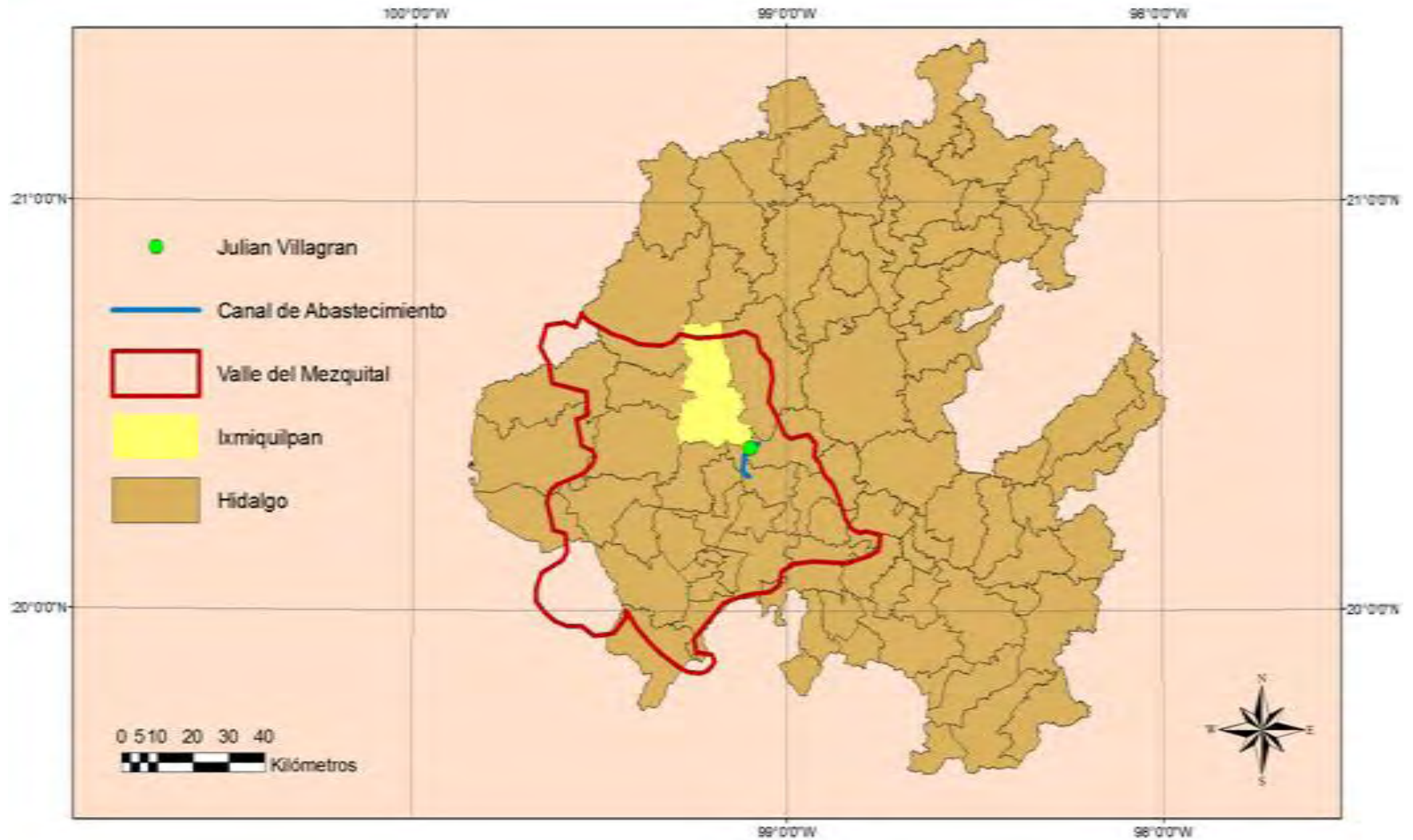


Figura 2. Mapa con delimitación del Valle del Mezquital.... Fuente: INEGI 2005



Al oeste del estado de Hidalgo, se encuentra el Valle del Mezquital, es una región caracterizada por su aridez pese a contar en sus partes planas, con grandes superficies de riego que aprovechan las aguas residuales del río Tula y que posibilitan la producción de alfalfa y hortalizas.

El estado de Hidalgo es irrigado por dos distritos de riego el 03 y el 100. La superficie beneficiada con el riego se distribuye en 17 municipios que son: Actopan, El Arenal, Ixmiquilpan, San Salvador, Francisco I. Madero, Santiago de Anaya, Mixquiahuala, Progreso, Chilcuautla, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende; con una superficie de riego de 50,131 hectáreas (CIBI, 2000).

El poblado de Julián Villagrán, pertenece al municipio de Ixmiquilpan, en donde tiene las siguientes coordenadas geográficas, 20° 29' latitud norte, 99° 13' latitud oeste y se encuentra ubicado a 1,700 msnm (CEE, 2000).

Orografía

Ixmiquilpan se encuentra localizado en el eje neovolcánico en un 70%, formado por llanuras y en menor proporción por lomeríos, el otro 30% se localiza en la Sierra Madre Oriental. Dentro de sus elevaciones principales se encuentran los cerros la Palma, Thito, la Muñeca, Xintza, Guadril, Temboo, Dexitzo (la Cruz) y Daxhie.

Hidrografía

En lo que respecta a la hidrología del municipio, Ixmiquilpan se encuentra posicionado en la región del Pánuco, en la cuenca del río Moctezuma, de la cual se derivan las subcuencas; del río Moctezuma, en la cual, el río Tula, río Actopan y el río Amajac, cubren 55.25%, 29.43% y 12.42% respectivamente (CEMI, 1994).

Clima

Presenta un clima semiseco templado en la mayor parte de la superficie municipal, que representa un 51.22%, además existe un clima seco semicálido en un 23.67% y templado subhúmedo con lluvias en verano de 21.58%. El restante tiene un clima semiseco semicálido (CIBI, 2000).

La temperatura promedio para los meses de diciembre y enero que son los más fríos del año oscila entre los 14.5°C y durante los meses de mayo y junio que son las temperaturas más altas registra un promedio de 21.4°C. Con respecto a la precipitación anual, el nivel promedio observado es de alrededor de los 363.8 mm (CEMI, 1994).

Flora

Este municipio dentro de sus recursos naturales tiene pino, encino, sabino, pirul, mezquite, jacaranda y oyamel, así como; aguacate, durazno, granada e higo, en su zona de bosque existe encino prieto, encino manzanilla y como matorral el garambullo, palma y nopal.



Fauna

La fauna está compuesta de tejón, ardilla, tlacuache, onza, conejo, zorro, zorrillo, liebres, ratón de campo, serpientes y una gran variedad de insectos y reptiles (CEE, 2000).

Uso del suelo

De acuerdo a la superficie que se utiliza para cada actividad su orden es el siguiente: pecuario en un 40%, 30% agrícola en donde se cultiva maíz, frijol, alfalfa, diversas hortalizas y tomate rojo o jitomate entre otros; seguido por otros usos y finalmente el forestal. La agricultura en este municipio es en su mayoría de riego.

Grupos étnicos

Al año 2000 de acuerdo al XII Censo General de Población y Vivienda del INEGI, el porcentaje de población de 5 años y más, que habla lengua indígena es del 44.6 %, con respecto a la población total, las lenguas que más se practican son: Otomí y Náhuatl (IHC, 1993).

Geología

El Valle del Mezquital se ubica en el Altiplano Mexicano, dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, en donde forma un amplio valle dividido por serranías y cerros separados. En el área afloran rocas de tipo sedimentario e ígneo que varían en edad y composición (CNA, 2002).



4. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar la calidad del agua de un humedal construido de flujo subsuperficial, a partir de parámetros bacteriológicos, químicos y físicos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, para obtener una perspectiva de las condiciones en las que esta funcionando y determinar si el agua después de ser tratada cumple los criterios de calidad para uso piscícola, establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1996.

4.2 Particulares

- Evaluar la calidad física, química y bacteriológica del agua residual que proviene del canal principal a través de los siguientes parámetros: temperatura, color, pH, conductividad eléctrica y sólidos, DQO, SAAM, nitratos, nitritos, fósforo total, coliformes totales y fecales, empleando Normas Oficiales Mexicanas, para analizar los compuestos que serán tratados en el humedal de flujo subsuperficial.
- Evaluar la calidad física, química y bacteriológica del agua tratada, en cada uno de los módulos que conforman el sistema de tratamiento, usando como referencia las Normas Oficiales Mexicanas y determinar la remoción de contaminantes.
- Evaluar la calidad física, química y bacteriológica del agua tratada, utilizada en los estanques de limpieza y crecimiento piscícola, empleando la NOM-003-SEMARNAT-1996.
- Determinar las diferencias en la composición física, química y bacteriológica, en los diferentes módulos que conforman el sistema de tratamiento y evaluar en cada uno la eficiencia de remoción.



5. HIPÓTESIS

Si la calidad del agua residual proveniente del canal principal de distribución, presenta una alta carga contaminante, entonces no será adecuada para el cultivo de peces, pero si se propicia su tratamiento a través de un humedal de flujo subsuperficial, además del proceso de remoción de rizoma de las plantas ornamentales y al diseño del humedal, entonces se removerá la carga contaminante incrementando la eficiencia de remoción y se obtendrá una mejora en la calidad del agua residual para uso piscícola, condición que será evaluada a través de la caracterización física, química y bacteriológica.



6. MÉTODO

El trabajo se dividirá en dos etapas: campo y laboratorio.

6.1 Trabajo de campo

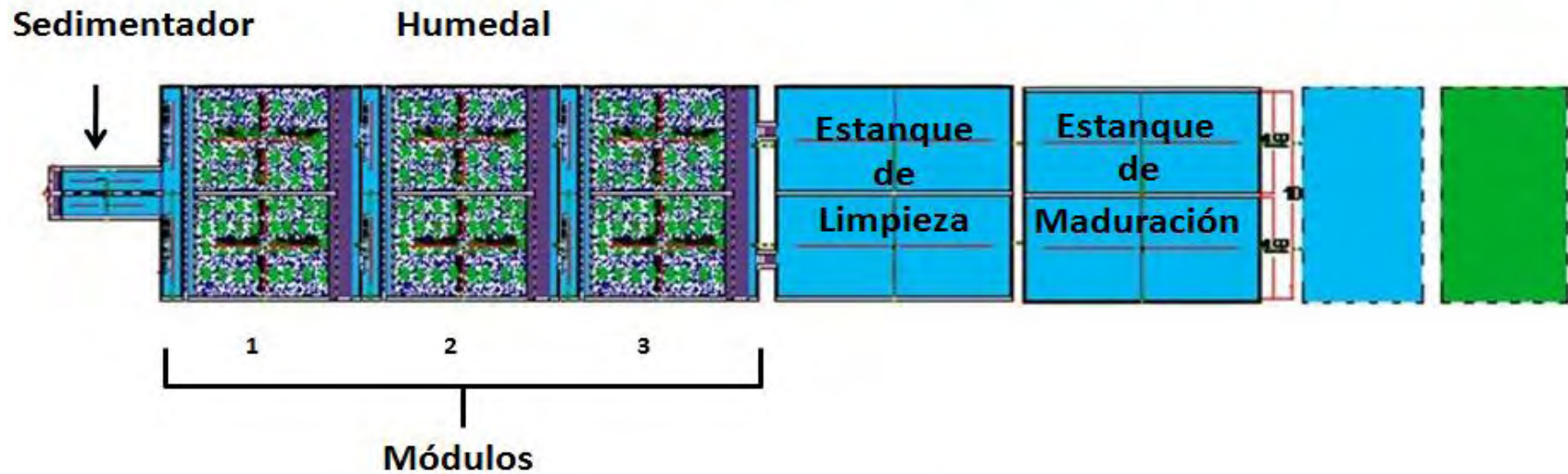
Las muestras se recolectarán durante ocho salidas de campo distribuidas en un año de trabajo.

- El muestreo se realizará de acuerdo a la NOM-AA-3 (Aguas residuales), y la NOM-AA-14 (cuerpos receptores); según sea el caso.

Para este estudio se han establecido cinco sitios de muestreo, ubicados en el humedal de la siguiente manera:



Vista Aérea del Humedal Construido de Flujo Subsuperficial



Vista Lateral del Humedal Construido de Flujo Subsuperficial

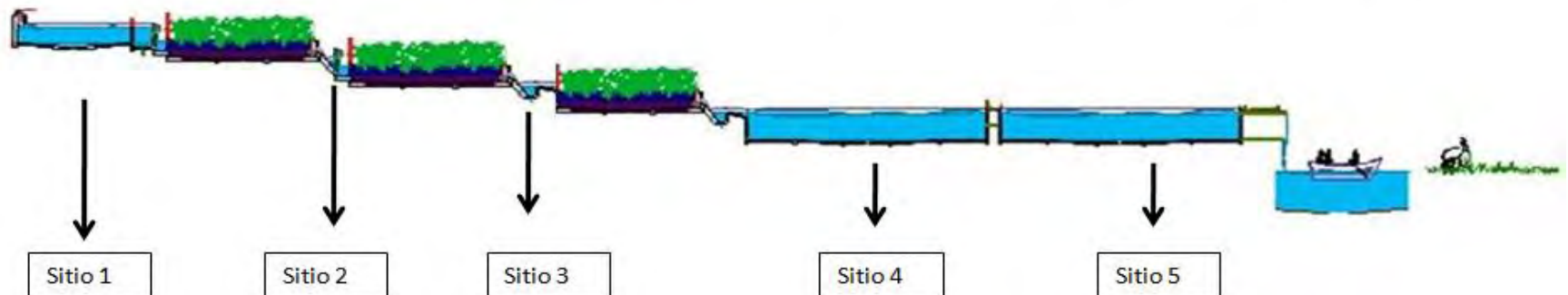


Figura 3. Diseño del humedal de FSS, módulos y sitios de muestreo.



Sitio 1. Canal:



Figura 4. Sitio 1, el muestreo se realizó antes de la entrada al sedimentador.

Sitio 2. Módulo I:



Figura 5. Sitio 2, el muestreo se realizó en la salida del módulo I y se recolectó agua tratada.

Sitio 3. Módulo II:



Figura 6. El muestreo en el módulo II se realizó en la salida, se recolectó agua tratada, del módulo de pulimento.



Sitio 4. Estanque de limpieza:



Figura 7. El muestreo en el estanque de limpieza, se realizó con la recolecta del agua tratada en todo el sistema.

Sitio 5. Estanque de maduración:



Figura 8. El estanque de maduración, recolecta el agua que proviene del estanque de limpieza.



CONDICIONES DE MUESTREO

MUESTREO	RECIPIENTE	CONSERVADOR	DÍAS DE CONSERVACIÓN
DQO	Polietileno	Mantener en refrigeración	De 6 horas a 14 días máximos
Nitrógeno amoniacal y orgánico	Polietileno o vidrio	Añadir H ₂ SO ₄ hasta obtener un pH≤2 y refrigerar	Se recomienda de 7 a 28 días máximos
Fósforo total y Ortosoluble	Polietileno	Filtrar inmediatamente y refrigerar	48 días máximos
Detergentes	Polietileno o vidrio	Mantener en refrigeración	de 6 horas a 14 días máximos
Coliformes	Vidrio ámbar esmerilado	Añadir H ₂ SO ₄ hasta obtener un pH≤2 y refrigerar	de 7 a 28 días máximos
Sólidos	Polietileno o vidrio	Mantener en refrigeración	De 2 a 7 días máximo
Nitratos y Nitritos	Polietileno o vidrio	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH≤2 y refrigerar	28 días

La determinación de los parámetros de campo se realizó de acuerdo a las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-AA-007-SCFI-2000	Determinación de la temperatura (T°). Método visual con termómetro.
NOM-AA-008-SCFI-2000	Determinación de pH. Método potenciométrico.
NOM-AA-093-SCFI-2000	Determinación de la conductividad eléctrica (CE). Método potenciométrico.

6.2 Trabajo de laboratorio

Se realizaron los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, Nitrógeno orgánico, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Fósforo total, SAAM, Coliformes fecales, Sólidos totales, Sólidos totales volátiles, y la calidad del agua como la evaluación de la condición del sitio.

De acuerdo a las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:



NOM-AA-030-SCFI-2001	<p>Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Método del reflujo del dicromato.</p> <p>La DQO es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar, bajo condiciones específicas, la materia orgánica y la inorgánica oxidable contenida en el agua. Se expresa en mg/dm³ y proporciona una medida de la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas, bajo las condiciones en las que se efectúa esta prueba.</p> <p>El método se basa en una oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amónico en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador interno.</p>
NOM-AA-026-SCFI-2001	<p>Determinación de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y nitrógeno orgánico (N-Org). Método de kjeldahl.</p> <p>Este método se basa en la determinación de la suma de nitrógeno del amoníaco libre y del nitrógeno orgánico, los cuales son convertidos en sulfato de amonio bajo las condiciones de digestión que se describen en la Norma</p>
NOM-AA-079-SCFI-2001	<p>Determinación de Nitratos (NO₃⁻). Método de Ácido fenoldisulfónico.</p> <p>Este método tiene un principio colorimétrico en el cual, el ácido fenoldisulfónico reacciona con el nitrato en ausencia de agua para formar un nitroderivado, que en medio alcalino es alterado ligeramente para producir un compuesto de color amarillo. La intensidad producida en la reacción es proporcional a la concentración de nitrato presente en la muestra, permitiendo su análisis por espectrofotometría UV, calculando la concentración de NO₃⁻ en la muestra por comparación relativa.</p>
NOM-AA-099-SCFI-2006	<p>Determinación de Nitritos (NO₂⁻). Método del Ácido sulfanílico.</p> <p>Siendo un paso en el ciclo del nitrógeno, el nitrito se presenta en las aguas como un producto intermedio en los procesos de oxidación o reducción.</p> <p>La concentración del nitrito se determina por la formación de un compuesto azoico de color púrpura rojizo, que se produce a un pH de 2 a 2.5 por la unión del ácido sulfanílico diazonizado con el clorhidrato de naftilamina. Realizándose las mediciones espectrofotométricas UV a 530nm.</p>
NOM-AA-039-SCFI-2001	<p>Determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Método colorimétrico del azul de metileno.</p> <p>Los componentes básicos de los detergentes, son compuestos orgánicos con propiedades tensoactivas en solución acuosa.</p> <p>Los compuestos tensoactivos más empleados en la fabricación de detergentes son los sulfonatos de alquil benceno de sodio (ABS), los sulfonatos de alquil tolueno (ATS) y sus mezclas; cuyas estructuras químicas ramificadas son muy estables y no se degradan, o lo hacen muy lentamente.</p> <p>Son muchos los efectos causados por un alto contenido de detergentes en agua, tales como: la formación de espuma, la alta toxicidad de los surfactantes contenidos, que presentan un serio peligro a la vida acuática y los fosfatos que propician el crecimiento desmesurado de la flora acuática.</p>
NOM-AA-042-SCFI-2005	<p>Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. Método de tubos múltiples de fermentación.</p> <p>Establece la determinación del número más probable de coliformes totales y fecales (NMP) mediante la técnica de tubos múltiples de fermentación así como el muestreo específico y preservación de muestras para esta prueba.</p> <p>El método se basa en la propiedad que tiene el grupo coliforme, de fermentar la lactosa con formación de gas en condiciones específicas de tiempo y temperatura.</p>
NOM-AA-004-SCFI-2000	<p>Determinación de Sólidos (ST, SS, SD, SSF, SSV, SDF, SDV). Método gravimétrico.</p>



	<p>La presente Norma establece los métodos para la determinación del contenido de sólidos totales, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos disueltos totales y sólidos disueltos volátiles en aguas naturales y artificiales.</p> <p>Los métodos se basan en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de base para el cálculo del contenido de sólidos, es decir, la determinación de éste parámetro puede realizarse por diferencia de pesos entre la muestra calcinada y la evaporada o directamente según convenga. Los datos se obtienen en peso por unidad de volumen.</p>
NOM-AA-029-SCFI-2001	<p>Determinación de Fósforo Total. Método de fosfovanadomolibdato</p> <p>Esta Norma establece dos métodos espectrofotométricos para la determinación de fósforo (en forma de ortofosfatos) presente en el agua. Aplicables a aguas residuales y naturales. Cuando la concentración de ortofosfatos es de 1 a 20 mg/dm³ y/o el contenido de interferencias es alto, se recomienda usar el método del complejo amarillo de fosfovanadomolibdato.</p> <p>Los métodos se basan en transformar los compuestos fosforados a ortofosfatos, los cuales se hacen reaccionar con molibdato de amonio para formar el ácido molibdofosfórico.</p> <p>En el método de ácido vanadomolibdofosfórico, el fósforo en presencia del vanadio da lugar al complejo de fosfovanadomolibdato, produciendo una coloración amarilla cuya intensidad se determina por espectrofotometría UV.</p>

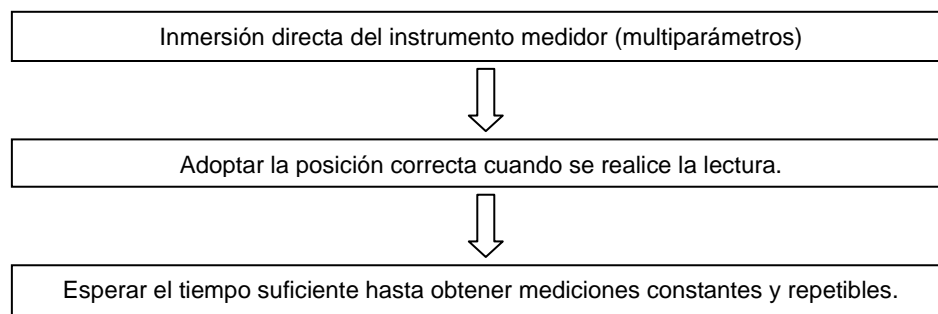
TÉCNICAS DE LABORATORIO

TEMPERATURA *IN SITU* (T°)

FUNDAMENTO

El principio se basa en las propiedades de la materia de dilatarse o contraerse con los cambios de temperatura ó a propiedades eléctricas y físicas de los materiales con los que se realizará la medición.

MÉTODO VISUAL CON TERMÓMETRO



POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

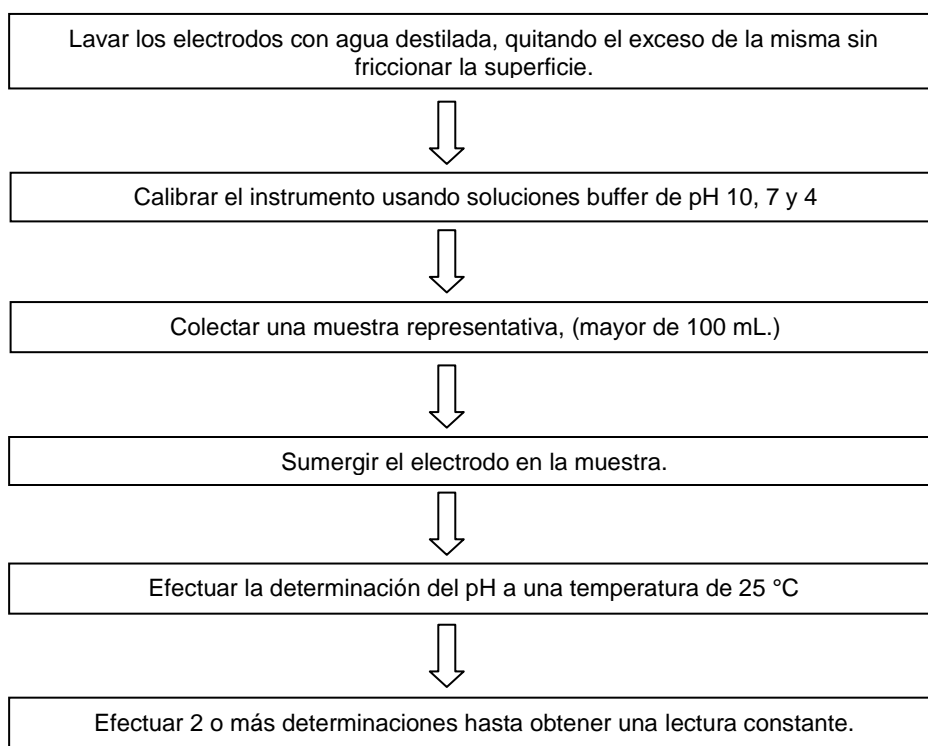


FUNDAMENTO

El método se fundamenta en la existencia de una diferencia de potencial entre las dos caras de una membrana de vidrio, expuestas a disoluciones acuosas que difieren en su valor de pH. En primera aproximación, a temperatura constante, la magnitud de esta diferencia de potencial es directamente proporcional a la diferencia de pH entre dichas disoluciones.

Debido a que el electrodo de vidrio y los electrodos de referencia comerciales tienen un comportamiento imperfecto, es preciso calibrar el dispositivo de determinación del pH con dos disoluciones patrón. Para ello, se sumergen los electrodos sucesivamente en dos disoluciones patrón operacional de pH, P1 y P2, a la misma temperatura que la disolución problema y seleccionadas de forma que el pH esperado para la disolución problema, pH(X), satisfaga la relación: $\text{pH (P1)} < \text{pH (X)} < \text{pH (P2)}$.

MÉTODO POTENCIOMÉTRICO



INTERFERENCIAS

1. El dispositivo de determinación del pH con el electrodo de vidrio proporciona determinaciones confiables de pH en la mayoría de las disoluciones acuosas y en general está relativamente libre de interferencias debido al color, turbidez, materia coloidal, sustancias oxidantes o reductoras.
2. Los electrodos de referencia deben sumergirse a una profundidad tal que el nivel del líquido de relleno siempre esté arriba del nivel de la disolución en la que se sumergen.
3. Debe estabilizarse el electrodo a la nueva temperatura de la disolución durante 5 a 10 minutos antes de efectuar una calibración o una lectura de pH. La transferencia de un electrodo de calomel saturado con KCl, de una disolución a otra de menor temperatura,



- puede provocar la obstrucción de la unión líquida por cristalización de KCl. Este problema se resuelve sumergiendo el electrodo un tiempo suficiente en agua pura.
4. Si se presentan dificultades para realizar la calibración, si se observan lecturas inestables o si el tiempo de respuesta del electrodo de vidrio es exagerado, ello puede ser una indicación de la contaminación del bulbo de vidrio o la obstrucción de la unión líquida del electrodo de referencia externa por grasas o aceites. En tal caso, lavar los electrodos con una disolución de un detergente suave, enjuagarlos con agua y sumergirlos en una disolución de ácido clorhídrico (1:9). Finalmente los electrodos se enjuagan con agua.
 5. El método no es aplicable a la determinación del pH de las disoluciones con alto contenido en sales (conductividad > aprox. 15 mS/cm). Tampoco es aplicable a disoluciones acuosas con alto contenido de sólidos en suspensión o a mezclas hidro-orgánicas.
 6. Las disoluciones de bajo índice de amortiguamiento cuyo pH sea mayor que 5,6 son sensibles al intercambio de gas carbónico con la atmósfera y deben protegerse de la pérdida o disolución de gas carbónico durante las determinaciones. Las disoluciones de pH mayor que 9 absorben rápidamente el dióxido de carbono de la atmósfera por lo que no deben exponerse a la atmósfera por tiempo más largo que el estrictamente necesario para efectuar las determinaciones de pH.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

FUNDAMENTO

Este método se basa en la propiedad que adquiere el agua de conducir la corriente eléctrica cuando tiene iones disueltos. La conducción de la corriente eléctrica en agua, puede explicarse por medio de la disociación electrolítica. Cuando se disuelve en agua un ácido, una base o una sal, una porción se disocia en iones positivos y otra en negativos. Los iones se mueven independientemente y se dirigen a los electrodos de carga opuesta mediante la aplicación de un campo eléctrico.

La cantidad de moléculas que se han disociado dependen de la concentración de la solución. Las soluciones, al igual que los conductores metálicos obedecen a la Ley de Ohm, excepto en voltajes muy elevados y corrientes de frecuencia muy alta.

Si en una solución electrolítica se colocan dos electrodos de área A separados por una distancia d , y se aplica un campo eléctrico E , la diferencia de potencial V entre los electrodos será proporcional a la distancia d y al campo eléctrico E .

MÉTODO POTENCIOMÉTRICO

Enjuagar la celda por lo menos 3 veces con solución de KCl 0.01N ajustar con la mayor exactitud la temperatura a 25 °C calibrar a 1413 $\mu\text{m}/\text{cm}$.



Tomar una muestra mayor a 100 mL. Enjuagar la celda varias veces con la muestra evitando la formación de burbujas de aire.



Determinar la temperatura y conductividad de la muestra. Efectuar 2 o más determinaciones hasta obtener lectura constante.

INTERFERENCIAS

1. Cuando el agua contenga grandes cantidades de material en suspensión es preferible dejarla sedimentar antes de medir la conductividad para disminuir la posibilidad de ensuciar el electrodo.
2. Evitar que las grasas y aceites cubran el electrodo, porque afectan la precisión de la lectura.
3. Eliminar las burbujas de aire presentes en la celda de medición.
4. La exposición de muestras a la atmósfera puede causar cambios en la conductividad/resistividad, debido a la pérdida o ganancia de gases disueltos (CO_2 y NH_4). En caso de aguas de bajas concentraciones de materiales disueltos ionizados. El CO_2 , normalmente presente en el aire puede drásticamente cambiar la conductividad/resistividad del agua pura. El contacto con aire puede evitarse usando celdas en línea o de flujo continuo.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

FUNDAMENTO

Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ y H_2SO_4 a ebullición. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

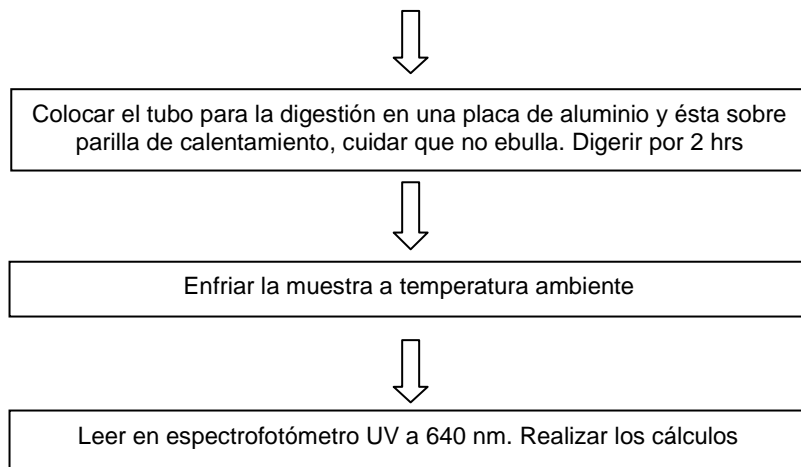
Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

MÉTODO DE OXIDACIÓN CON DICROMATO

Tomar 4 mL de muestra y depositarlos en un tubo de ensaye con tapa de baquelita que contiene 6 mL de solución de APHA



Realizar blanco



INTERFERENCIAS

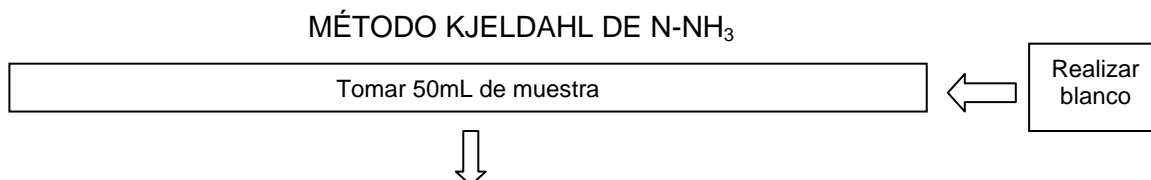
1. El método no oxida uniformemente todos los materiales orgánicos. Algunos compuestos son muy resistentes a la oxidación, mientras que otros como los carbohidratos son fácilmente oxidables.
2. Los compuestos alifáticos volátiles de cadena abierta no se oxidan.

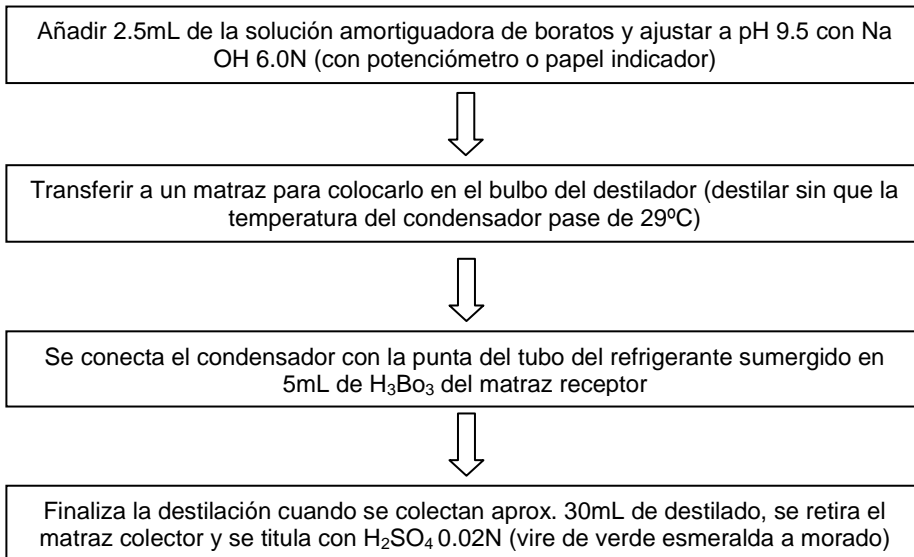
NITRÓGENO AMONIAICAL (N-NH₃) Y NITRÓGENO ORGÁNICO (N-Org)

FUNDAMENTO

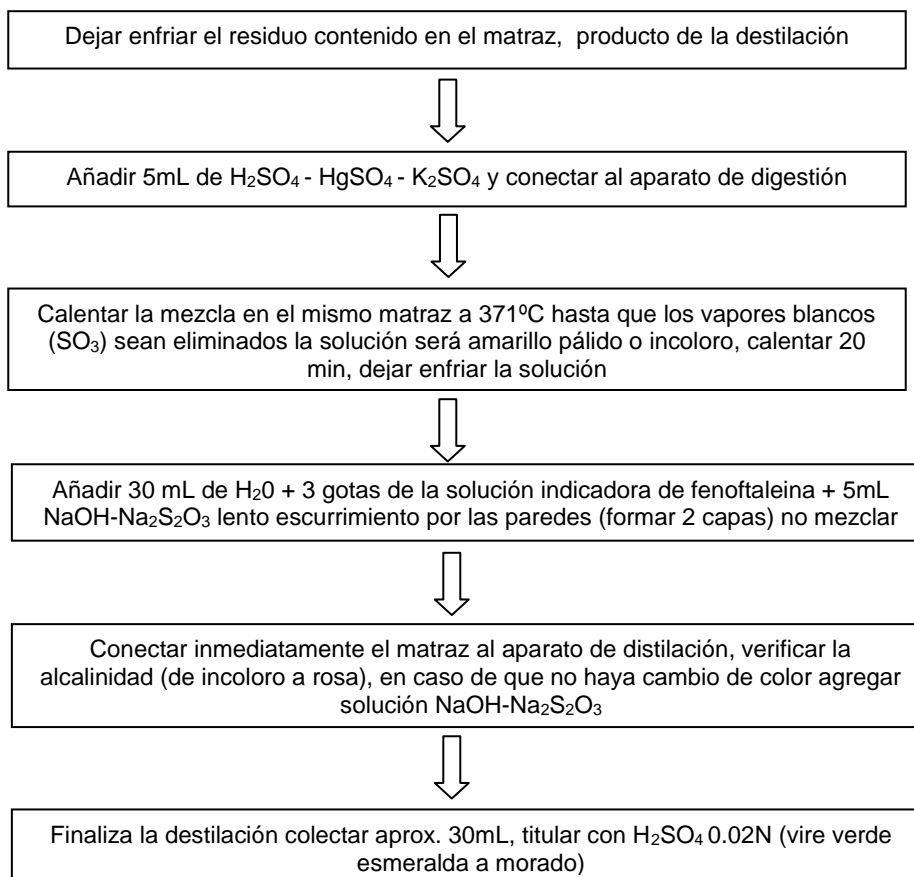
En el método Kjeldahl los compuestos nitrogenados de la muestra se descomponen con ácido sulfúrico concentrado en caliente, transformándose el nitrógeno de la mayoría de los grupos funcionales orgánicos en amonio. Cuando la descomposición se ha completado la disolución se enfría, se diluye y se alcaliniza con hidróxido de sodio concentrado.

Los grupos amino y amido se convierten cuantitativamente a ión amonio. Sin embargo los grupos nitro, azo o azoxi generan en las mismas condiciones, otros productos nitrogenados (N₂ u óxidos de nitrógeno).





MÉTODO KJELDAHL DE N-Org



INTERFERENCIAS

1. *Nitratos*: Durante la digestión, el nitrato en concentraciones por arriba de 10 mg/L puede oxidar parte del amoniaco liberado produciendo N₂O y dando lugar a una



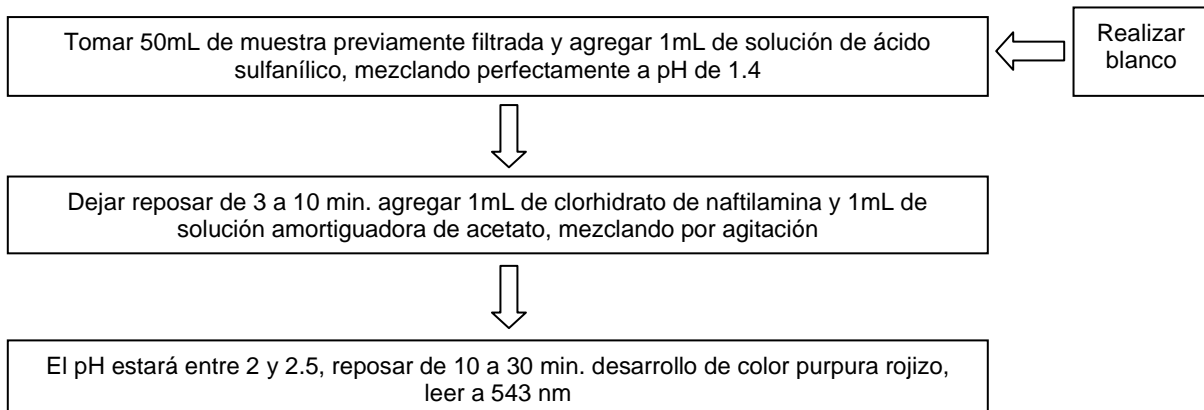
- interferencia negativa. Cuando se encuentre presente materia orgánica reductora, el nitrato puede reducirse a amoníaco, resultando una interferencia positiva.
2. Durante la digestión, puede haber pérdidas de nitrógeno por pirólisis.
 3. *Materia orgánica:* Durante la digestión, el H_2SO_4 oxida la materia orgánica a CO_2 y H_2O . Si estuviera presente una gran cantidad de materia orgánica, se consume mucho ácido, aumenta la proporción de sal-ácido y aumenta la temperatura de digestión.
 4. Dado que los reactivos pueden contener trazas de amoníaco, trate el blanco de reactivos igual que las muestras.

NITRITOS (NO_2^-)

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 diazoación para formar una sal de diazonio, la cual por copulación con el diclorhidrato de N-(1-Naftil) etilendiamina forma un colorante azóico de color púrpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a 530 nm.

MÉTODO DEL ÁCIDO SULFANÍLICO



INTERFERENCIAS

Por su propiedad de precipitación en las condiciones de la prueba interfieren los iones siguientes: férrico (Fe^{3+}), mercuroso (Hg^+), plata (Ag^+), bismuto (Bi^+), antimonioso (Sb^{3+}), plomo (Pb^{2+}), aúrico (Au^{3+}), hexacloroplatinato ($PtCl_6^{2-}$) y metavanadato (VO_3^{2+}). Interfieren el método ciertas sustancias frecuentemente encontradas en muestras de agua, principalmente: cloraminas, tiosulfatos, polifosfatos de sodio, entre otras.

NITRATOS (NO_3^-)

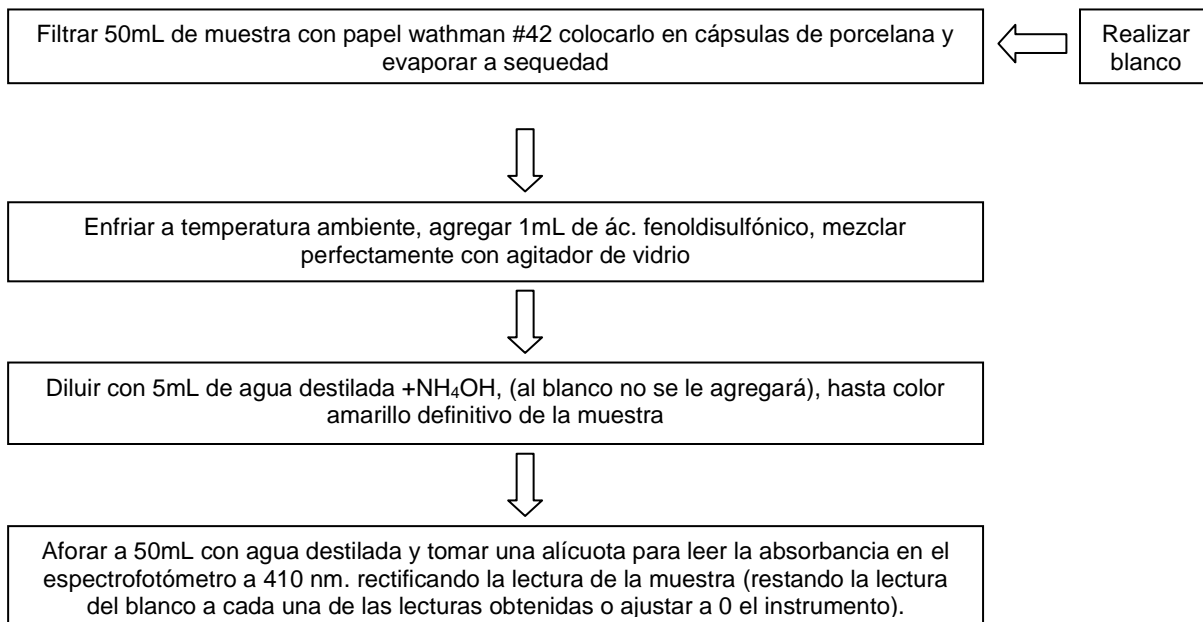
FUNDAMENTO



El ácido fenoldisulfónico reacciona con el nitrato en ausencia de agua para formar un nitroderivado, que en medio alcalino es alterado ligeramente para producir un compuesto de color amarillo, presentándose un principio colorimétrico.

La intensidad del color amarillo producido en la reacción es proporcional a la concentración de nitrato presente en la muestra, permitiendo su análisis por espectrofotometría visible, calculando la concentración de NO_3^- en la muestra por comparación relativa con soluciones de concentración conocida.

MÉTODO DEL ÁCIDO FENOLDISULFÓNICO



INTERFERENCIAS

El cloruro interfiere seriamente en la determinación, por lo que si una muestra contiene más de 30 mg Cl/L, se agregan 5 gotas de sulfato de plata al 5% para precipitar el Cl^- como AgCl, removiendo el AgCl por filtración.

FÓSFORO TOTAL

FUNDAMENTO

1. El método de cloruro estanoso se basa en la reacción del fósforo contenido en la muestra como ortofosfato con el ácido molíbdico para formar el ácido 12-molibdofósforico según la reacción:



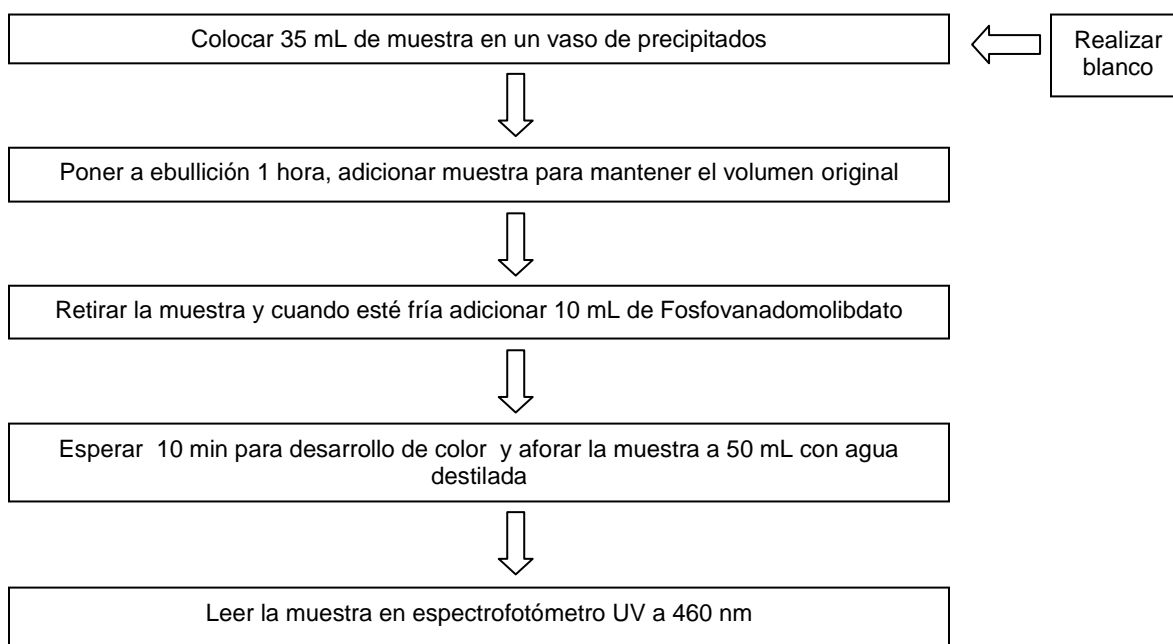
2. El ácido 12-molibdofosfórico es reducido por el cloruro de estaño a azul de molibdeno, compuesto de composición desconocida que contiene una mezcla de Mo (VI) y Mo (V), que absorbe a 690 nm. La intensidad del color azul formado depende



de la concentración de fosfatos adicionados al heteropoliácido. El método es aplicable cuando el fósforo está entre $0,01 \text{ mg P L}^{-1}$ a $6,0 \text{ mg P L}^{-1}$.

3. Todo el fósforo contenido en la muestra debe estar como ión ortofosfato $(\text{PO}_4)^{3-}$, ya que el método espectrofotométrico es esencialmente específico para este ión. La materia orgánica de la muestra es destruida por la digestión con persulfato de amonio y ácido sulfúrico, rompiendo las ligaduras orgánicas del fósforo (C-P y/o C-O-P), e hidrolizando los polifosfatos a ortofosfatos.
4. En el método de ácido vanadomolibdofosfórico en una disolución diluida de ortofosfatos, el molibdato de amonio reacciona en condiciones ácidas con el vanadato para formar un heteropoliácido, ácido vanadomolibdofosfórico. En la presencia de vanadio, se forma ácido vanadomolibdofosfórico de color amarillo. La intensidad del color amarillo es directamente proporcional a la concentración de fosfato.

MÉTODO FOSFOVANADOMOLIBDATO



INTERFERENCIAS

Arseniato, fluoruro, torio, bismuto, sulfuro, tiosulfato, tiocianato o excesos de molibdato interfieren. El hierro en su forma ferrosa produce un color azul, pero no afecta a los resultados, si su concentración es menor a 100 mg/L . La interferencia de sulfuro puede eliminarse por oxidación con agua de bromo.

SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM)

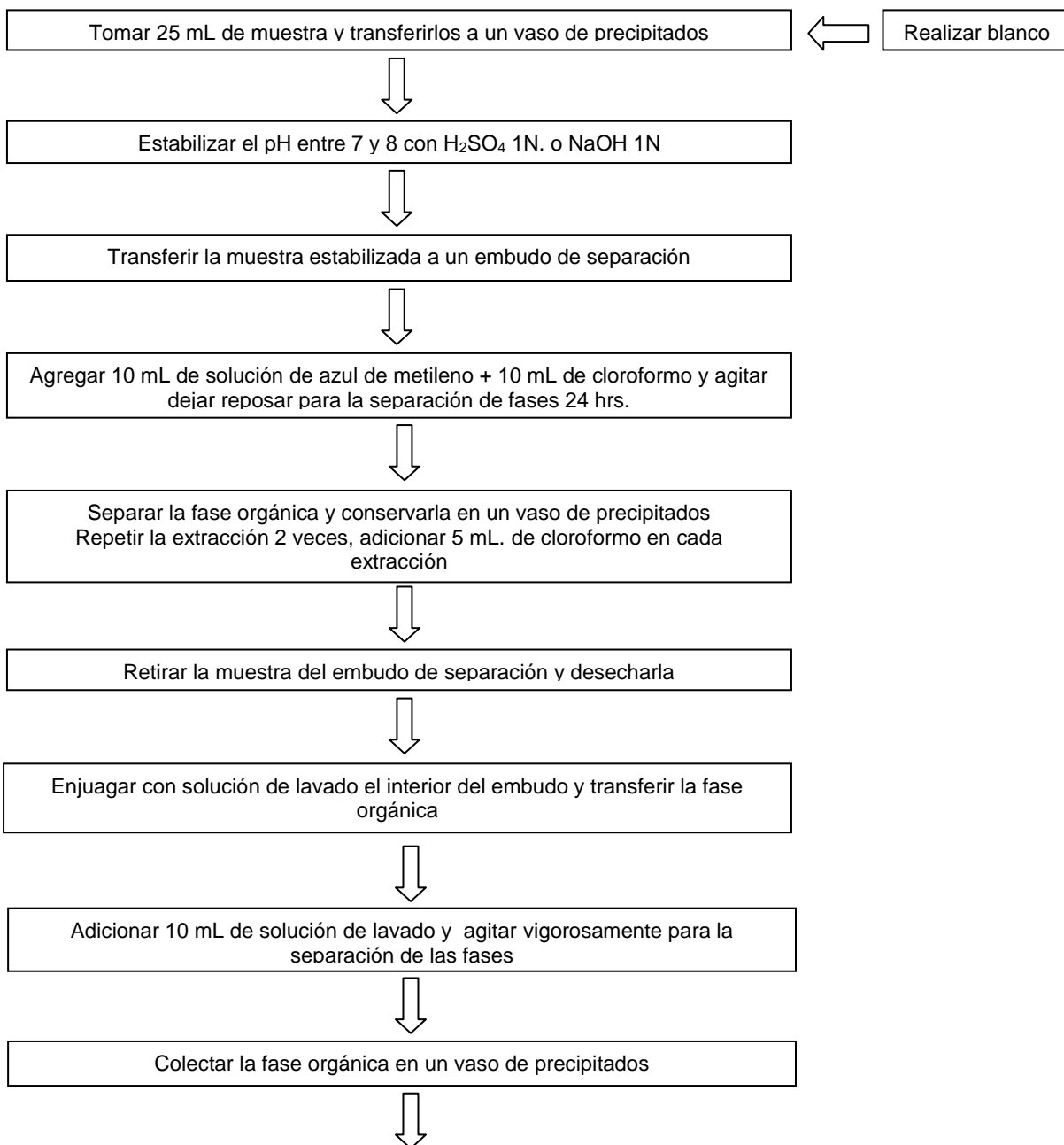
FUNDAMENTO

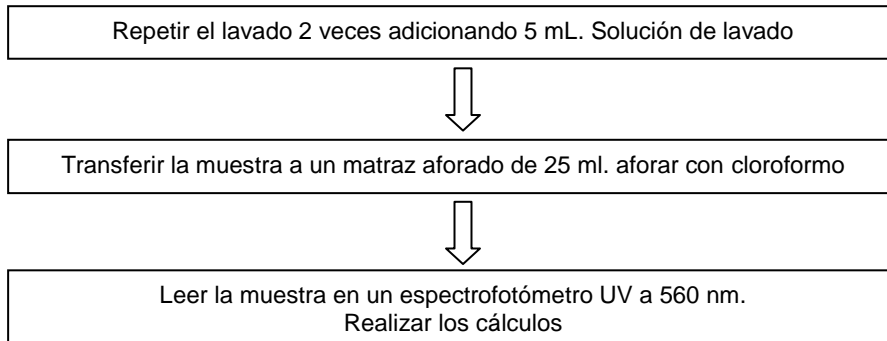


Este método se basa en la formación de un par iónico extractable en cloroformo de color azul por la reacción del azul de metileno catiónico y un tensoactivo aniónico incluyendo al sulfonato de alquilbenceno lineal, otros sulfonatos y ésteres de sulfonatos. La muestra se acidifica y se mezcla con una disolución de azul de metileno. El par iónico hidrofóbico que se forma se extrae con cloroformo. 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.

El cloroformo retiene los pares iónicos altamente hidrófobos. La intensidad del color azul presente en la fase orgánica se mide espectrofotométricamente a una longitud de onda de 652 nm y es proporcional a la cantidad de surfactantes aniónicos presentes en la muestra.

MÉTODO COLORIMÉTRICO DEL AZUL DE METILENO





INTERFERENCIAS

1. Cualquier compuesto orgánico e inorgánico que pueda formar un complejo con el azul de metileno extractable con cloroformo producirá interferencias positivas, a menos que el par iónico sea eliminado. Estas interferencias positivas incluyen sulfonatos orgánicos, carboxilatos y fenoles, además de cianuros, tiocianatos y nitratos
2. Cualquier compuesto que compite efectivamente con el azul de metileno para formar un par iónico no extractable con cloroformo da resultados negativos. Estas interferencias negativas se dan cuando existen aminas en la muestra.
2. Cuando se utiliza mezcla crómica como disolución limpiadora para el material de vidrio, debe tenerse cuidado de eliminar por completo todo el ácido crómico. Si no se retira todo el ácido, puede provocar errores en los resultados.
3. Nunca use un detergente para limpiar el material de vidrio utilizado en el desarrollo de este método, ya que el detergente es difícil de remover, y cualquier residuo de detergente puede causar resultados altos.

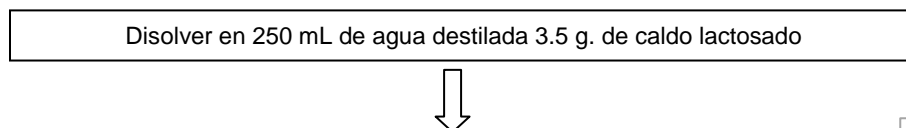
COLIFORMES TOTALES (CT) Y COLIFORMES FECALES (CF)

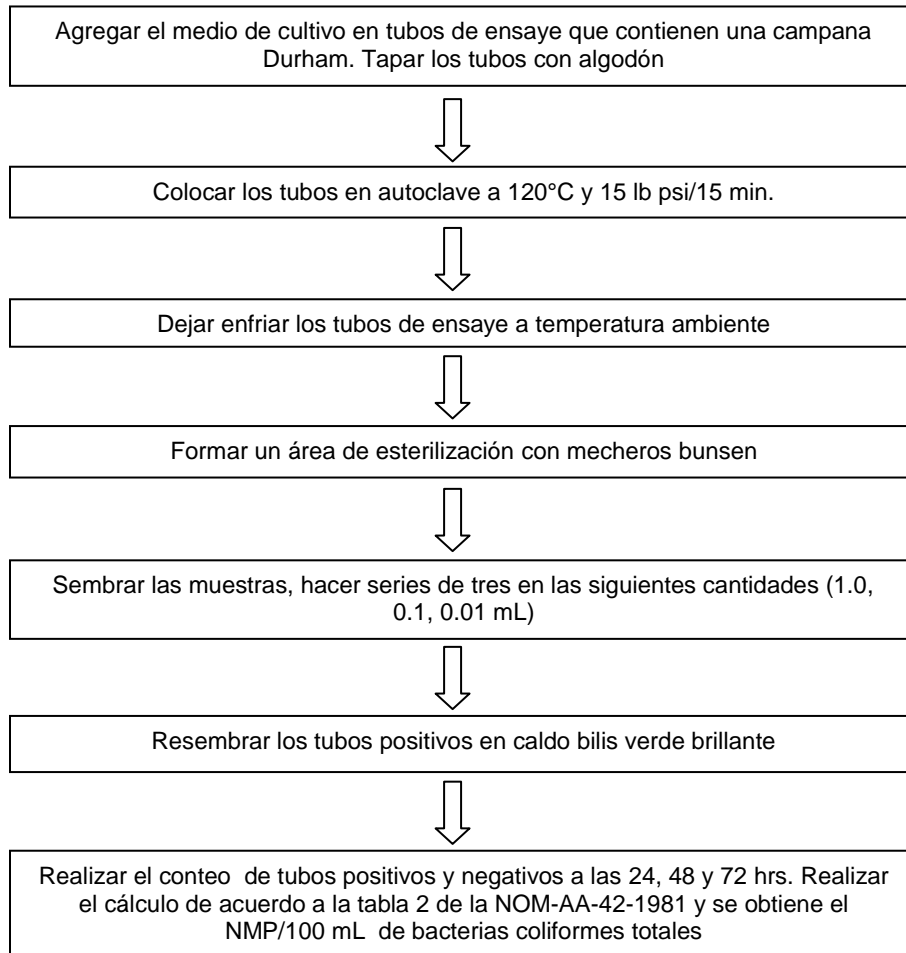
FUNDAMENTO

El método se basa en la inoculación de alícuotas de la muestra diluida o sin diluir, en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido lactosado. Los tubos se examinan a las 24, 48 y 72 horas de incubación ya sea a 35 a 37°C. Cada uno de los que muestren turbidez con producción de gas se resiembra en un medio selectivo para confirmación. Se lleva a cabo la incubación de estos medios selectivos hasta por 48 horas a 35 - 37 °C para la detección de organismos coliformes y por 24 horas a 44.0 ± 1 °C para organismos coliformes fecales (termotolerantes) y E. coli.

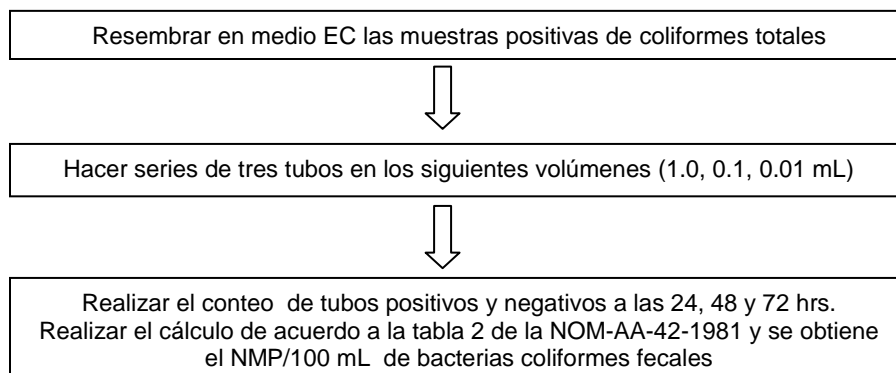
Mediante tablas estadísticas, se lleva a cabo el cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y E. coli que puedan estar presentes en 100 mL de muestra a partir del número de tubos que den resultados confirmativos positivos.

MÉTODO DE TUBOS MÚLTIPLES DE FERMENTACIÓN PARA CT





MÉTODO DE TUBOS MÚLTIPLES DE FERMENTACIÓN PARA CF



INTERFERENCIAS

Colocar en el material de muestreo, previo a la esterilización, 0.1 mL de solución de tiosulfato de sodio al 10% con el propósito de inhibir la acción del cloro que puede contener la muestra.



SÓLIDOS TOTALES (ST), SÓLIDOS TOTALES VOLATILES (STV) Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

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.

MÉTODO GRAVIMÉTRICO DE ST

Poner a peso constante (P1) una cápsula de porcelana, agregar 50mL de muestra llevarla a evaporación total en una estufa a 105°C



Dejar enfriar la cápsula en un desecador más de 1hr, pesar nuevamente, obteniéndose el P2

MÉTODO GRAVIMÉTRICO DE STV

Colocar la cápsula de porcelana de los ST en la mufla, para su calcinación a 550±50°C por 15 min.



Finalizada la calcinación, dejar enfriar la cápsula en el desecador por más de 1hr y pesar, obteniendo el P3.

MÉTODO GRAVIMÉTRICO DE SST

Poner a peso constante un crisol gooch con un filtro de fibra de vidrio



Filtrar 100 mL de la muestra, seguido de 3 lavadas con 10 mL de agua destilada



Secar en estufa a 103-105C° por 1 hora, dejar enfriar en el desecador y pesar

INTERFERENCIAS

Es importante agitar homogéneamente la muestra, ya que se puede ver afectada por: La presencia de partículas grandes, materia flotante, precipitados o muestras no homogéneas que conducen a resultados no reproducibles y por las películas de grasas presentes en las muestras.



7. RESULTADOS

A continuación se presenta un cuadro de resultados ordenada cronológicamente:

PRIMER MUESTREO. Marzo 2007								
PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CANAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MÓDULO I	MÓDULO II	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	ESTANQUE DE LIMPIEZA	ESTANQUE DE MADURACIÓN
Temperatura (°C)	40 *	18.6	40 *	18.2	18.1	40 *	18.2	18.3
pH	5 – 9 * ⁶⁰	9	5 – 9 * ⁶⁰	8.2	8.5	5 – 9 * ⁶⁰	8.7	8.5
Conductividad Eléctrica (μS L ⁻¹)	100 ^Y	7.0	100 ^Y	7.0	6.0	100 ^Y	7.0	8.0
Coliformes Totales (NMP 100mL ⁻¹)	1000*	2400	1000*	1200	1010	1000*	240	240
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	240 **	2100	240 **	220	80	240 **	30	3
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	250 – 1000 ^z	296.47	250 – 1000 ^z	88.94	63.49	250 – 1000 ^z	38.52	17.78
Fosforo total (mg L ⁻¹)	20 *	0.1201	20 *	0.1149	0.0765	5 *	0.0756	0.0732

SEGUNDO MUESTREO. Abril 2007								
PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CANAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MÓDULO I	MÓDULO II	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	ESTANQUE DE LIMPIEZA	ESTANQUE DE MADURACIÓN
Temperatura (°C)	40 *	19.2	40 *	18.9	18.7	40 *	18.8	18.8
pH	5 – 9 * ⁶⁰	8.8	5 – 9 * ⁶⁰	8.7	8.5	5 – 9 * ⁶⁰	8.4	8.3
Conductividad Eléctrica (μS L ⁻¹)	100 ^Y	9.0	100 ^Y	8.0	6.0	100 ^Y	7.0	7.0
Coliformes Totales (NMP 100mL ⁻¹)	1000*	2400	1000*	1240	1110	1000*	1010	310
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	240 **	2100	240 **	240	80	240 **	28	3
DQO (mg L ⁻¹)	250 – 1000 ^z	295.79	250 – 1000 ^z	97.61	65.38	250 – 1000 ^z	48.82	17.74
Fósforo total (mg L ⁻¹)	20 *	0.056	20 *	0.028	0.0168	5 *	0.028	0.0448

TERCER MUESTREO. Mayo 2007								
PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CANAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MODULO I	MODULO II	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	ESTANQUE DE LIMPIEZA	ESTANQUE DE MADURACIÓN
Temperatura (°C)	40 *	19.8	40 *	19.6	19.5	40 *	19.8	19.9
pH	5 – 9 * ⁶⁰	7.9	5 – 9 * ⁶⁰	8.2	8.3	5 – 9 * ⁶⁰	8.4	8.6
Conductividad Eléctrica (μS L ⁻¹)	100 ^Y	8.0	100 ^Y	7.0	7.0	100 ^Y	8.0	8.0
Coliformes Totales (NMP 100mL ⁻¹)	1000*	2400	1000*	1180	1100	1000*	1080	310
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	240 **	1800	240 **	220	80	240 **	40	3
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	250 – 1000 ^z	338.68	250 – 1000 ^z	94.83	74.54	250 – 1000 ^z	43.28	23.73
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	20 *	0.0763	20 **	0.0605	0.0605	5 *	0.0644	0.0704
ST (mg L ⁻¹)	1000 * ^Y	1282	1000 * ^Y	1268	1116	1000 * ^Y	982	890
STV (mg L ⁻¹)		154		130	116		116	106
STF (mg L ⁻¹)		1166		1152	1000		866	784



CUARTO MUESTREO. Junio 2007

PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CANAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MODULO I	MODULO II	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	ESTANQUE DE LIMPIEZA	ESTANQUE DE MADURACIÓN
Temperatura (°C)	40 *	18.9	40 *	18.6	18.5	40 *	18.7	18.8
pH	5 – 9 * [Ⓞ]	8.9	5 – 9 * [Ⓞ]	8.8	8.8	5 – 9 * [Ⓞ]	8.6	8.7
Conductividad Eléctrica (μS L ⁻¹)	100 ^Y	9.0	100 ^Y	8.0	7.0	100 ^Y	9.0	8.0
Coliformes Totales (NMP 100mL ⁻¹)	1000*	2200	1000*	1400	1280	1000*	1180	290
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	240 **	2100	240 **	210	60	240 **	30	3
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	250 – 1000 *	195.31	250 – 1000 *	58.59	37.75	250 – 1000 *	19.93	9.76
Fósforo total(mg L ⁻¹)	20 *	0.0863	20 *	0.0753	0.0674	5 *	0.0684	0.0733
ST (mg L ⁻¹)	1000 * ^Y	1393	1000 * ^Y	1148	990	1000 * ^Y	910	870
STV (mg L ⁻¹)		260		220	200		180	160
STF (mg L ⁻¹)		1133		928	790		730	710

QUINTO MUESTREO. Agosto 2007

PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CANAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MODULO I	MODULO II	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	ESTANQUE DE LIMPIEZA	ESTANQUE DE MADURACIÓN
Temperatura (°C)	40 *	18.4	40 *	18.2	18.1	40 *	18.3	18.8
pH	5 – 9 * [Ⓞ]	9.3	5 – 9 * [Ⓞ]	9.0	9.1	5 – 9 * [Ⓞ]	9.2	9.2
Conductividad Eléctrica (μS L ⁻¹)	100 ^Y	7.0	100 ^Y	6.0	5.0	100 ^Y	6.0	8.0
Coliformes Totales (NMP 100mL ⁻¹)	1000*	2100	1000*	1220	1100	1000*	1010	280
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	240 **	1800	240 **	210	80	240 **	30	3
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	250 – 1000 *	193.75	250 – 1000 *	54.68	48.87	250 – 1000 *	31.83	12.93
Fósforo total(mg L ⁻¹)	20 *	0.1339	20 *	0.0863	0.0654	5 *	0.0675	0.0776
SAAM (mg L ⁻¹)	0.1 [Ⓞ]	0.0665	0.1 [Ⓞ]	0.0604	0.0416	0.1 [Ⓞ]	0.0376	0.0236
ST (mg L ⁻¹)	1000 * ^Y	1538	1000 * ^Y	1190	1010	1000 * ^Y	980	986
STV (mg L ⁻¹)		178		158	184		182	134
STF (mg L ⁻¹)		1360		1032	826		798	852
N- org (mg L ⁻¹)	40 *	0.84	15 *	0.84	0.34	40 *	0.28	0.28
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)		1.4		1.12	0.56		0.5	0.28
NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)		0.00824		0.00774	0.00735		0.00632	0.00371
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)		0.24038		0.23718	0.23397		0.21795	0.19872



SEXTO MUESTREO. Septiembre 2007

PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CANAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MODULO I	MODULO II	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	ESTANQUE DE LIMPIEZA	ESTANQUE DE MADURACIÓN
Temperatura (°C)	40 *	18.1	40 *	17.9	17.6	40 *	18.2	18.4
Ph	5 – 9 * [©]	7.8	5 – 9 * [©]	7.5	7.6	5 – 9 * [©]	7.8	7.9
Conductividad Eléctrica (µS L ⁻¹)	100 ^Y	9.0	100 ^Y	7.0	8.0	100 ^Y	10.0	9.0
Coliformes Totales (NMP 100mL ⁻¹)	1000*	2400	1000*	1200	1010	1000*	410	280
Coliformes fecales (NMP 100mL ⁻¹)	240 **	1980	240 **	220	80	240 **	35	3
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	250 – 1000 *	296.87	250 – 1000 *	89.06	58.39	250 – 1000 *	36.73	14.84
Fósforo total (mg L ⁻¹)	20 *	0.0863	20 *	0.0793	0.0615	5 *	0.0625	0.0416
SAAM (mg L ⁻¹)	0.1 [©]	0.0152	0.1 [©]	0.0085	0.0066	0.1 [©]	0.0047	0.0038
ST (mg L ⁻¹)	1000 * ^Y	1268	1000 * ^Y	1106	996	1000 * ^Y	900	880
STV (mg L ⁻¹)		164		138	138		108	204
STF (mg L ⁻¹)		1104		968	858		792	676
N- org (mg L ⁻¹)	40 *	1.12	15 *	0.56	0.56	40 *	0.56	0.56
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)		1.4		1.4	1.4		0.84	0.84
NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)		0.00769		0.00748	0.00678		0.00574	0.00472
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)		0.31872		0.31437	0.29872		0.28735	0.26672

SEPTIMO MUESTREO. Noviembre 2007

PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CANAL	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MODULO I	MODULO II	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	ESTANQUE DE LIMPIEZA	ESTANQUE DE MADURACIÓN
Temperatura (°C)	40 *	17.8	40 *	17.5	17.5	40 *	17.4	17.6
pH	5 – 9 * [©]	8.3	5 – 9 * [©]	7.8	7.9	5 – 9 * [©]	8.4	8.5
Conductividad Eléctrica (µS L ⁻¹)	100 ^Y	9.0	100 ^Y	7.0	7.0	100 ^Y	8.0	10.0
Coliformes Totales (NMP 100mL ⁻¹)	1000*	2100	1000*	1090	1010	1000*	390	280
Coliformes fecales(NMP 100mL ⁻¹)	240 **	1960	240 **	220	60	240 **	30	3
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	250 – 1000 *	171.87	250 – 1000 *	51.56	39.86	250 – 1000 *	25.48	6.87
Fósforo total (mg L ⁻¹)	20 *	0.04365	20 *	0.0434	0.03898	5 *	0.03809	0.03253
SAAM (mg L ⁻¹)	0.1 [©]	0.0114	0.1 [©]	0.0102	0.0086	0.1 [©]	0.0057	0.0038
ST (mg L ⁻¹)	1000 * ^Y	1168	1000 * ^Y	1097	974	1000 * ^Y	958	923
STV (mg L ⁻¹)		185		158	126		117	96
STF (mg L ⁻¹)		983		939	848		841	827
N- org (mg L ⁻¹)	40 *	1.4	15 *	0.84	0.84	40 *	0.56	0.28
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)		5.04		1.68	1.4		1.12	0.84
NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)		0.00765		0.00706	0.00662		0.00647	0.00262
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)		0.35963		0.33716	0.32752		0.31468	0.30505

* NOM-001-SEMRNAT-1996

** NOM-003-SEMARNAT-1997

^Y Jiménez, 2002.

*[©] APHA, 1992.

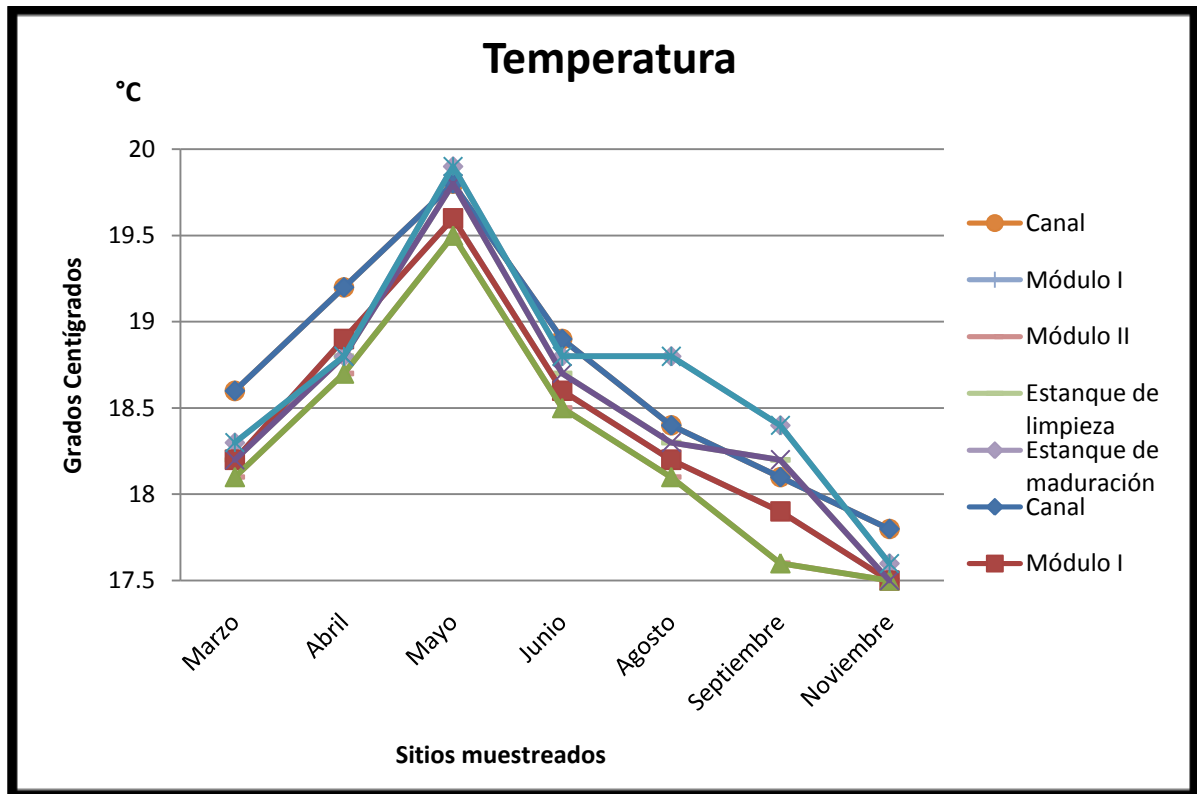
[©] Criterios ecológicos de la NOM-003-SEMARNAT-1997

*^Y Norma Oficial Mexicana Aplicable a aguas residuales

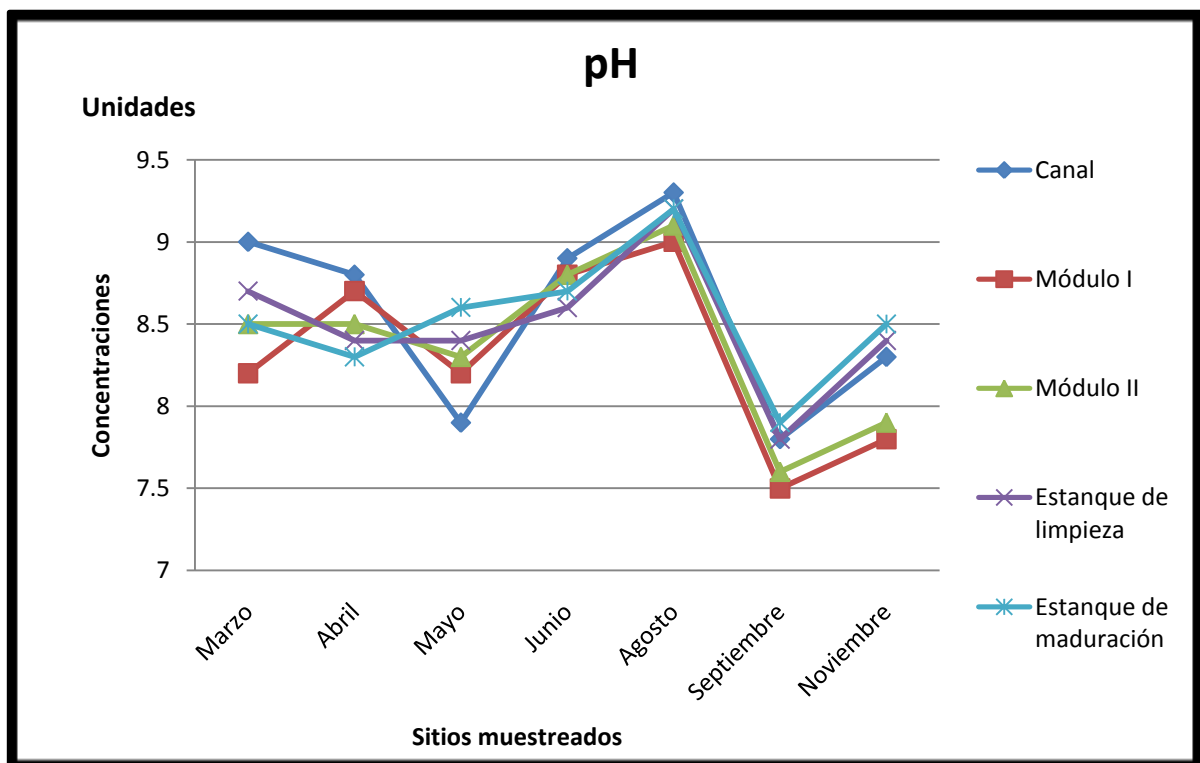
* De acuerdo a Metcalf y Eddy (1991) 250 mg O₂ L⁻¹ es una concentración débil y de 1000 mg O₂ L⁻¹ es una concentración fuerte.



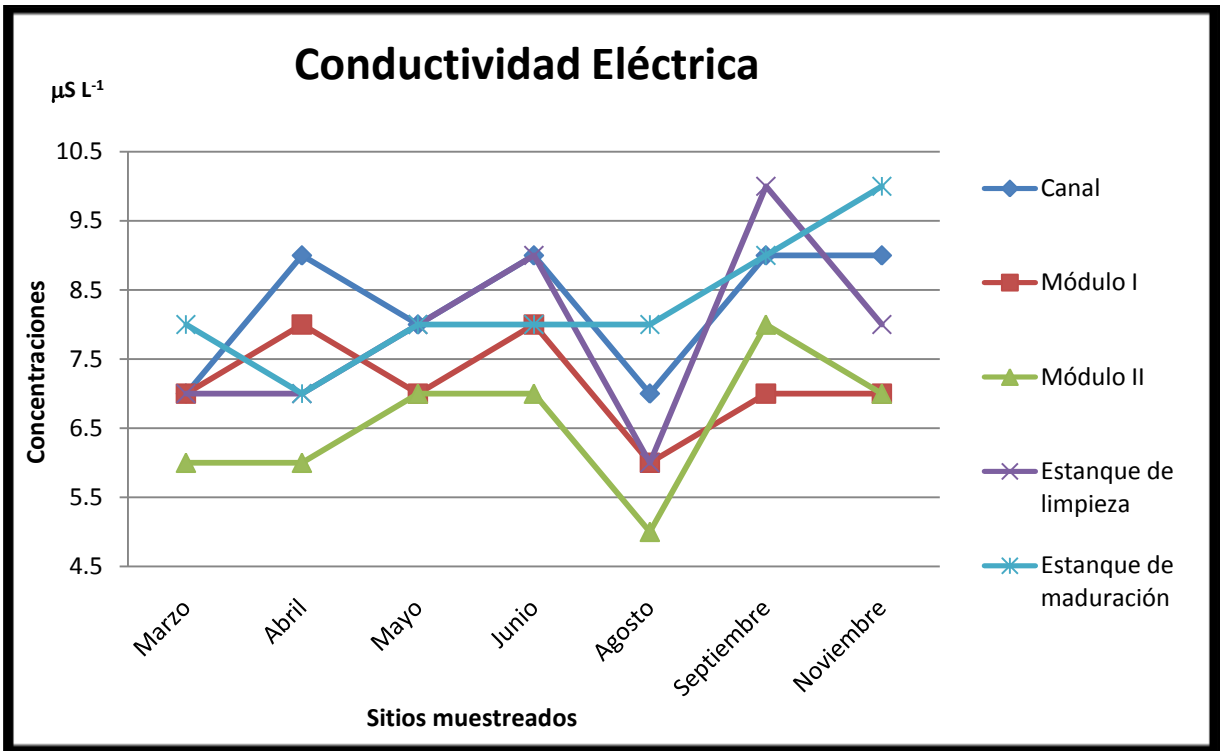
GRÁFICAS DE RESULTADOS



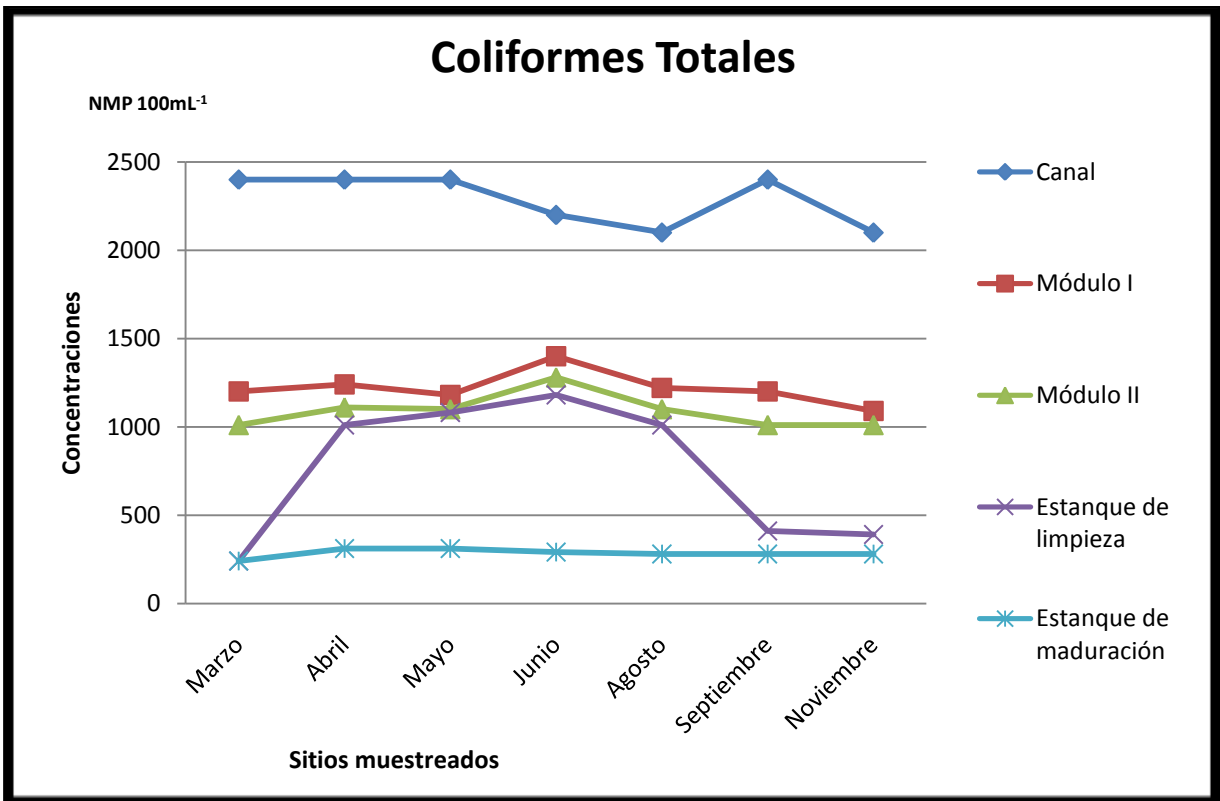
Gráfica 1. Promedio mensual de temperatura en el sistema.



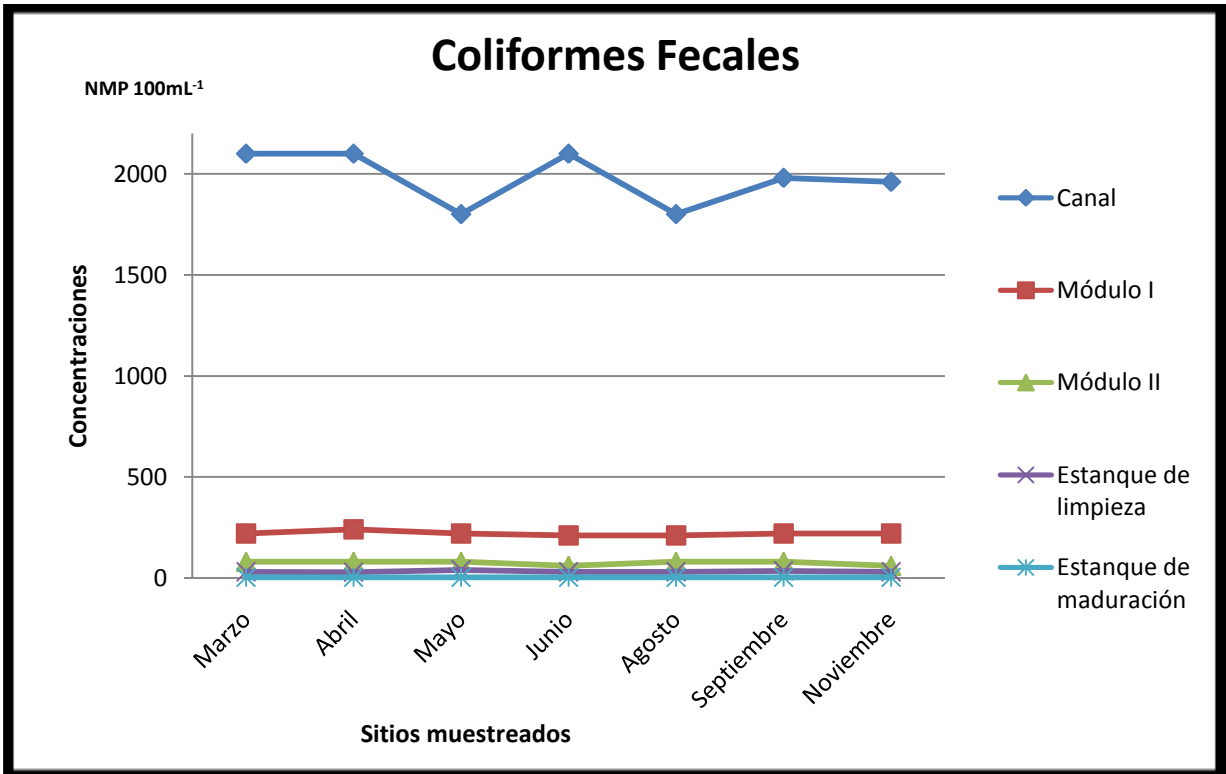
Gráfica 2. Promedio mensual de pH en el sistema.



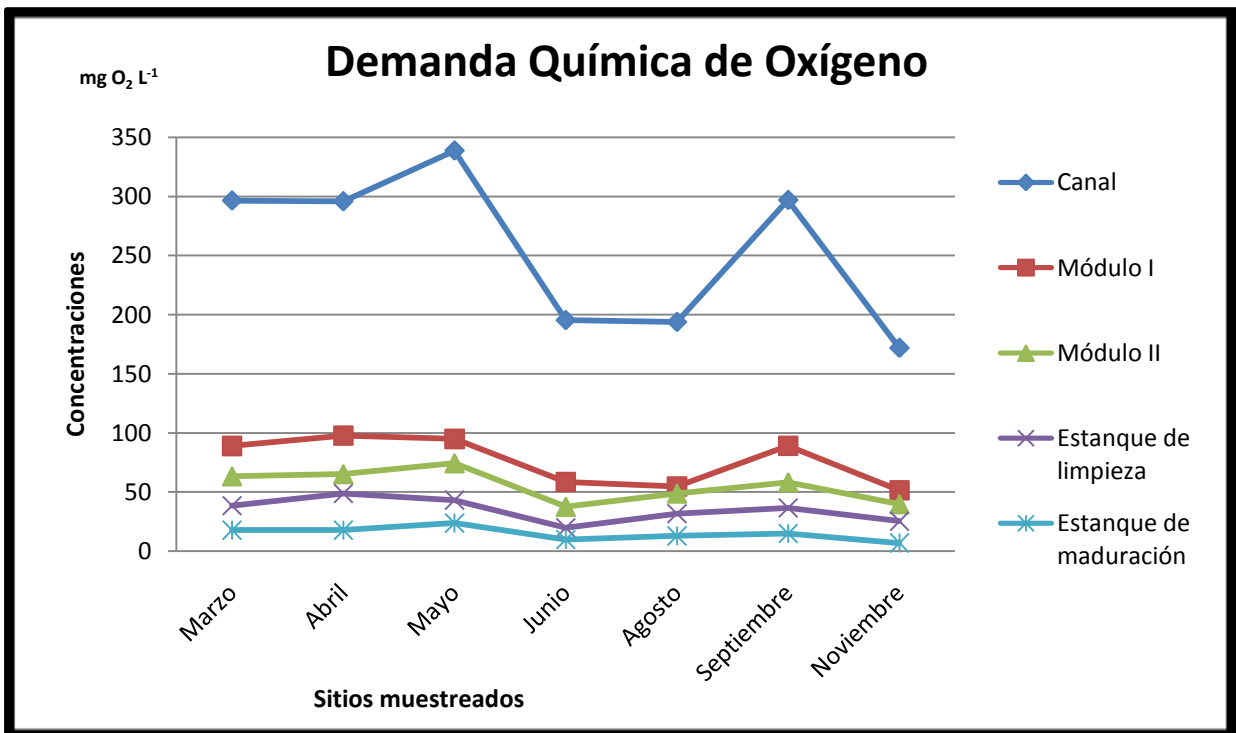
Gráfica 3. Promedio mensual de conductividad eléctrica en el sistema.



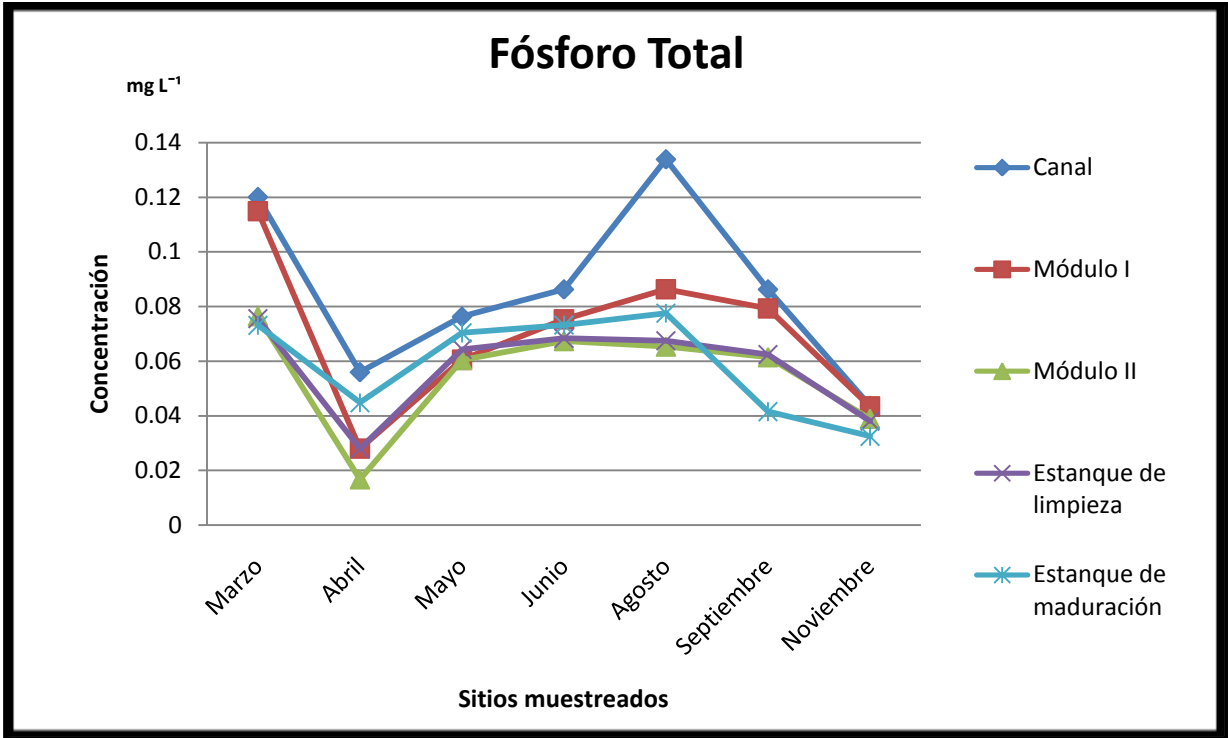
Gráfica 4. Número más probable de coliformes totales mensual en el sistema.



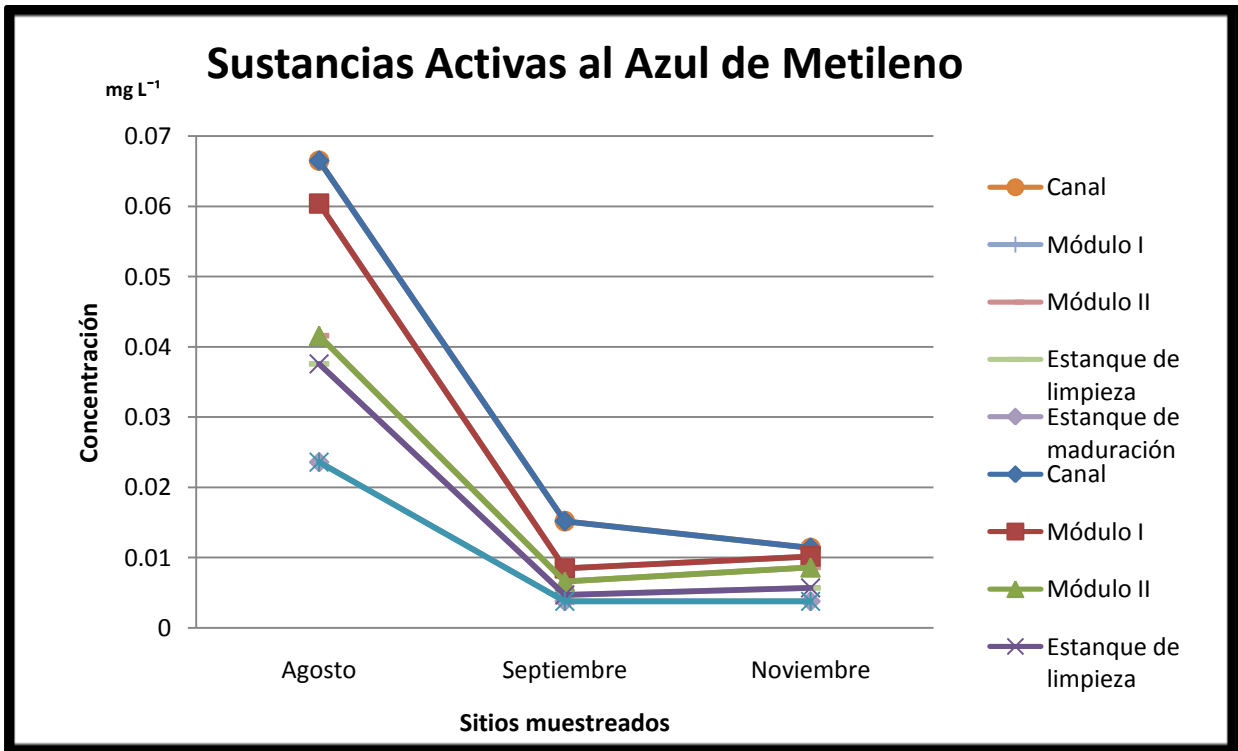
Gráfica 5. Número más probable de coliformes fecales mensual en el sistema.



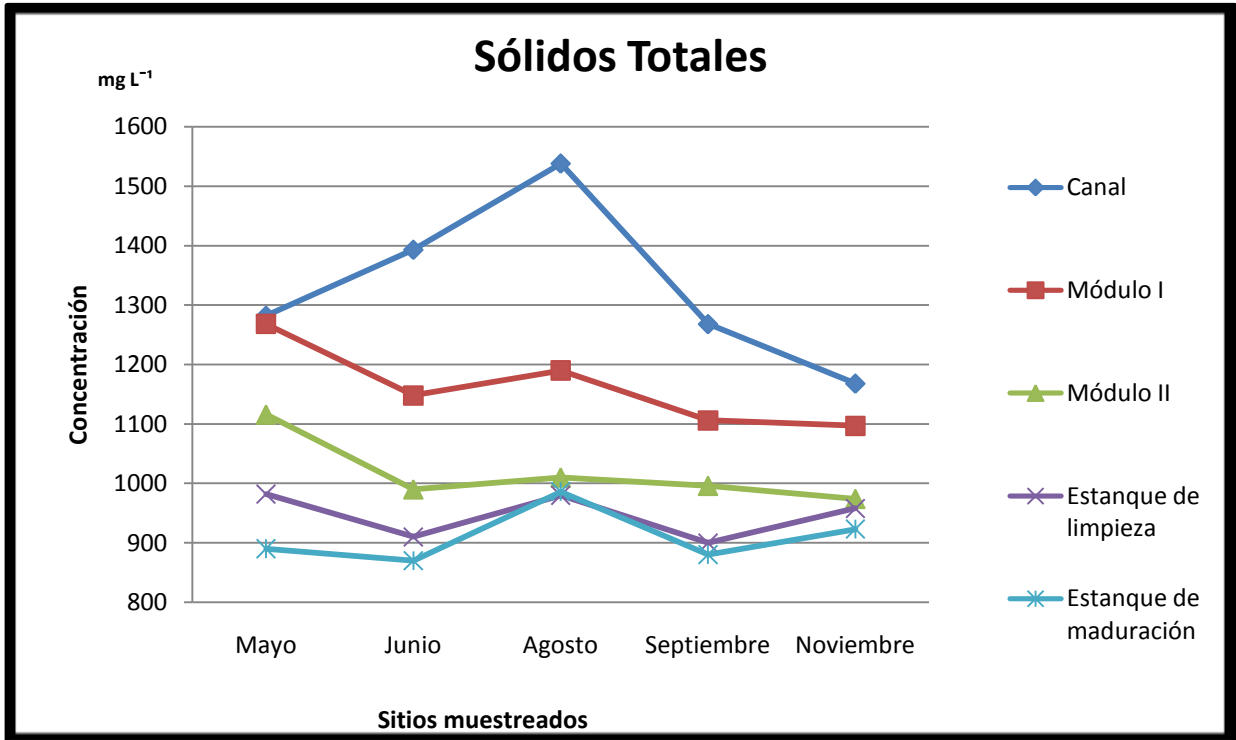
Gráfica 6. Promedio mensual de la demanda química de oxígeno en el sistema.



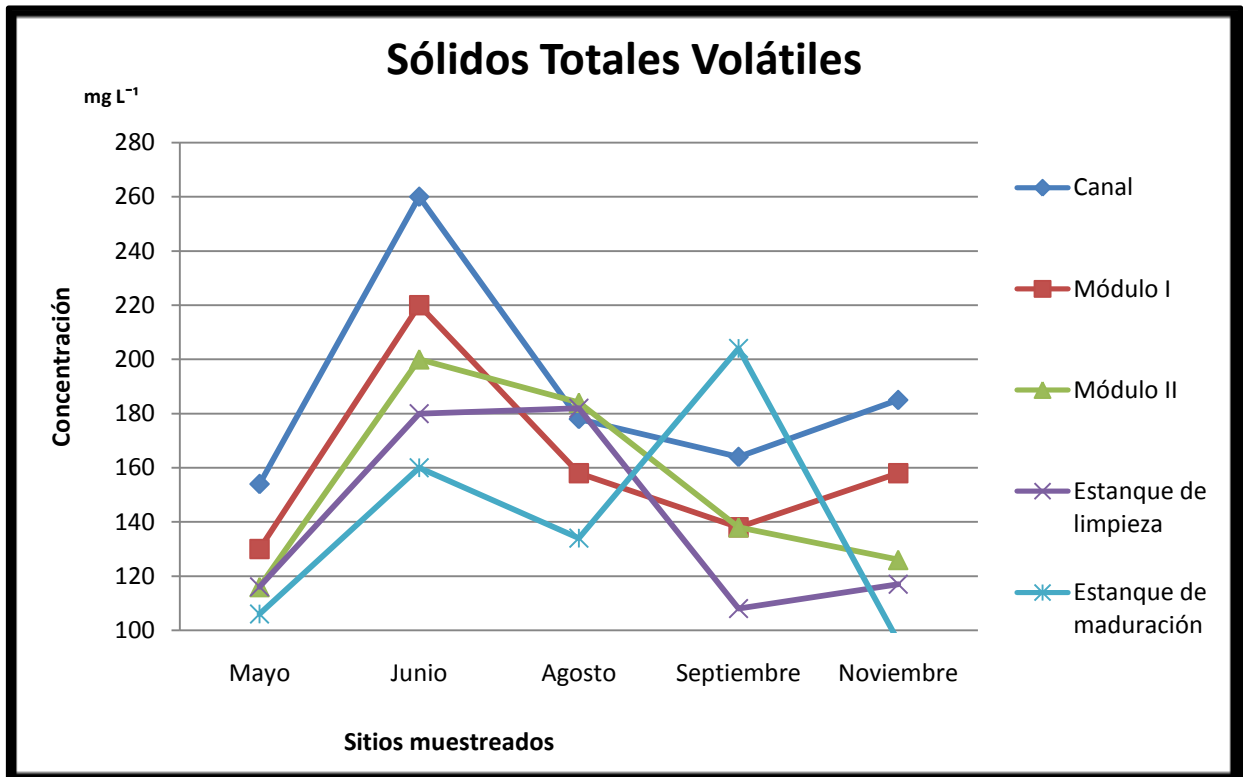
Gráfica 7. Promedio mensual de fósforo total en el sistema.



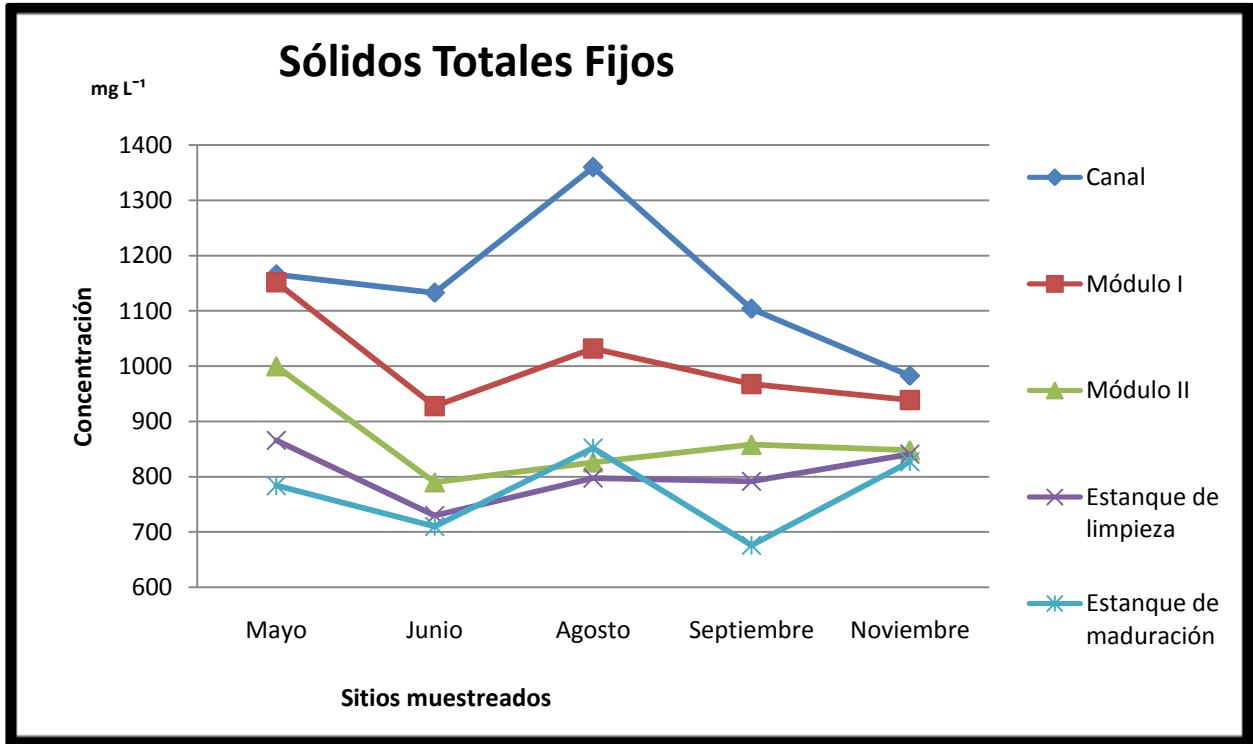
Gráfica 8. Promedio mensual de las sustancias activas al azul de metileno en el sistema.



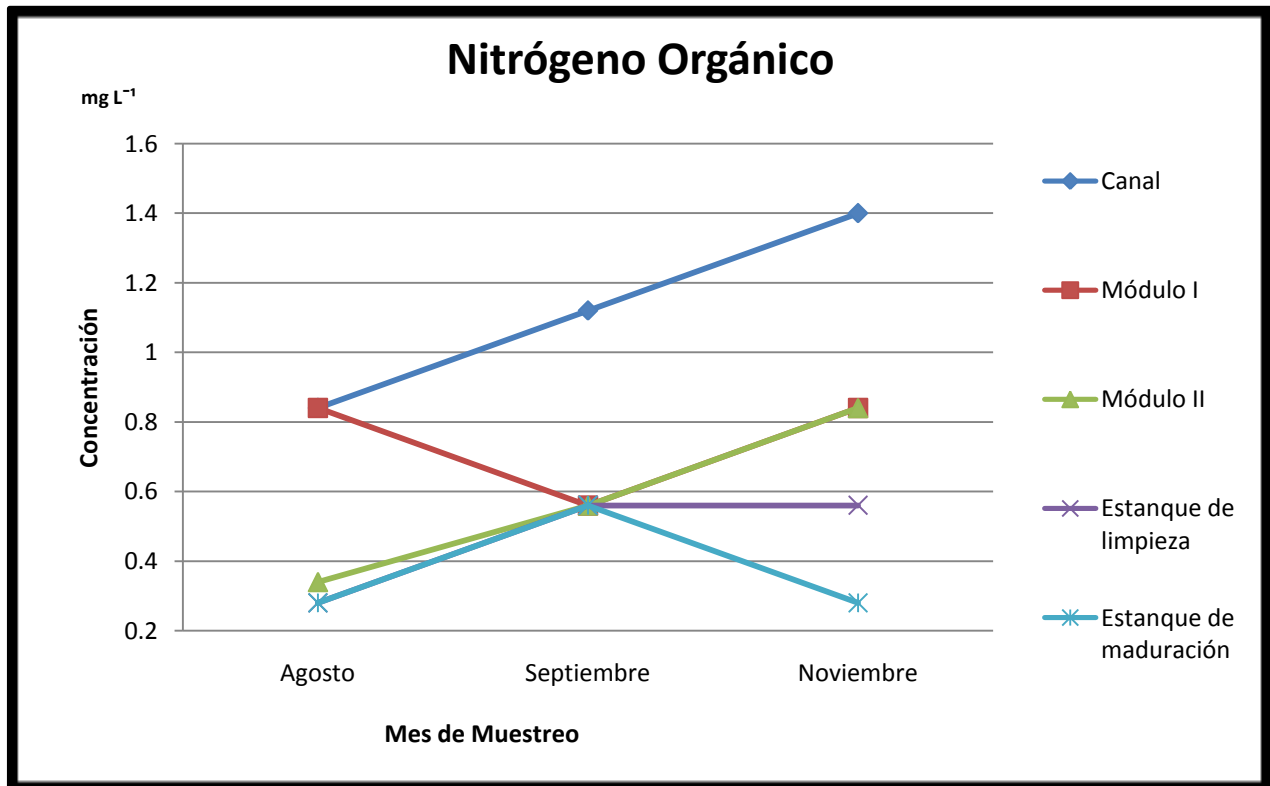
Gráfica 9. Promedio mensual de sólidos totales en el sistema.



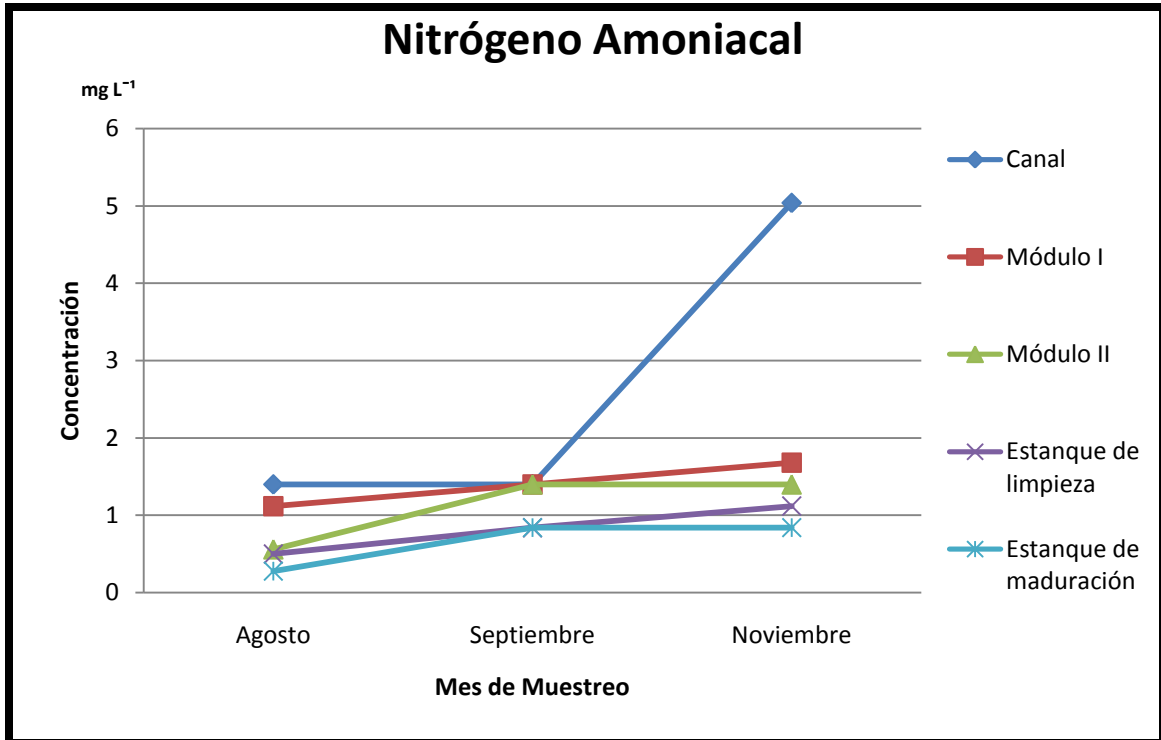
Gráfica 10. Promedio mensual de sólidos totales volátiles en el sistema.



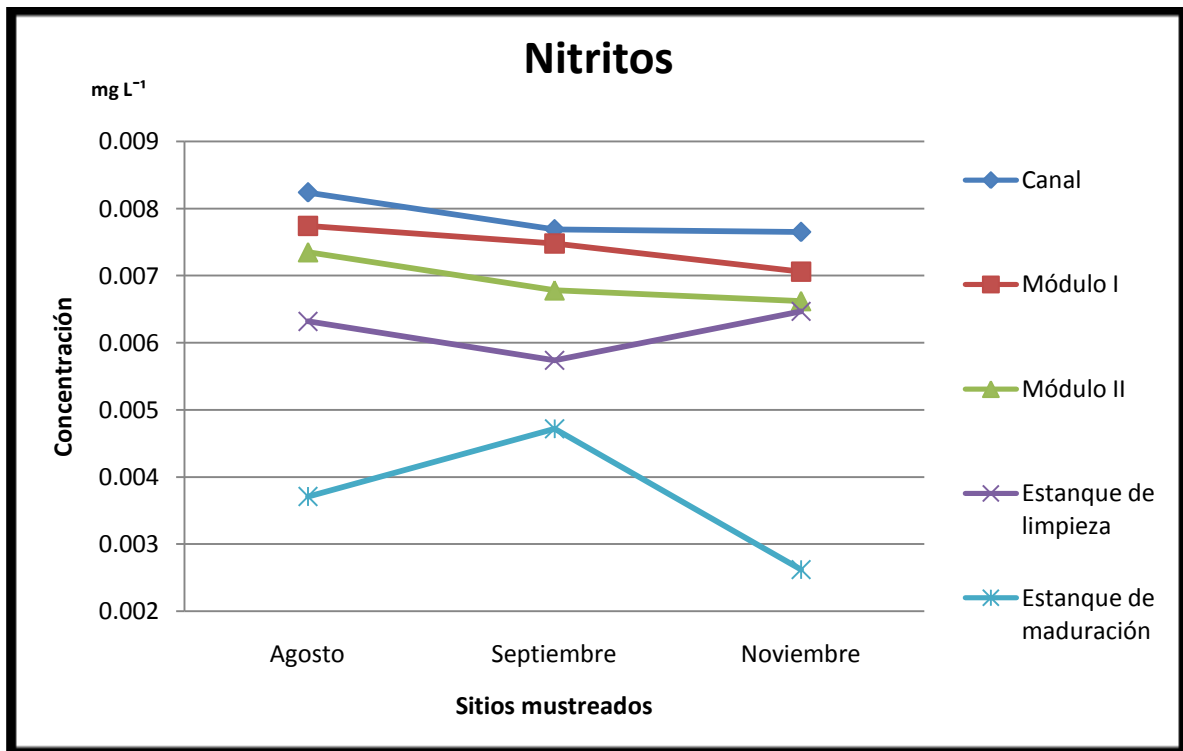
Gráfica 11. Promedio mensual de sólidos totales fijos en el sistema.



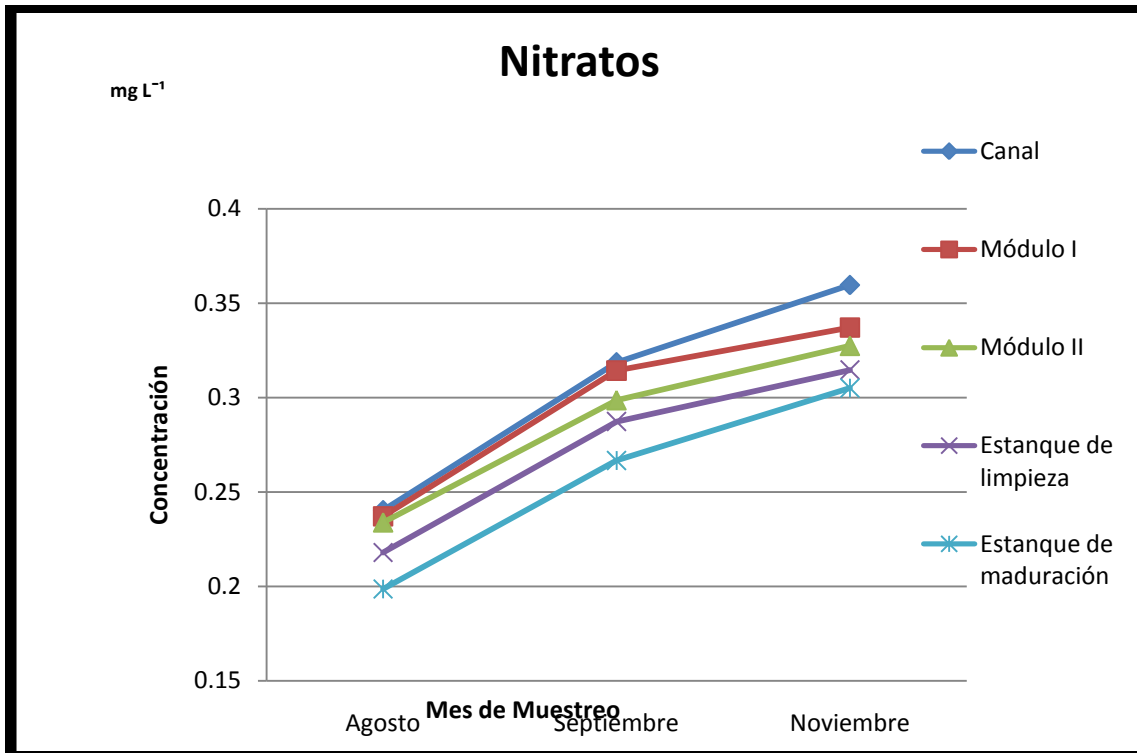
Gráfica 12. Promedio mensual del nitrógeno orgánico en el sistema.



Gráfica 13. Promedio mensual del nitrógeno amoniacal mensual en el sistema.



Gráfica 14. Promedio mensual de nitritos en el sistema.



Gráfica 15. Promedio mensual de nitratos en el sistema.



8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los monitoreos realizados en el humedal construido de flujo subsuperficial, en el periodo de marzo a noviembre del 2007 se obtuvo la calidad física, química y biológica del agua que ingresa del canal (sin tratamiento), tratada y reusada en la piscicultura y floricultura del sistema; dicho monitoreo tuvo presencia de lluvias en los meses de julio y agosto. Se recolectaron muestras en cinco sitios, distribuidos en el sistema de la siguiente manera:

1. Canal
2. Módulo I
3. Módulo II
4. Estanque de limpieza
5. Estanque de maduración

Temperatura

La temperatura es muy importante para la solubilidad de sales y gases, en la determinación del pH y de la conductividad eléctrica, el conocimiento del origen del agua y de eventuales mezclas, etc. La temperatura de aguas superficiales está influenciada por la temperatura del aire, menor a 10°C modera las reacciones químicas en los diferentes tratamientos de las aguas. Las variaciones bruscas son ocasionadas por la mezcla de aguas de otro origen. La elevación de la temperatura genera una modificación en la densidad (disminuye cuando aumenta la temperatura), reducción de la viscosidad, aumento de la tensión de vapor saturante de la superficie y una disminución de la solubilidad de los gases. Así también, puede tener acciones benéficas, favorece la autodepuración y aumenta la velocidad de la sedimentación, acelera las reacciones químicas y bioquímicas, las cuales tienen un consumo de oxígeno, lo que hace que disminuya el oxígeno disuelto y contrariamente aparezca ácido sulfhídrico, metano y cadenas parcialmente oxidadas, produciendo olores y sabores desagradables en el humedal (Rodier, 1990).

En marzo la temperatura se presentó entre 18.1 a 18.6 °C. En abril los valores registrados fueron de 18.7 a 19.2 °C. En mayo entre 19.5 y 19.9 °C. Para junio osciló de 18.5 a 18.9 °C. En el mes de agosto entre 18.1 y 18.8 °C. En septiembre el rango fue de 17.6 a 18.4 °C y finalmente en noviembre de 17.4 a 17.8 °C.

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 el límite máximo permisible (LMP) de temperatura es de 40°C. En ninguno de los sitios analizados del humedal se rebasa el LMP establecido por dicha norma, lo cual nos indica que la temperatura registrada es adecuada.

pH

El pH controla diferentes reacciones químicas, la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH, entre 6.0 y 8.0 (Tebbutt, 2002). El pH de los cuerpos de agua y el agua residual doméstica, en general, es ligeramente alcalino por la presencia de bicarbonatos, carbonatos y metales alcalinos. En las descargas industriales es posible encontrar pH ácido o básico, debido al uso de reactivos químicos (Jiménez, 2002).



Para marzo, los valores se encontraron en el intervalo de 8.2 a 9.0 lo que indicó mediana capacidad de neutralidad. En abril el comportamiento fue similar de 8.3 a 8.8 unidades. En mayo, de 7.9 a 8.6, para junio los valores se encontraban entre 8.6 a 8.9. En agosto las lluvias fueron abundantes debido a un huracán se cortó el suministro de agua residual al humedal, en este mes se presentaron los valores con fuerte tendencia alcalina por arriba de 9.0. En el mes de septiembre los niveles disminuyeron a un intervalo de 7.5 a 7.9. Finalmente en noviembre los valores oscilaron entre 7.8 a 8.5 unidades. Todos los valores de pH tendieron hacia la alcalinidad, el humedal es abastecido por descargas domésticas durante todo el año y el factor de dilución ejerció influencia directa durante la temporada de lluvias.

En APHA (1992), reportan que las aguas naturales tienen normalmente valores de pH en el intervalo de 4.0 a 9.0 y con respecto a la vida acuática el intervalo está comprendido entre 5.0 y 9.0 unidades. Nuestros resultados se encontraron en la escala ligeramente alcalinos. Sin embargo, los obtenidos en el mes de agosto fueron por arriba de este intervalo: 9.1 en el módulo II, 9.2 en el estanque de limpieza y maduración, y finalmente 9.3 en el canal, es decir fueron alcalinos como resultado de la temporada de lluvias tan intensa. El pH menor fue registrado en el mes de septiembre con 7.5 unidades.

De acuerdo con los resultados de pH, el humedal presentó una ligera tendencia hacia la alcalinidad, dependiendo de la temporada del año se acentúa (en épocas de lluvias). La capacidad amortiguadora ante la presencia de materiales ácidos, será favorable. Con respecto a la vida acuática, el agua producto del sistema de humedales se encontró dentro de estos límites permisibles.

Conductividad eléctrica

La conductividad está relacionada con la concentración de sustancias disueltas y con su naturaleza, además de variar en función de la temperatura (la conductividad aumenta 1.9 $\mu\text{S L}^{-1}$ por 100°C aproximadamente) y nos permite evaluar de una forma rápida la mineralización global del agua. Las sales son buenas conductoras y se debe considerar que la materia orgánica y coloidal tiene poca conductividad. Al medir la conductividad en aguas residuales que puedan ser vertidas en cuerpos de agua nos dan una idea sobre la composición de ésta (Rodier, 1990). La medición de la conductividad eléctrica es un indicador rápido de contaminación en cuerpos de agua.

Los valores encontrados en el humedal en el mes de marzo fueron de 6.0 a 8.0 $\mu\text{S L}^{-1}$. En abril de 6.0 a 9.0 $\mu\text{S L}^{-1}$. En mayo oscilaron entre los 7.0 y 8.0 $\mu\text{S L}^{-1}$. En junio se encontraron entre 7.0 y 9.0 $\mu\text{S L}^{-1}$. Durante agosto (temporada del huracán) los valores fueron de 5.0 a 7.0 $\mu\text{S L}^{-1}$. Para septiembre se obtuvo una conductividad de 7.0 a 10.0 $\mu\text{S L}^{-1}$ y en noviembre los valores fueron similares de 7.0 a 10.0 $\mu\text{S L}^{-1}$.

Este parámetro es importante evaluarlo para este tipo de humedales, ya que nos permitirá conocer las variaciones de composición que pueden sobrevenir debido a las infiltraciones de aguas superficiales de mineralizaciones diferentes y a menudo contaminadas, como es nuestro caso.

Jiménez (2002), menciona que la conductividad promedio del agua en México, es de 300 a 1000 $\mu\text{hos cm}^{-1}$; cada μS equivale a 10 $\mu\text{hos cm}^{-1}$, si nuestros valores fueran cambiados a



esta unidad, tendríamos que en el humedal el valor $10.0 \mu\text{S L}^{-1}$ correspondió al más elevado en el mes de septiembre en el estanque de maduración y en noviembre en el estanque de limpieza fue de $100.0 \mu\text{hos cm}^{-1}$; y la conductividad menor registrada en agosto en el módulo II ($5.0 \mu\text{S L}^{-1}$) correspondió a $50.0 \mu\text{hos cm}^{-1}$. Por lo tanto, de acuerdo al promedio de conductividad del agua en México, ninguno de estos valores lo rebasó, por el contrario son valores con poca conductividad.

De acuerdo a Rodier (1990) cuando una conductividad es $< 100 \mu\text{S cm}^{-1}$, la mineralización en el agua es muy débil, por lo que las aguas de los humedales se consideran con un estado de mineralización débil y aunado con los otros parámetros, podrían usarse con restricción para riego.

Coliformes totales y fecales

Los organismos coliformes no son en sí mismos perjudiciales, son importantes para la degradación de la materia orgánica; además de ser microorganismos indicadores ya que su presencia revela contaminación del agua con heces fecales y por lo tanto la posible existencia de patógenos teniendo en cuenta que la población de microorganismos patógenos en las aguas residuales es considerable y difícil de localizar

En el humedal los valores registrados para las coliformes totales en marzo fueron de 240 a $2400 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, de los cuales obtuvimos un valor de 3 a $2100 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ para las coliformes fecales. En el mes de abril y mayo se registró una concentración total de 310 a $2400 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, en abril 3 a $2100 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ de fecales y en mayo de 3 a $1800 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. Para junio las coliformes totales fueron de 290 a $2200 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ y las fecales de 3 a $2100 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. En agosto la concentración de coliformes totales fueron similar a los meses anteriores, de 280 a $2100 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, y las coliformes fecales de 3 a $1800 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. Durante septiembre los valores de las coliformes totales estuvieron entre 280 y $2400 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ y con un rango de coliformes fecales de 3 a $1980 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. En noviembre finalmente la concentración de las coliformes totales fueron de 280 a $2100 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ y para las fecales fueron de 3 a $1960 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$.

De acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1997, se establece que el LMP de las coliformes fecales es de $240 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, mientras que las coliformes totales es de $1000 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$. Por lo tanto los valores registrados en el sistema del humedal revelaron una alta contaminación del agua en el *Canal* con heces fecales y por consiguiente la existencia de patógenos; sin embargo, hubo una notable disminución para el Módulo I, II y Estanques encontrándose dentro de los límites establecido. Para las coliformes totales en el *Canal*, *Módulo I* y *II* los niveles registrados se encontraron por encima de los límites permisibles, reduciendo las concentraciones en los Estanques muy por debajo de los límites establecidos.

Es necesario retirar la cubierta tipo invernadero de los estanques piscícolas ya que favorece el incremento de temperatura y por lo tanto se incrementa el riesgo sanitario a través del aumento de coliformes.



Demanda química de oxígeno (DQO)

La diferencia de los resultados obtenidos para la DQO y la DBO₅ constituyen una indicación de la importancia de la materia contaminante poco o nada biodegradable (Rodier, 1991).

En el humedal los valores registrados en marzo fueron de 17.78 a 296.47 mg O₂ L⁻¹. Para abril de 17.74 a 295.79 mg O₂ L⁻¹. En el mes de mayo osciló entre 23.73 a 338.68 mg O₂ L⁻¹. En junio los valores se encontraron en un intervalo de 9.76 a 195.31 mg O₂ L⁻¹. En agosto estuvieron entre 12.93 a 193.75 mg O₂ L⁻¹. En septiembre fueron de 14.84 a 296.87 mg O₂ L⁻¹ y finalmente en noviembre se registró entre 6.87 a 171.87 mg O₂ L⁻¹.

De acuerdo a Metcalf y Eddy (1991), consideran que 250 mg O₂ L⁻¹ es una concentración débil; que 500 mg O₂ L⁻¹ es una concentración media y que 1000 mg O₂ L⁻¹ es una concentración fuerte.

Los niveles registrados de DQO en el humedal entraban con valores elevados al canal considerandos concentraciones medias y salen con menor concentración (débil) del sistema; sin embargo, todos ellos se encuentran alrededor de los 250 mg O₂ L⁻¹, indicando una concentración débil.

Los valores de DQO se incrementaron especialmente en la entrada del humedal (en el canal) llegando a los 338.68 mg O₂ L⁻¹ en el mes de mayo, propiciando una concentración de los desechos tanto inorgánicos como orgánicos. Los valores cercanos a los 250 mg O₂ L⁻¹ son valores característicos para sistemas afectados por descargas domésticas.

Fósforo total

Los fosfatos forman parte de los aniones fácilmente fijados por el suelo, habitualmente su contenido no sobrepasa 1 mg L⁻¹. La mayoría de las aguas que contienen fosfatos se encuentran asociados a los fluoruros (Rodier, 1990).

En el sistema los valores registrados en marzo fueron de 0.0732 a 0.1201 mg L⁻¹. En abril de 0.0168 a 0.056 mg L⁻¹. En mayo de 0.0605 a 0.0763 mg L⁻¹. En junio el intervalo fue de 0.0674 a 0.0863 mg L⁻¹. En agosto estuvo entre 0.0654 a 0.1339 mg L⁻¹. En septiembre osciló entre 0.0416 a 0.0863 mg L⁻¹ y en noviembre fue de 0.03253 a 0.04365 mg L⁻¹.

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 el LMP para fósforo total es de 20 mg L⁻¹ para el canal y los módulos, y 5 mg L⁻¹ para los estanques. Sin embargo, Metcalf y Eddy (1991), señalan una concentración de 4 mg L⁻¹ como una concentración débil; 8 mg L⁻¹ como una concentración media y 15 mg L⁻¹ como concentración fuerte. Por lo que las concentraciones de fósforo en el sistema presentaron una concentración débil, con un intervalo máximo de 0.1339 mg L⁻¹ en el mes de septiembre en el canal y el mínimo de 0.0168 en abril en el módulo II.

El fósforo es un nutriente que se requiere para el crecimiento del protoplasma viviente que contiene más o menos 2% de fósforo en peso, base seca. El fósforo puede ser el elemento limitante en el crecimiento de las plantas acuáticas fotosintéticas, dada su escasa concentración. Los organismos utilizan fosfato como nutrientes en el tratamiento de aguas residuales por procesos biológicos (Snoeyink, 1996).



La presencia de un exceso de ión fosfato en aguas naturales tiene un efecto devastador en la ecología acuática debido a la hiperfertilización de la vida vegetal, una de las fuentes mayores de fosfato como contaminante son los detergentes y los fertilizantes agrícolas (Baird, 2001).

El fósforo en el agua no se considera tóxico para los humanos y los animales, sin embargo, puede tener efectos indirectos a través de la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, que implica el crecimiento explosivo de algas y el posterior abatimiento de oxígeno debido a la descomposición de éstas cuando mueren (Carpenter et al., 1998).

Sustancias activas al azul de metileno

El término detergente designa todas las sustancias que poseen las propiedades de limpieza, son productos complejos que contienen uno o varios agentes activos de superficie y compuestos minerales (carbonatos, fosfatos, polifosfatos y perboratos), frecuentemente asociados a los materiales orgánicos mejorantes (carboximetil-celulosa, alkanolamidas), a las enzimas hidroxilantes y a los secuestrantes (derivados del ácido etilendiamino-tetracético y del ácido nitrilo acético).

En el sistema los valores encontrados para agosto fueron de 0.0236 a 0.0665 mg L⁻¹. En septiembre de 0.0038 a 0.0152 mg L⁻¹. Durante noviembre se encontraron entre 0.0038 a 0.0114 mg L⁻¹. De acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997, los criterios ecológicos del agua, indicaron que el LMP para las SAAM es de 0.1 mg L⁻¹, comparado con los resultados obtenidos en los tres meses de monitoreo, el humedal presentó valores dentro de los límites establecidos, siendo 0.0664 mg L⁻¹ la mayor concentración reportada en el mes de septiembre en el módulo I.

Las SAAM incorporadas a las corrientes de los humedales son aportadas principalmente por las descargas de agua residual doméstica, fue importante evaluar este parámetro ya que las grasas en presencia de sales alcalinas forman glicerinas y ácidos grasos que al reaccionar con los álcalis forman los jabones; estas sustancias contribuyen al problema de la formación de espumas mismas que impiden el contacto aire agua y por lo tanto no hay una buena oxigenación, en consecuencia facilita la disolución de sustancias que anteriormente no eran tan solubles, de esta forma se aumenta la sensibilidad de un cuerpo receptor a ser contaminado. Sin embargo, en el humedal no hay presencia de espumas en sus aguas y las concentraciones de SAAM no rebasaron los LMP establecidos; por tanto, se considera con concentraciones mínimas y sin problemas de contaminación por detergentes.

Sólidos

En un concepto general los sólidos se definen como la materia que permanece como residuo después de evaporar a temperatura 105 °C una muestra; el término sólidos en todas sus formas involucra 10 determinaciones que presenta un análisis completo del contenido de residuos en una muestra de agua. Los sólidos indican el grado de turbidez del agua. Los sólidos se dividen de acuerdo a su densidad y características con el medio receptor.



En mayo los sólidos totales fueron de 890 a 1282 mg L⁻¹. En junio las concentraciones estuvieron entre 870 y 1393 mg L⁻¹. Para agosto de 980 y 1538 mg L⁻¹. En septiembre la concentración osciló entre 880 a 1268 mg L⁻¹. En noviembre finalmente entre 923 y 1168 mg L⁻¹.

Los sólidos volátiles son aquellas partículas visibles entre la superficie y el fondo, pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o sedimentación.

Los sólidos volátiles oscilaron entre 106 a 154 mg L⁻¹. En junio de 160 a 260 mg L⁻¹. Para agosto de 178 a 134 mg L⁻¹. En septiembre el valor estuvo entre 108 a 164 mg L⁻¹. En noviembre de 96 a 185 mg L⁻¹.

Los sólidos fijos totales son la porción de los sólidos totales retenidos en un filtro con tamaño de poro específico, los cuales debido a su densidad pasan la mayor parte del tiempo fijo al sustrato.

Partículas como arcilla, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas).

En mayo los sólidos fijos estuvieron en un rango de 784 a 1166 mg L⁻¹. En junio osciló entre 710 y 1133 mg L⁻¹. En agosto de 798 y 1360 mg L⁻¹. En septiembre entre 676 a 1104 mg L⁻¹. Finalmente en noviembre de 827 a 983 mg L⁻¹.

Con respecto a los sólidos totales la Norma Oficial Mexicana aplicable en aguas residuales se encuentra únicamente la contenida en el Reglamento para la Prevención y Control de la contaminación del agua, en donde se marca un máximo de 1000 mg L⁻¹ de sólidos disueltos en cuerpos receptores cuya agua tenga uso recreativo, conservación de flora, fauna y uso industrial¹.

Los valores reportados para sólidos se encuentran por encima de los LMP, principalmente en el mes de agosto cuando se presentó un huracán y se tuvo la necesidad de cerrar el flujo del humedal; en sus diferentes formas son consecuencia del tipo de descarga, temporada de muestreo y tipo de cuerpo receptor. Los sitios con valores altos se caracterizaron principalmente por ser cuerpos receptores lentos, época de estiaje, presencia de materia suspendida procedente del arrastre de arcillas, producto de la erosión y finalmente pequeños flujos de agua residual.

Nitrógeno

Es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y organismos, aunque en exceso puede ser no deseable, conduciendo a menudo a la eutrofización (aguas enriquecidas de nutrientes). Los niveles altos de nitrógeno en agua indican fuentes de contaminación, o de impacto por cambios tróficos del ecosistema. El nitrógeno es uno de los componentes

¹ FES-Zaragoza. Elaboración del manual para la evaluación de la calidad de las aguas residuales domésticas, industriales y potables. UNAM.



básicos de las proteínas, en el agua lo usan los productores primarios en la formación de células. En el ciclo del nitrógeno se alternan las formas inorgánica y orgánica, las de interés son: NO_2^- , NH_3 , y NO_3^- . Las plantas tienen la capacidad para fijarlo y convertirlo a nitratos, mientras que los animales no pueden utilizar el nitrógeno inorgánico.

La determinación de nitrógeno se realizó en forma de N-Amoniacal, N-Orgánico, Nitratos y Nitritos; pudimos observar los rangos de oscilación que se muestra a continuación, indicando que la presencia de materia orgánica es común, mezclada con escorrentías que provenían del ganado y de zonas de cultivo con uso de fertilizantes, de acuerdo a los resultados obtenidos podemos decir que el proceso de transformación de la materia orgánica es relativamente bueno; sin embargo, una cantidad importante no alcanza a formar parte del nitrógeno en forma gaseosa.

El nitrógeno orgánico en el mes de agosto se encontraba entre 0.28 y 0.84 mg L^{-1} . Para septiembre de 0.56 a 1.12 mg L^{-1} . En noviembre osciló entre 0.28 a 1.4 mg L^{-1} .

Para el mes de agosto el nitrógeno amoniacal oscilaba de 0.28 a 1.4 mg L^{-1} . En septiembre de 0.84 a 1.4 mg L^{-1} y finalmente en noviembre de 0.84 a 5.04 mg L^{-1} .

De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 el LMP para el nitrógeno total fue de 40 mg L^{-1} aplicable al canal y a los módulos, y de 15 mg L^{-1} para los estanques. En base a nuestros resultados ninguno rebasa los límites permisibles, ya que la suma del nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos se conoce como nitrógeno total, por lo que decimos que los compuestos de nitrógeno presentes en el humedal son nutrientes esenciales, que no presentan ningún riesgo de eutrofización o riesgo potencial de contaminación por nitrógeno.

Nitratos

El nitrato puede originarse también de la oxidación del amonio (NH_4^+) y de otras fuentes presentes en los restos orgánicos (Stournaras, 1998; OMS, 2004). Su presencia en los cuerpos de agua superficiales se asocia tanto con fuentes no puntuales de contaminación (e.g., los campos de cultivo) como con fuentes puntuales (e.g., la descarga directa de aguas residuales municipales en los afluentes o los tiraderos de basura). Los compuestos que le dan origen pueden llegar a los cuerpos de agua por escurrimiento superficial o también depositarse por vía atmosférica en una cantidad significativa (Swackhamer, 2004).

El indicador de nitrato en aguas superficiales describe el estado de contaminación de los cuerpos de agua superficiales con respecto a este compuesto.

Los nitratos pueden provenir en particular de las colectividades y ocasionalmente de las aguas residuales de ciertas industrias, de las ganaderías. Las aguas de lluvia pueden contener nitratos provenientes del óxido de nitrógeno y del amoníaco presentes en la atmósfera (Rodier, 1990).

Su origen principal es a partir de escorrentías, río y cursos de agua de las tierras agrícolas (residuos oxidados de animales). La facilidad de oxidación del nitrógeno reducido a nitrato en materia orgánica descompuesta en el suelo, por medio de aireación y humedad. Un exceso de ión nitrato en el agua de consumo es peligroso para la salud, puede dar lugar a metahemoglobinemia en niños, así como en adultos una deficiencia enzimática. El agua subterránea no contaminada tiene generalmente niveles de nitrato de 2 mg L^{-1} (Colin, 2001).



En el humedal los valores registrados para agosto fueron de 0.1987 a 0.2404 mg L⁻¹. En septiembre oscilaron entre 0.2667 y 0.3187 mg L⁻¹ y en noviembre estuvieron de 0.3051 a 0.3596 mg L⁻¹. Por lo que se considera un parámetro con concentraciones adecuadas y sin ningún tipo de riesgo o peligro para la fauna.

Nitritos

Siendo un paso en el ciclo del nitrógeno, el nitrito se presenta en las aguas como un producto intermedio en los procesos de oxidación o reducción. Los nitritos son compuestos nitrógenados fáciles de hidrosolubilizar, forma parte del ciclo de nitrógeno. En concentraciones elevadas producen problema de contaminación, provocando efectos adversos a la salud, como cáncer de colon, gástrico, vasodilatación, metahemoglobinemia, taticardia, entre otras.

En agosto los nitritos se encontraron entre 0.00371 y 0.00824 mg L⁻¹. Para septiembre de 0.00472 a 0.00769 mg L⁻¹. En noviembre oscilaron entre 0.00262 y 0.00765 mg L⁻¹. Siendo concentraciones aptas para la flora y fauna que de dependa de este afluente.





9. CONCLUSIONES

El canal que abastece al humedal presentó contaminación por coliformes totales y fecales en todos los meses que se realizó el monitoreo (marzo, abril, mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre), lo que implica riesgo sanitario si se usa el agua residual sin tratamiento previo.

Los sólidos totales en los meses (mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre) presentaron valores por arriba de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

El módulo I rebasó en todos los meses monitoreados los límites máximos permisibles para coliformes totales, no así para coliformes fecales, se registraron valores aceptables. El número más probable de coliformes totales y fecales registró una baja considerable respecto al encontrado en el canal. Se observa una buena remoción de materia orgánica.

Los sólidos totales registraron valores que rebasan los límites máximos permisibles. Es necesario disminuir el flujo de ingreso al sistema, para que el tiempo de retención sea mayor y se favorezca la remoción adecuada de la materia orgánica.

En el módulo II en todos los meses se registraron niveles altos de coliformes totales por encima de los límites establecidos.

En el estanque de limpieza en los meses de abril, mayo, junio y agosto se rebasó el número más probable de coliformes totales, establecido en la norma oficial mexicana. Se observó que a partir de la instalación de un sistema tipo invernadero en los estanques, las condiciones de temperatura, pH y fósforo total sufrieron un incremento en los valores registrados mensualmente.

En el estanque de maduración se observó un comportamiento similar al estanque de limpieza.

El resto de los parámetros conductividad eléctrica, DQO, SAMM, nitrógeno total, cumplen satisfactoriamente los requerimientos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Los resultados anteriores permiten concluir que el sistema está maduro, pero es necesario disminuir el flujo del agua residual que entra al sistema, para incrementar el tiempo de retención y la eficiencia de remoción.

El humedal de flujo subsuperficial tiene un buen funcionamiento ya que responde a los requerimientos bacteriológicos, químicos y físicos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997; e índice establecido de acuerdo a Metcalf y Eddy (1991)

La calidad del agua varió en el tiempo a causa de factores naturales, como los cambios estacionales, en la frecuencia e intensidad de las lluvias, tal fue el caso del huracán que afectó en el mes de agosto, reflejándose en parámetros elevados y discontinuos.

Dado que el agua del humedal proviene de descargas de aguas residuales, contiene una considerable carga de contaminantes; por lo que a través de su paso por los diferentes módulos del humedal de flujo subsuperficial, se ha logrado una mejoría en la remoción de contaminantes sin usar agentes químicos, y como consecuencia una mejor calidad en el



agua, apropiada para el uso piscícola y cultivo de plantas ornamentales.

El éxito del humedal de flujo subsuperficial radica en el diseño, flujo de entrada, tiempo de retención, tipo de sustrato y microorganismos asociados al rizoma. El manejo adecuado de este tipo de sistemas otorga beneficios adicionales a las comunidades, además de mejorar la calidad del agua es posible transformarlos en sistemas productivos como es uso piscícola y florícola.





10. BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, MAM, WPCF, (1992). "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales), 18ª Edición. E.U.A.
2. Comisión Nacional del Agua (CNA). 2005. "Ley de Aguas Nacionales". Poder Ejecutivo Federal. México D.F.
3. Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. "Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo". Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. México D.F.
4. Consejo Estatal de Ecología (COEDE). 2000. "Taller de Gestión y Vinculación Municipal 2000". Gobierno del Estado de Hidalgo.
5. Diario Oficial de la Federación (DOF). 1998. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-179-SSA1-1998, Vigilancia y Evaluación del Control de Calidad del Agua para Uso y Consumo Humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. México D.F
6. Diario Oficial de la Federación. 1996. NORMA Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. 6 de Enero de 1997 Secretaría de Desarrollo Social. México, D.F.
7. Diario Oficial de la Federación. 1997. NORMA Oficial Mexicana. NOM-002-SEMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. 3 de Junio de 1998 Secretaria de Desarrollo Social. México, D.F.
8. Diario Oficial de la Federación. 1997. NORMA Oficial Mexicana. NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO. 21 de Septiembre de 1998 Secretaria de Desarrollo Social. México, D.F.
9. Diario Oficial de la Federación. 2000. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-008-SCFI-2000 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DEL pH - MÉTODO DE PRUEBA. 18 de Diciembre de 2000 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
10. Diario Oficial de la Federación. 2000. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-004-SCFI-2000 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 18 de Diciembre de 2000 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
11. Diario Oficial de la Federación. 2000. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-007-SCFI-2000 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 18 de Diciembre de 2000 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
12. Diario Oficial de la Federación. 2000. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-093-SCFI-2000 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA - MÉTODO DE PRUEBA. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
13. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-012-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 17 de Abril de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
14. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-026-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-026-1980). 17 de Abril de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
15. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-028-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 17 de Abril de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.



16. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-029-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 17 de Abril de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
17. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-030-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-030-1981). 17 de Abril de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
18. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. 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. 1 de Agosto de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
19. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-044-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 1 de Agosto de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
20. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-051-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE METALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 13 de Agosto de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
21. Diario Oficial de la Federación. 2001. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-079-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE NITRATOS EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. 13 de Agosto de 2001 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
22. Diario Oficial de la Federación. 2005. NORMA Oficial Mexicana. NOM-AA-042-SCFI-2005 CALIDAD DEL AGUA.-DETERMINACION DEL NUMERO MAS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES) Y Escherichia coli PRESUNTIVA. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
23. Diario Oficial de la Federación. 2006. NORMA Oficial Mexicana NOM-AA-099-SCFI-2006 ANÁLISIS DE AGUA – DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO DE NITRITOS EN AGUAS NATURALES Y RESIDUALES – MÉTODOS DE PRUEBA. 18 de Diciembre de 2000 Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México, D.F.
24. Dirección General de Planeación, “Cuaderno de Información Básica Ixmiquilpan”. Edición 2000. Estado de Hidalgo. México.
25. Elida Nodal B., 2001. “Procesos Biológicos Aplicados Al Tratamiento de Agua Residual”. Ingeniería Hidráulica Ambiental. Vol. 12, N° 4, pp. 52-56.
26. García J., Ruiz A. y Junqueras X. 1997. “Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidos”. Tecnología del Agua, 165: 58-6
27. Gleick P. H. 1998. “Water in Crisis: Paths to sustainable water use”. Ecological Applications. 8(3): 571-579.
28. Hernández G.M.G. y Rivera B.E. 1996. “Evaluación de la Calidad del Agua del Río la Compañía”. Tesis de Titulación de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. México D. F.
29. Hernández Muñoz, Aurelio. 1992. “Depuración de Aguas Residuales”. Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.
30. Instituto Hidalguense de la Cultura (IHC). 1993. “Monografía del Estado de Hidalgo”. Tomo I. que 2da. Edición. México.
31. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. “Anuario Estadístico Hidalgo”. Edición 2000. México.
32. Jackson R. B. Carpenter S. R., Dahm C.N., McKnight D. M., Naiman R. J., Postel S. L. y Running S. W., 2001. “Water in a Changing World”. Issues in Ecology. No. 9.
33. Jiménez J.R. 2002. “Agua de Mayor Calidad”. Rev. Agua Potable. México. 51:4, 34-41



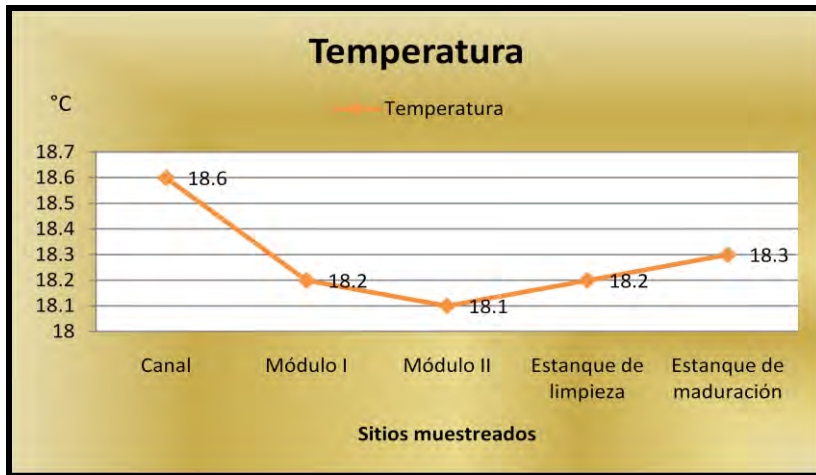
34. Mazari-Hiriart M. 2005. "El agua como recurso". En: Mazari-Hiriart M., Jiménez C. B. y López Vidal. Y: El Agua y su impacto en la Salud Pública. Programa Agua, Medio Ambiente y Sociedad. El Colegio de México. UNAM. México.
35. Metcalf y Eddy, Inc. 1996. "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización". Editorial Mc Graw Hill. Tomo 1. México D. F.
36. Meybeck M. y Helmer R., 1996. *Introducción a la calidad del agua*. En: Water Quality Assessments A Guide to Used of Biota. Sediments and Water in Environmental Monitoring. 2a Ed. UNESCO/WHO/UNEP: 21.
37. National Resources Conservation Service, (2002). Chapter 3, Constructed Wetlands. Environmental Engineering. National Engineering Handbook.
38. Novonty V. y Harvey O., 1994. *Water quality prevention, indentification and management of diffuse pollution*. Ed. Van Nonstrand Reinhold. New York.
39. OCDE, 2003, *Environmental Performance Reviews, WATER*. Performance and Challenges in OCDE Countries. Francia.
40. Ramalho R. S., 1996. *Tratamientos de Aguas Residuales*. Ed. Reverté S.A. Madrid, España.
41. Revenga C., Brunner J., Henninger N., Kassem K., y Payn R., 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems*. World Resources Institute. Washington D.C.
42. Semarnat, 2003. *Acuerdo que establece las Reglas de Operación para el otorgamiento de pagos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos*. Editado el 3 de octubre de 2003. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, DOF. México.
43. Seóanez C. M., 1999. *Aguas residuales, tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos, tecnología y diseño*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
44. Tebbutt T.H.Y., 2002. *Fundamentos de Control de la Calidad del Agua*. Ed. Limusa. México. Pp.-19-27, 36, 63, 73, 76, 84.

CIBEROGRAFÍA

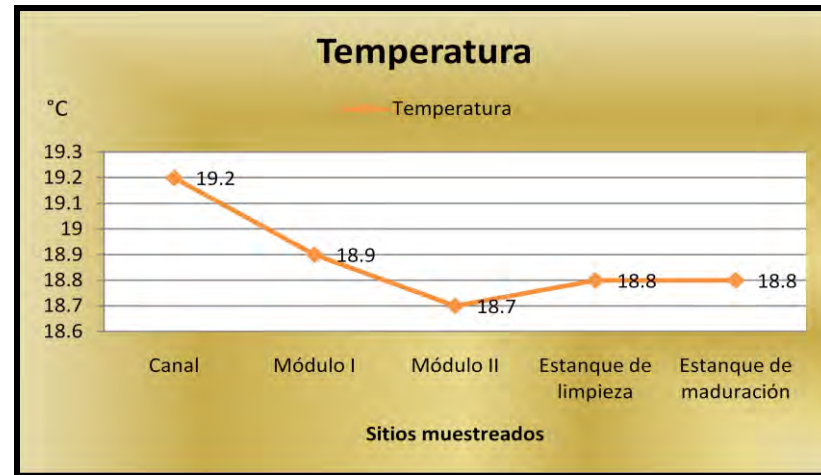
1. Swackhamer D.L., Paerl H. W., Eisenreich S. J., Hurley J., Hornbuckle K. C., McLachlan M., Mount D., Muir D. y Schindler D., 2004. *Impacts of Atmospheric Pollution on Aquatic Ecosystems*. Issues in Ecology 12: 1-24. Disponible en: <http://www.esa.org/science/issues>. (2008-06-11)
2. WRI, 2000. *Water: Critical shortages ahead? En WRI, UNEP, UNDP, and WB*. World Resources 2000: Environmental change and human health, 1999, p.188-193. Disponible en: http://pubs.wri.org/pubs_content_text.cfm?ContentID=1030. (2008-06-11)

ANEXOS

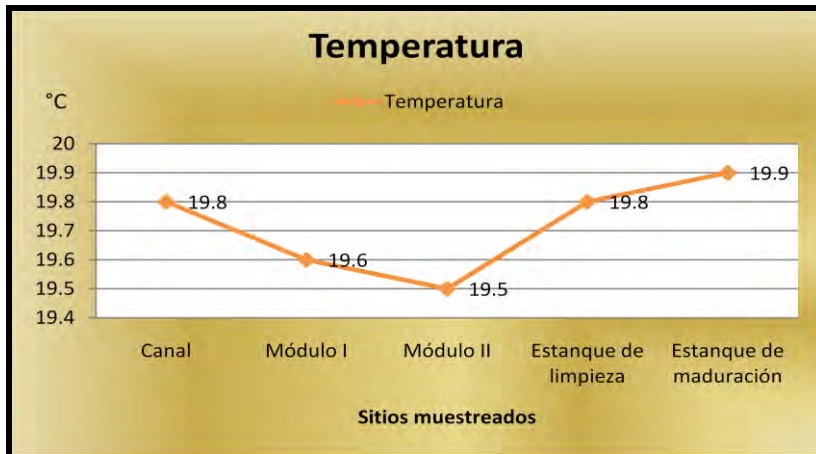
GRÁFICAS DE TEMPERATURA



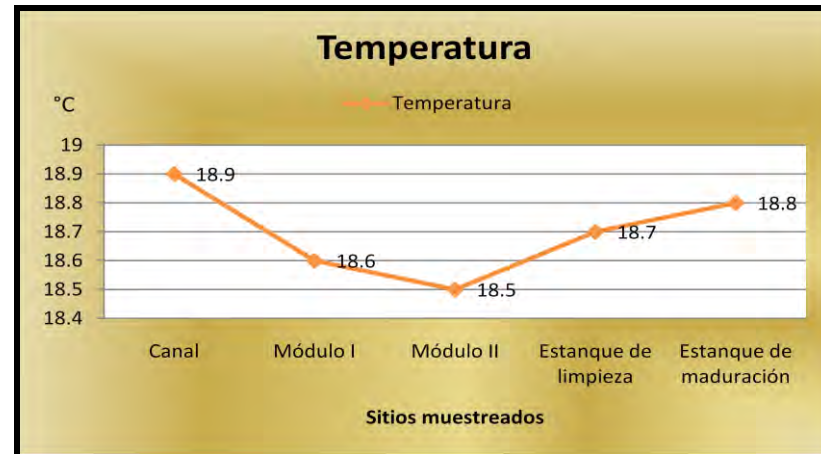
Gráfica 1.1. Monitoreo de Temperatura del mes de Marzo del 2007.



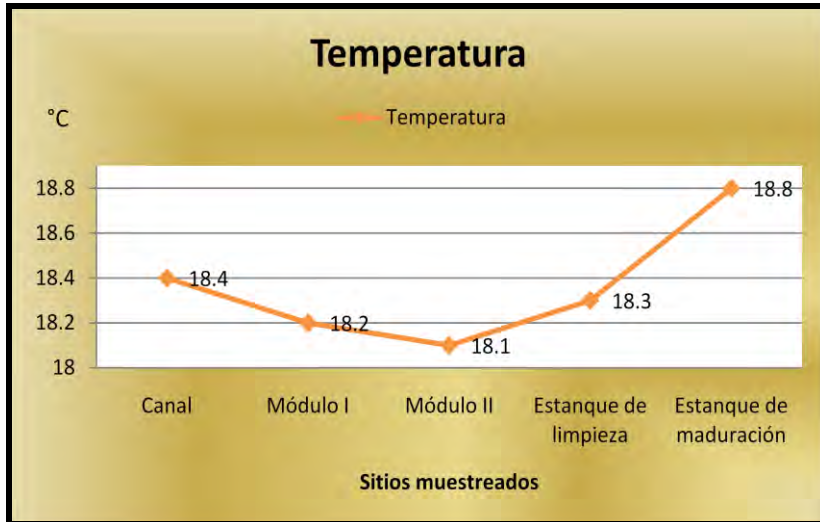
Gráfica 1.2. Monitoreo de Temperatura del mes de Abril del 2007.



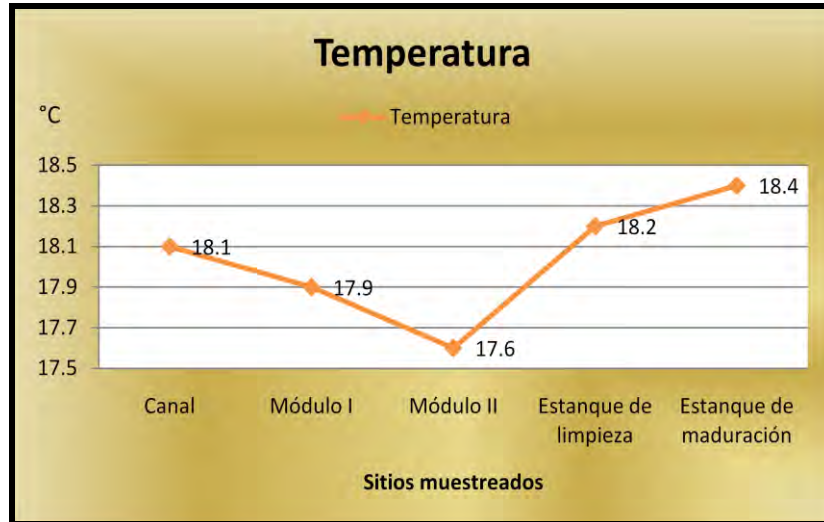
Gráfica 1.3. Monitoreo de Temperatura del mes de Mayo del 2007.



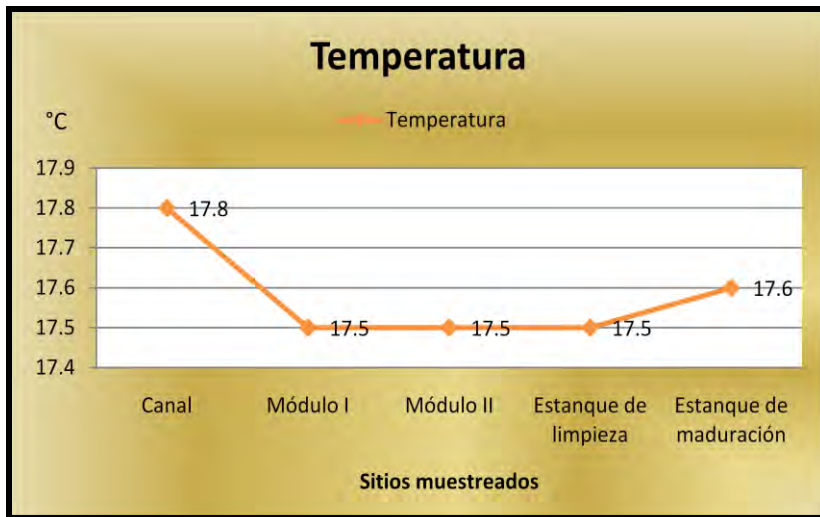
Gráfica 1.4. Monitoreo de Temperatura del mes de Junio del 2007.



Gráfica 1.5. Monitoreo de Temperatura del mes de Agosto del 2007.

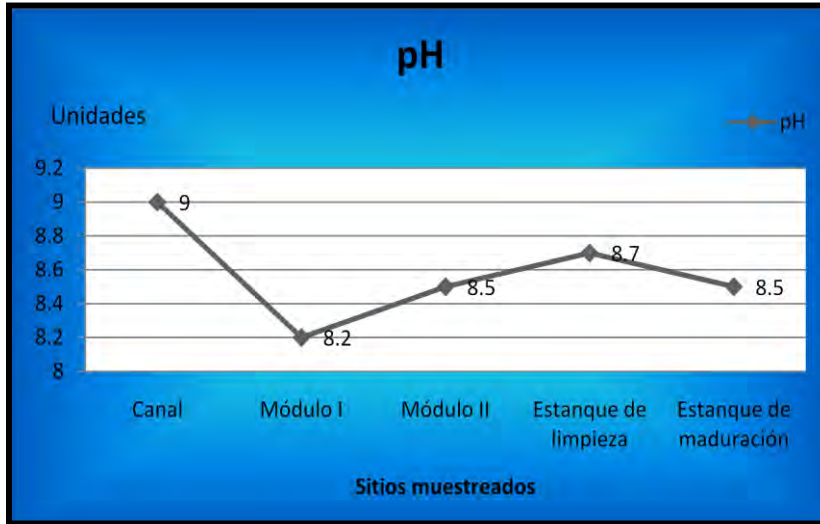


Gráfica 1.6. Monitoreo de Temperatura del mes de Septiembre del 2007.

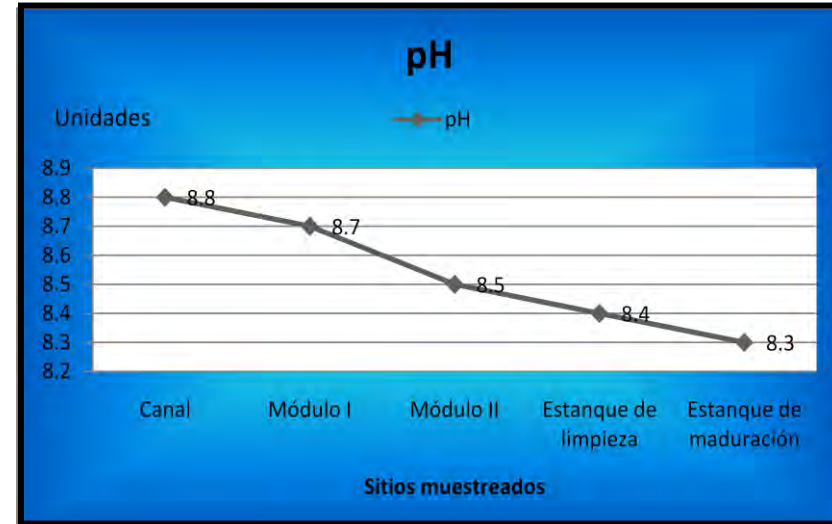


Gráfica 1.7. Monitoreo de Temperatura del mes de Noviembre del 2007.

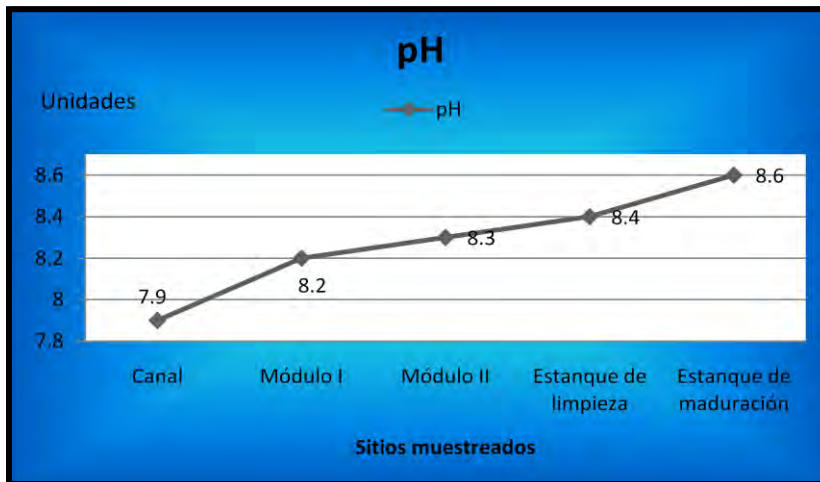
pH



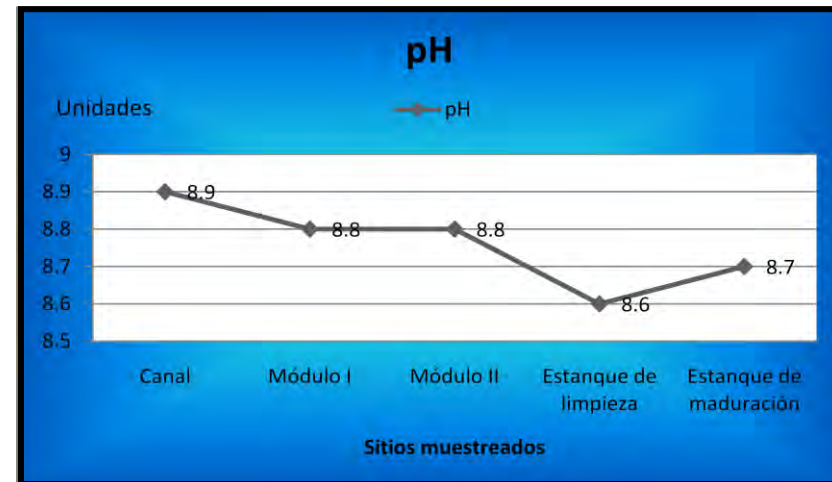
Gráfica 2.1. Monitoreo de pH del mes de Marzo del 2007.



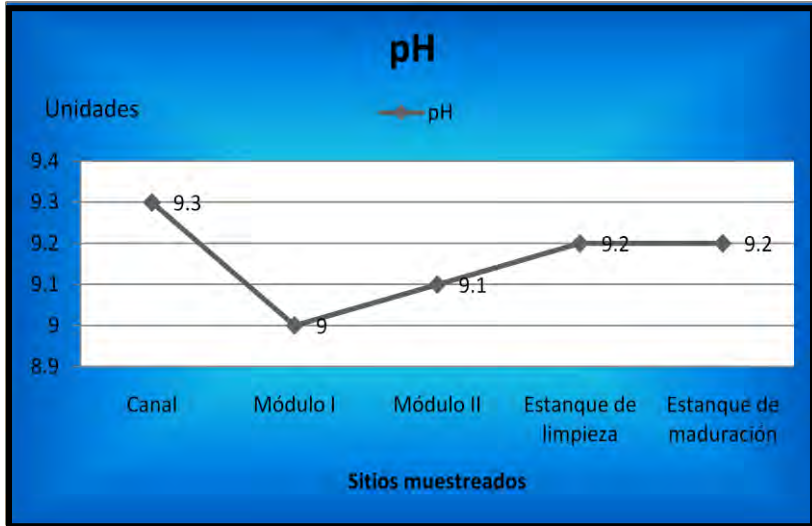
Gráfica 2.1. Monitoreo de pH del mes de Abril del 2007.



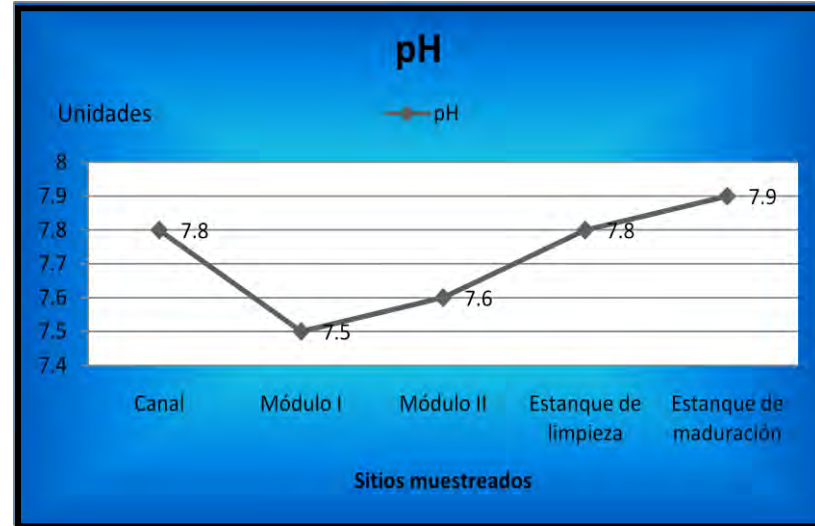
Gráfica 2.3 Monitoreo de pH del mes de Mayo del 2007.



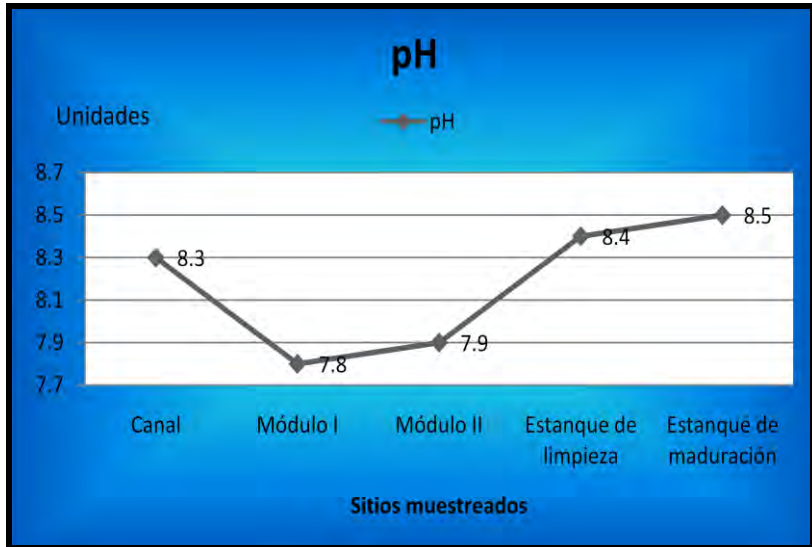
Gráfica 2.4 Monitoreo de pH del mes de Junio del 2007.



Gráfica 2.6 Monitoreo de pH del mes de Agosto del 2007.

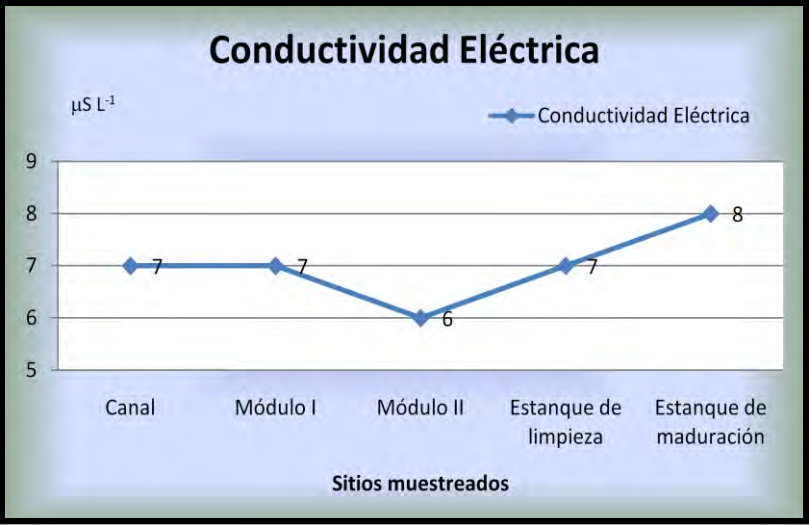


Gráfica 2.6 Monitoreo de pH del mes de Septiembre del 2007.

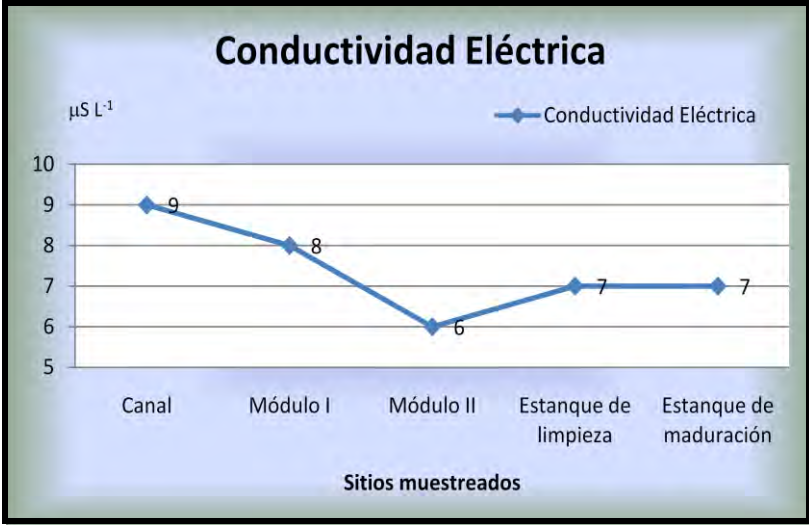


Gráfica 2.7 Monitoreo de pH del mes de Noviembre del 2007.

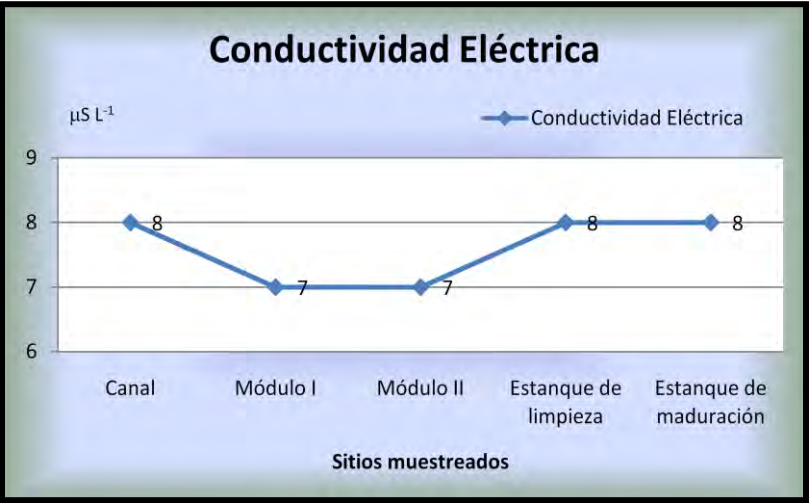
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



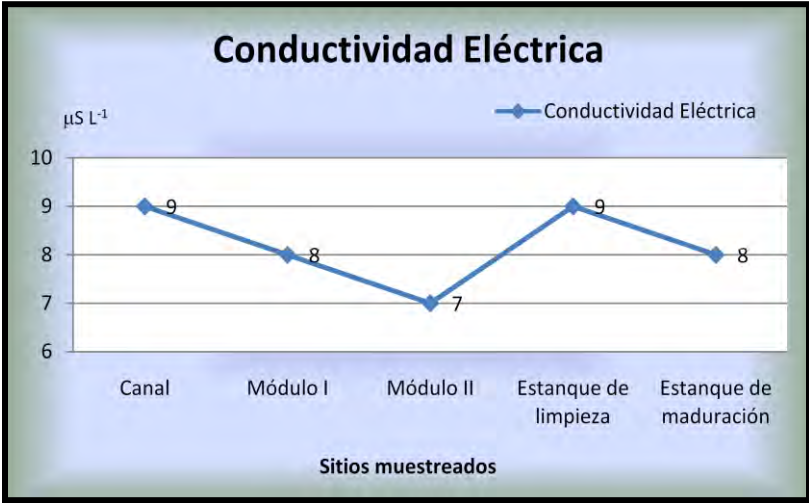
Gráfica 3.1 Monitoreo de C.E. del mes de Marzo del 2007.



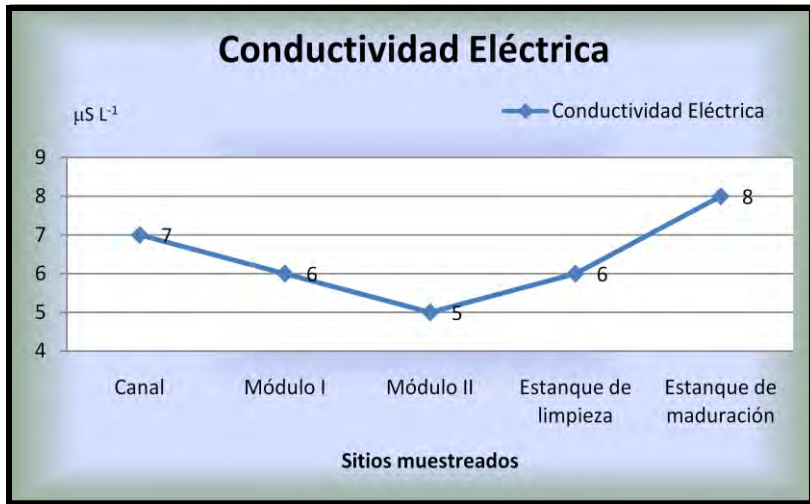
Gráfica 3.2 Monitoreo de C.E. del mes de Abril del 2007.



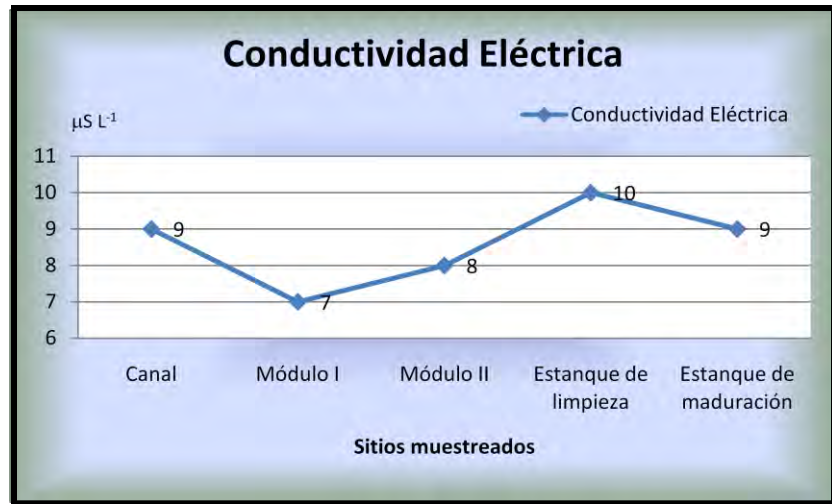
Gráfica 3.3 Monitoreo de C.E. del mes de Mayo del 2007.



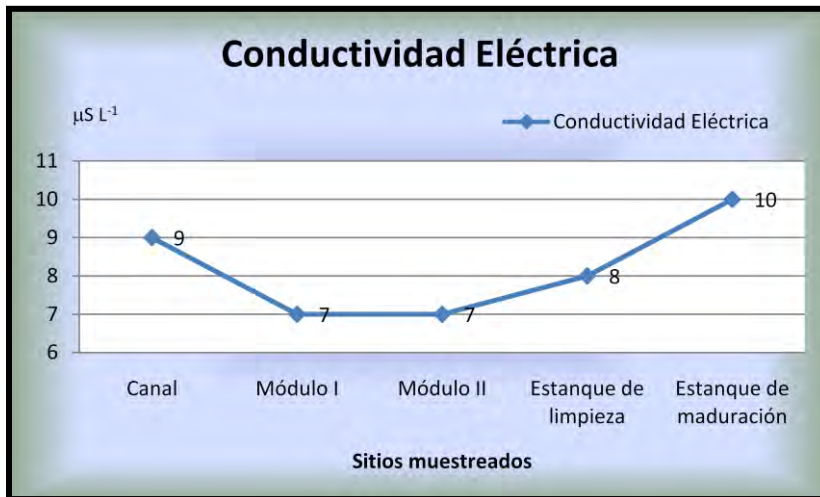
Gráfica 3.4 Monitoreo de C.E. del mes de Junio del 2007.



Gráfica 3.5 Monitoreo de C.E. del mes de Agosto del 2007.

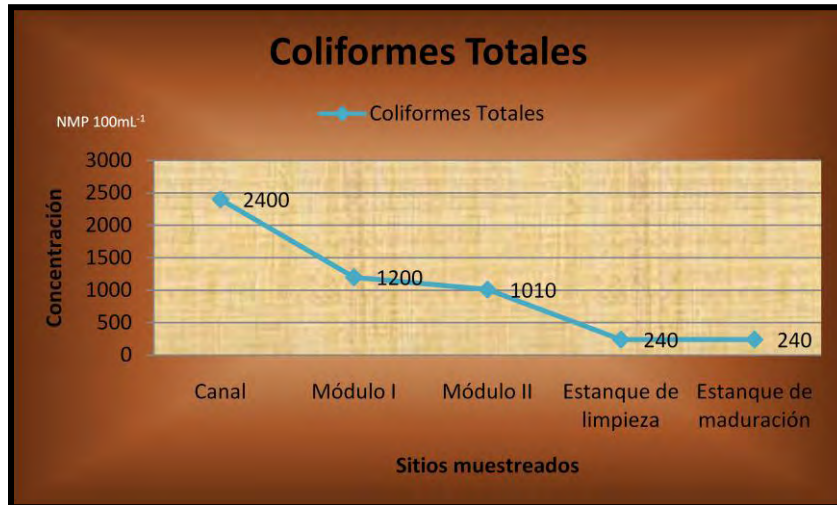


Gráfica 3.6 Monitoreo de C.E. del mes de Septiembre del 2007.

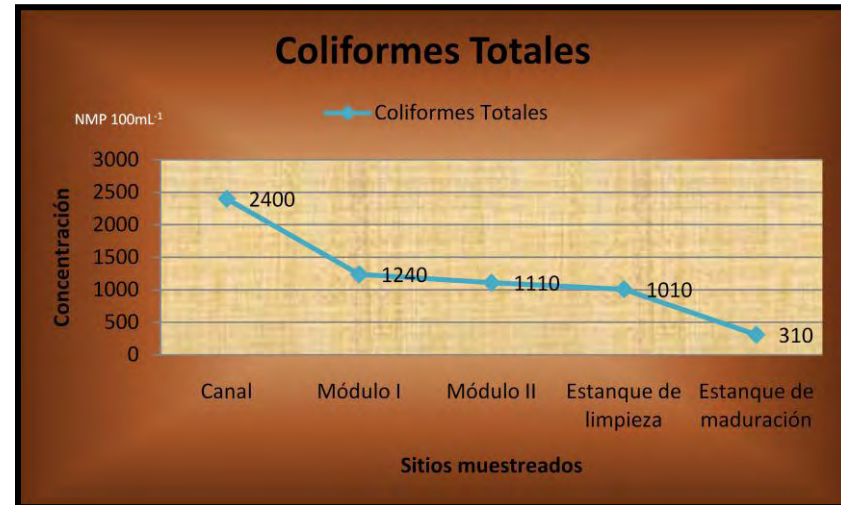


Gráfica 3.7 Monitoreo de C.E. del mes de Noviembre del 2007.

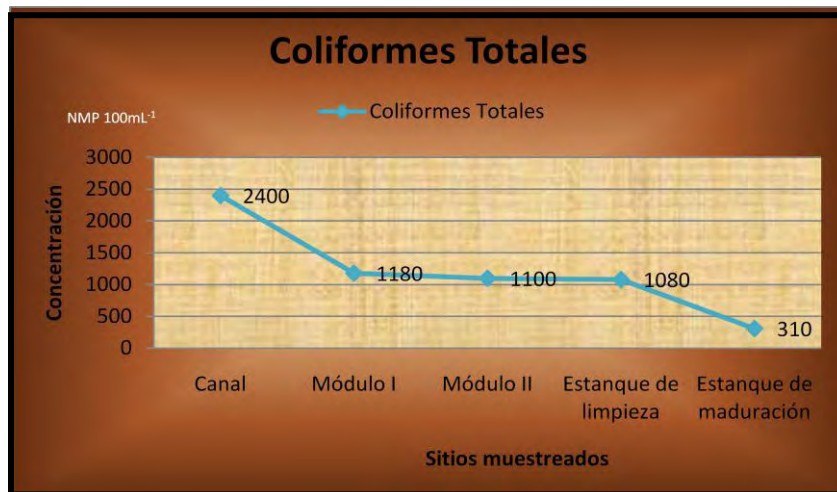
COLIFORMES TOTALES



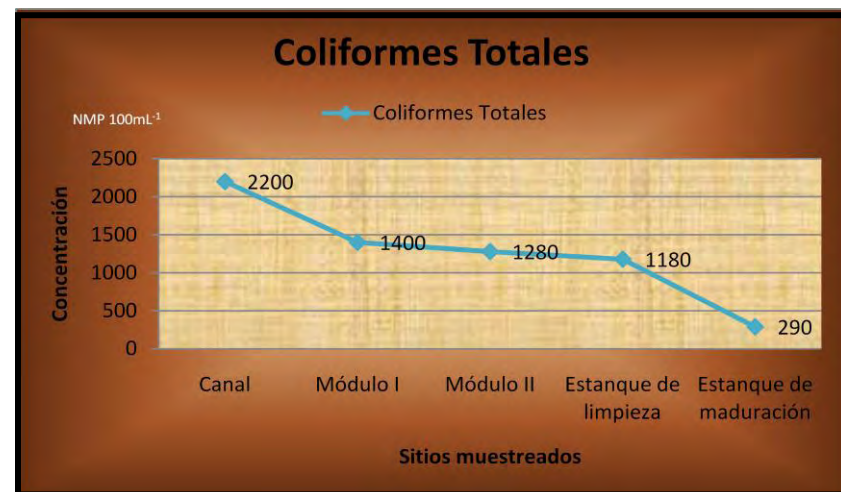
Gráfica 4.1 NMP de Coliformes F Totales del mes de Marzo del 2007.



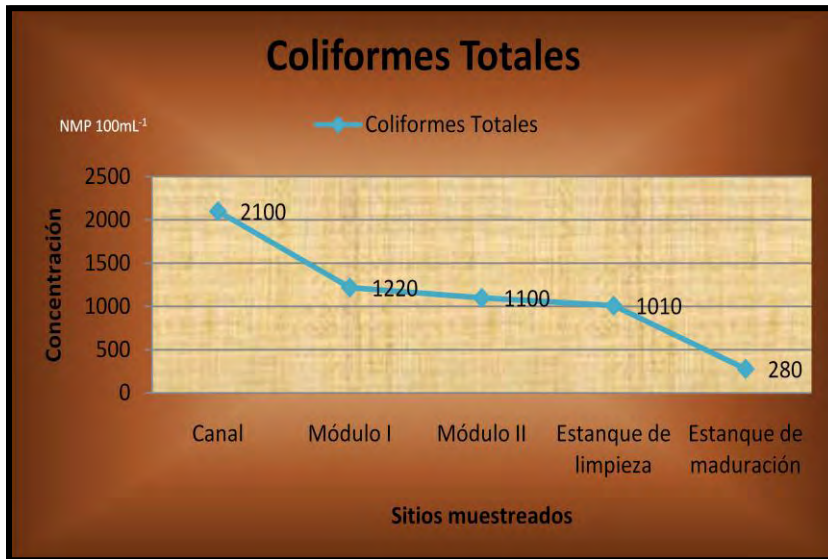
Gráfica 4.2 NMP de Coliformes Totales del mes de Abril del 2007.



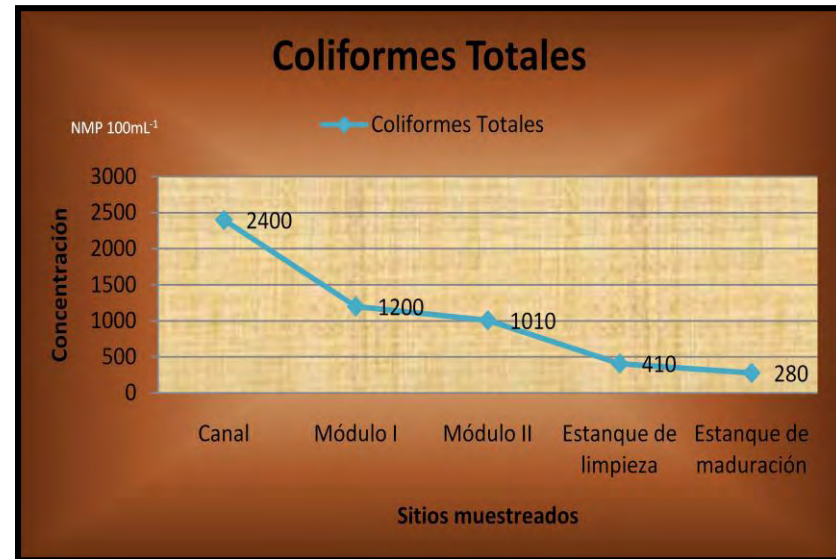
Gráfica 4.3 NMP de Coliformes Totales del mes de Mayo del 2007.



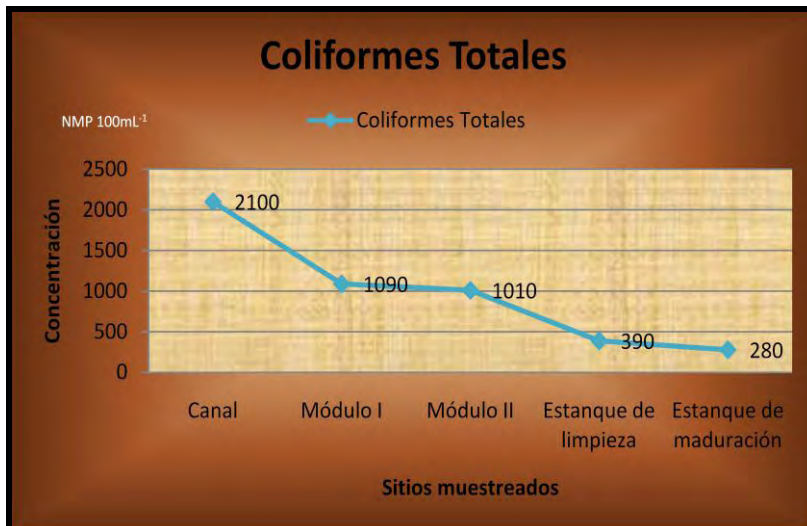
Gráfica 4.4 NMP de Coliformes Totales del mes de Junio del 2007.



Gráfica 4.5 NMP de Coliformes Totales del mes de Agosto del 2007.



Gráfica 4.6 NMP de Coliformes Totales del mes de Septiembre del 2007.

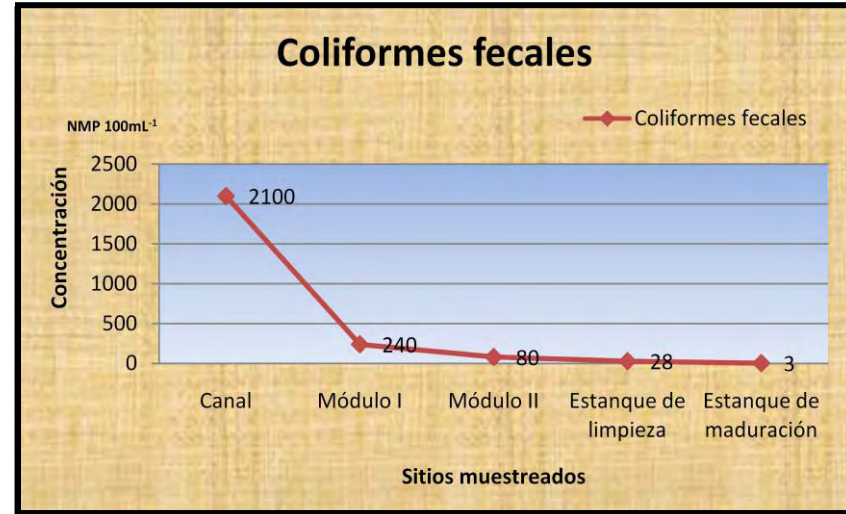


Gráfica 4.7 NMP de Coliformes Totales del mes de Noviembre del 2007.

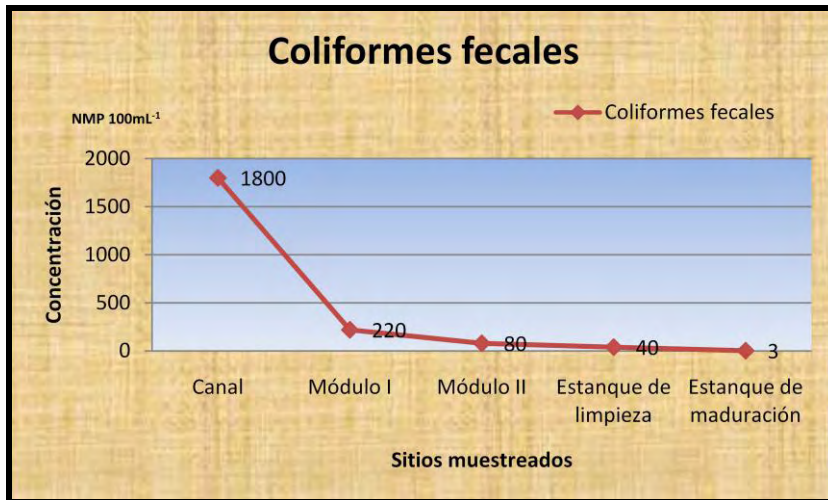
COLIFORMES FECALES



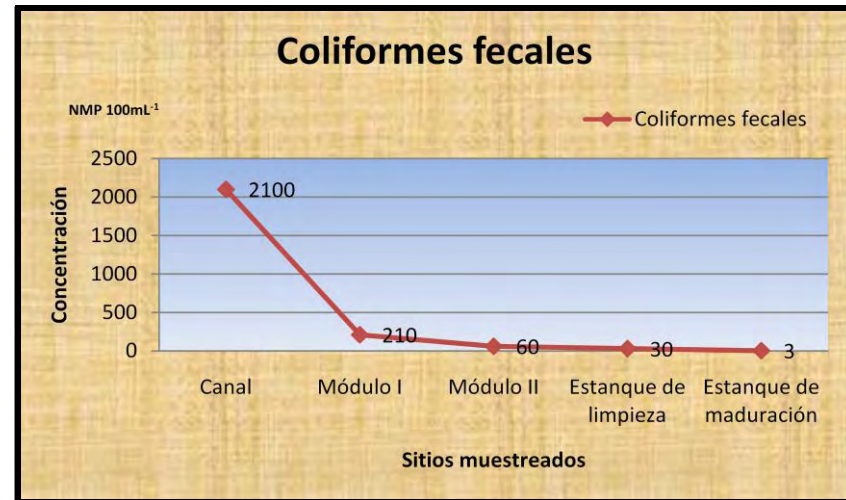
Gráfica 5.1 NMP de Coliformes Fecales del mes de Marzo del 2007.



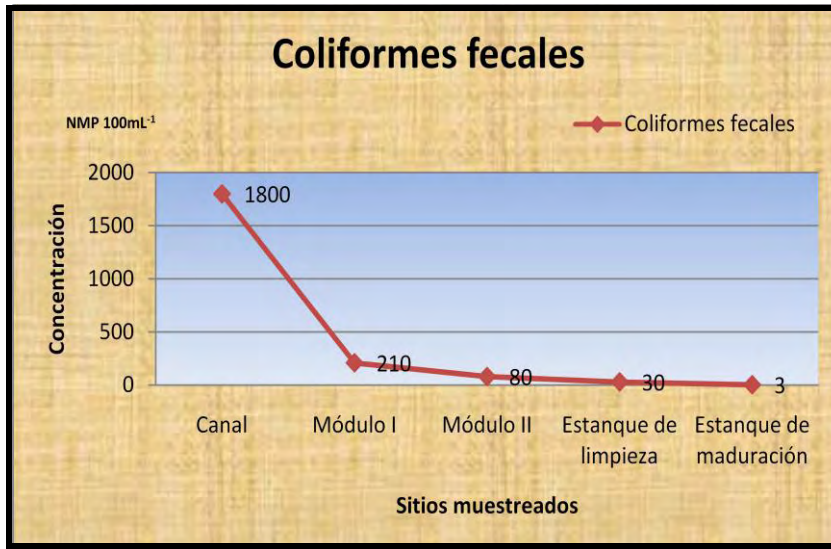
Gráfica 5.2 NMP de Coliformes Fecales del mes de Abril del 2007.



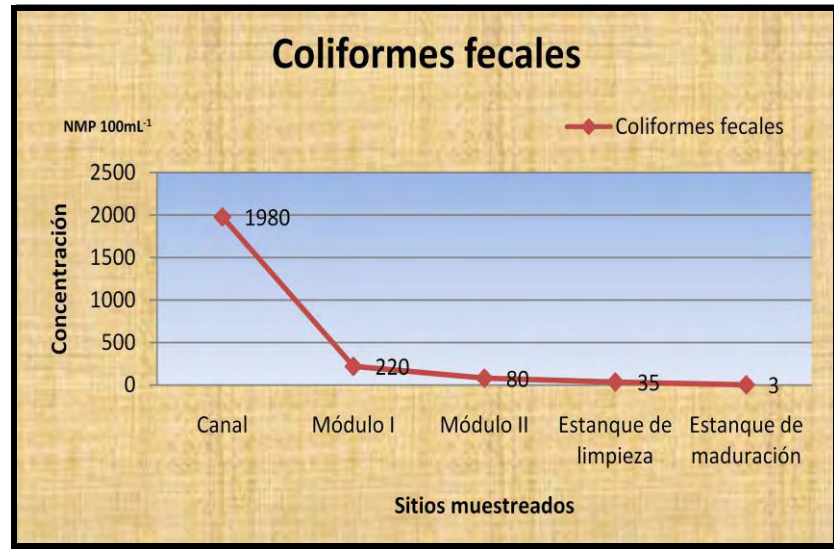
Gráfica 5.3 NMP de Coliformes Fecales del mes de Mayo del 2007.



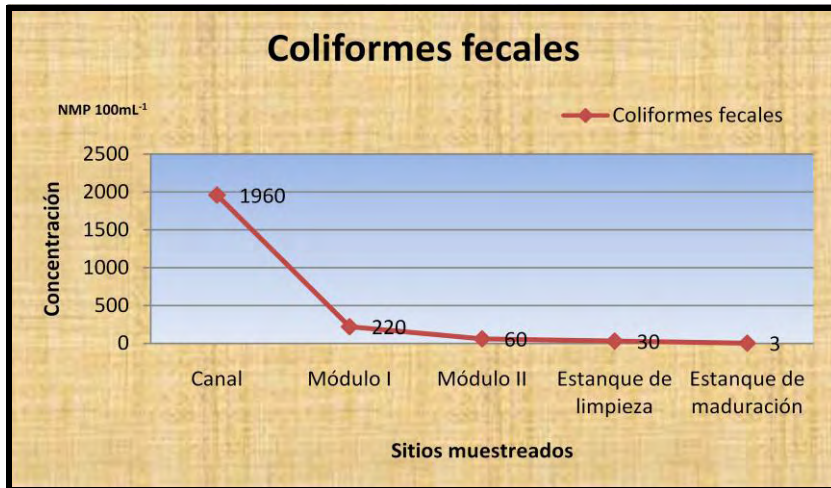
Gráfica 5.4 NMP de Coliformes Fecales del mes de Junio del 2007.



Gráfica 5.5 NMP de Coliformes Fecales del mes de Agosto del 2007.

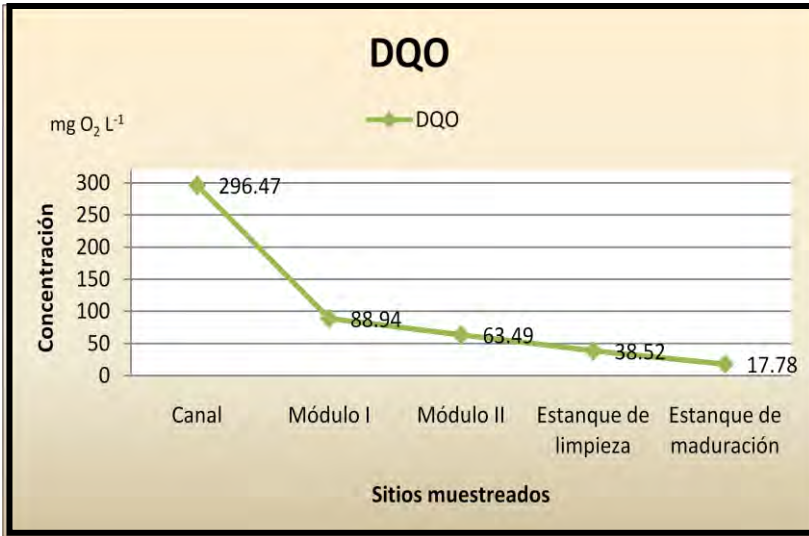


Gráfica 5.6 NMP de Coliformes Fecales del mes de Septiembre del 2007.

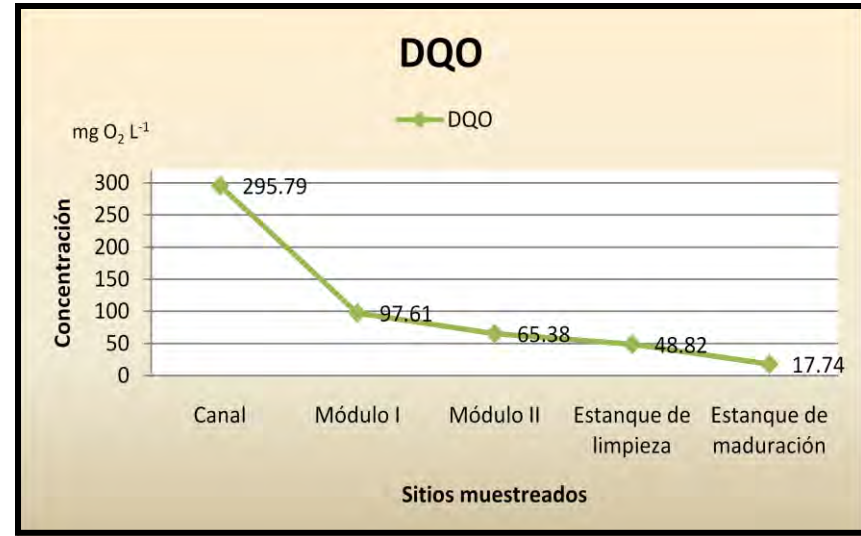


Gráfica 5.7 NMP de Coliformes Fecales del mes de Noviembre del 2007.

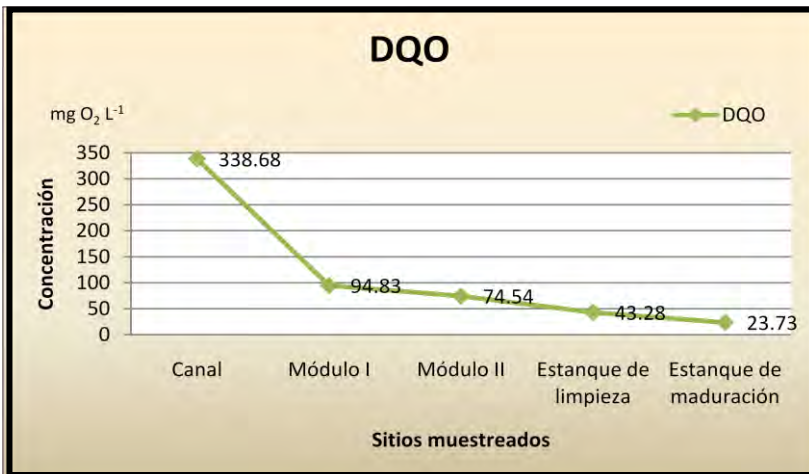
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO



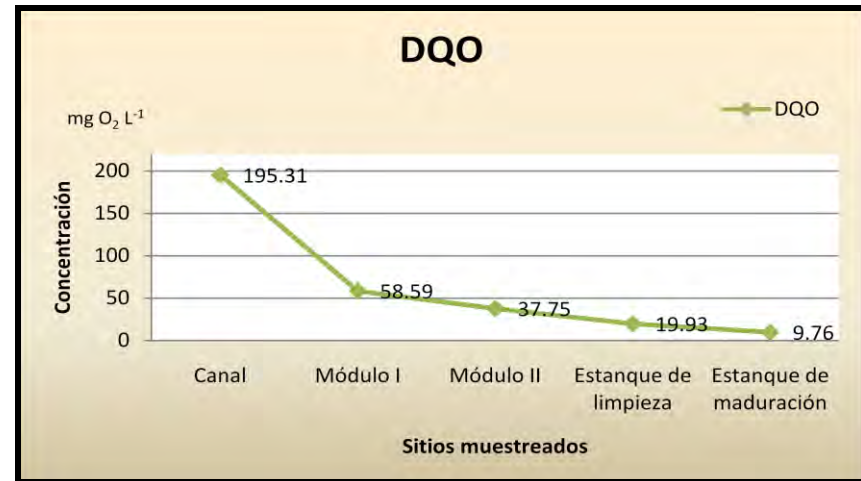
Gráfica 6.1 Monitoreo de DQO del mes de Marzo del 2007.



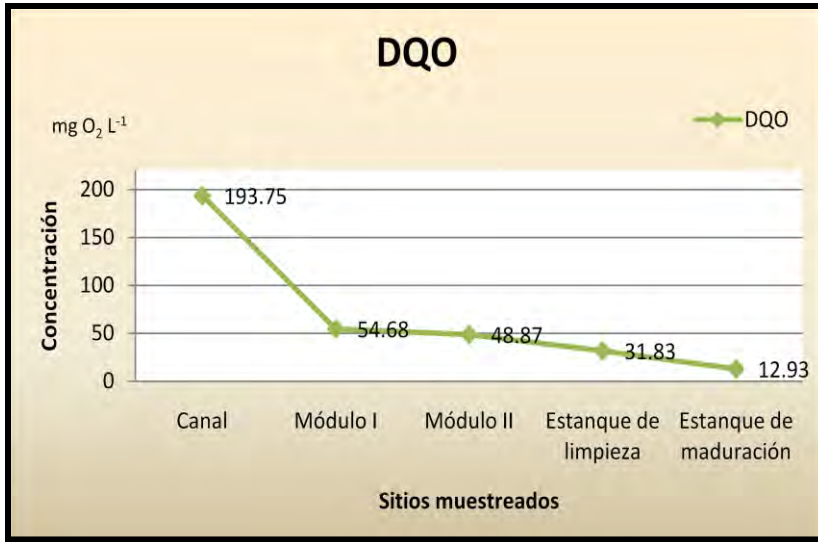
Gráfica 6.2 Monitoreo de DQO del mes de Abril del 2007.



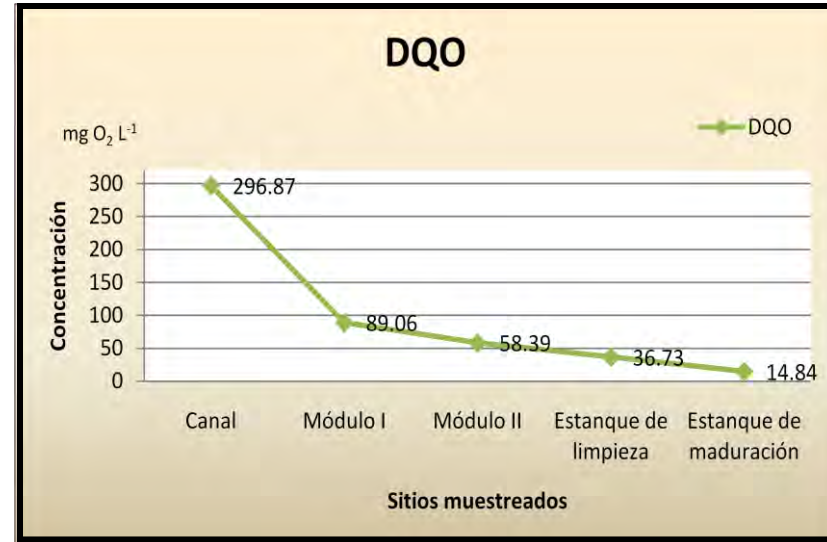
Gráfica 6.3 Monitoreo de DQO del mes de Mayo del 2007.



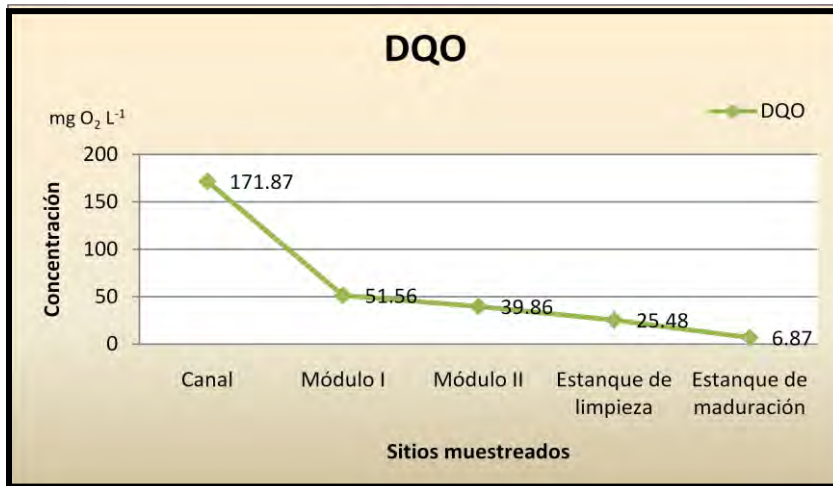
Gráfica 6.4 Monitoreo de DQO del mes de Junio del 2007.



Gráfica 6.5 Monitoreo de DQO del mes de Agosto del 2007.

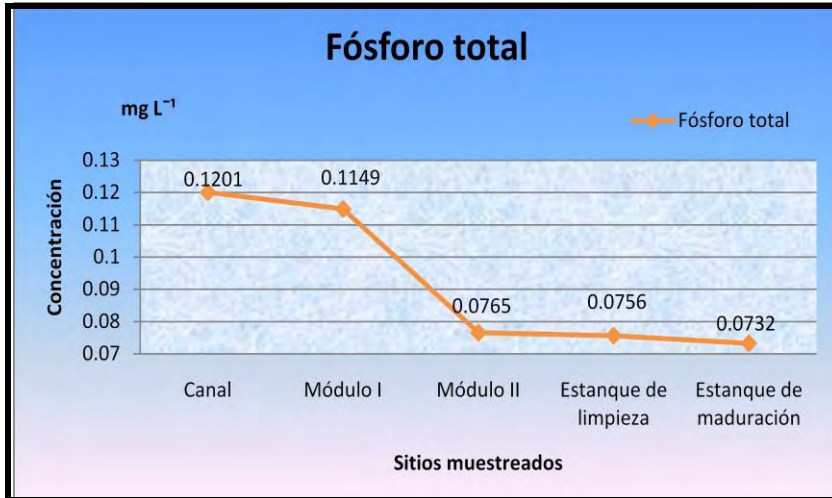


Gráfica 6.6 Monitoreo de DQO del mes de Septiembre del 2007.

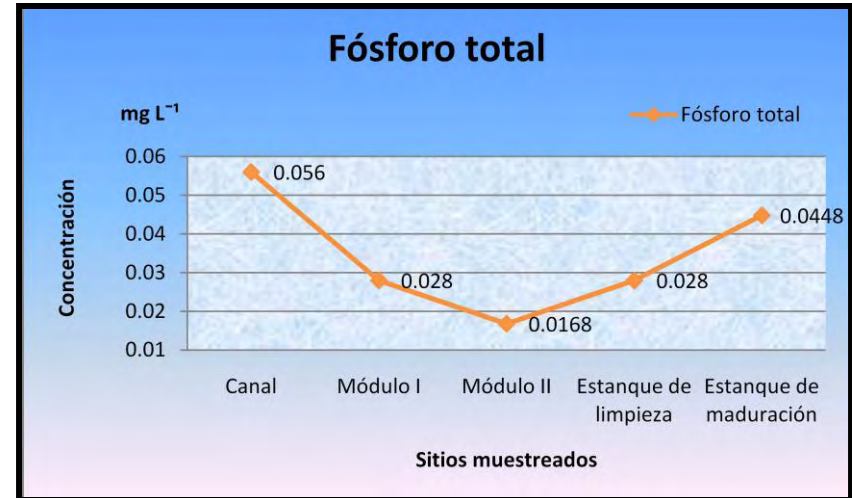


Gráfica 6.7 Monitoreo de DQO del mes de Noviembre del 2007.

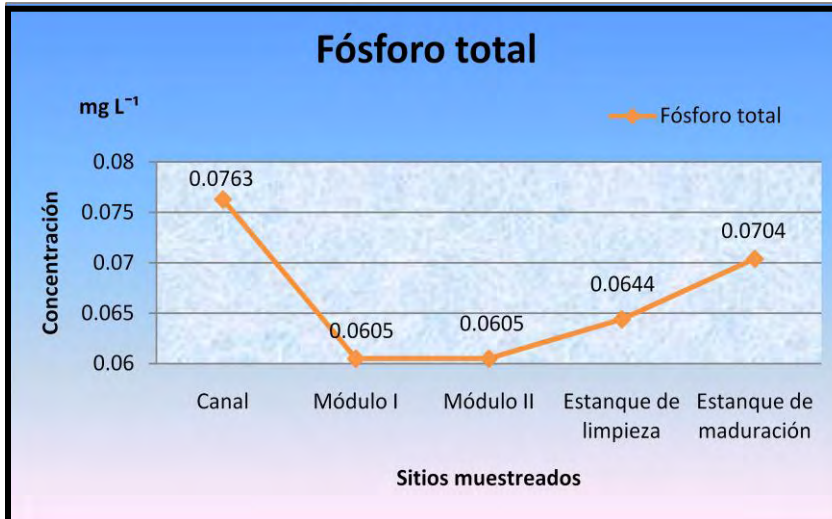
FÓSFORO TOTAL Y SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO



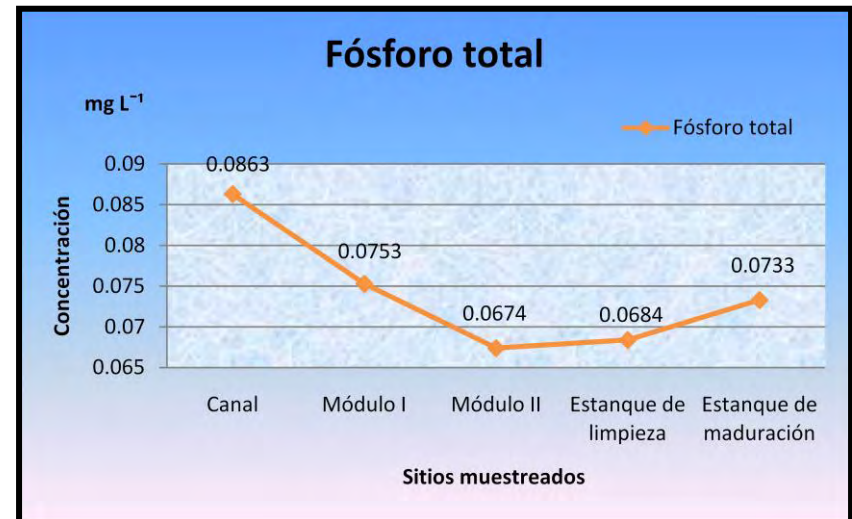
Gráfica 7.1 Monitoreo de Fosforo Total del mes de Marzo del 2007.



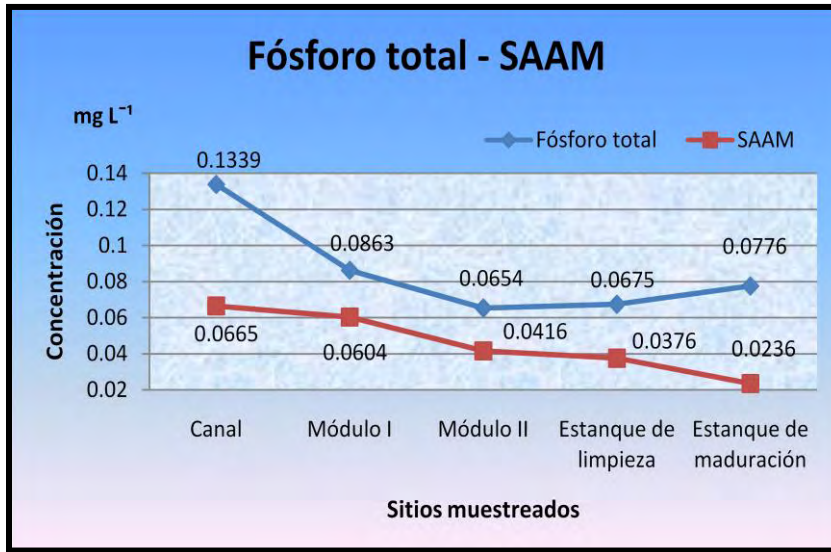
Gráfica 7.2 Monitoreo de Fosforo Total del mes de Abril del 2007.



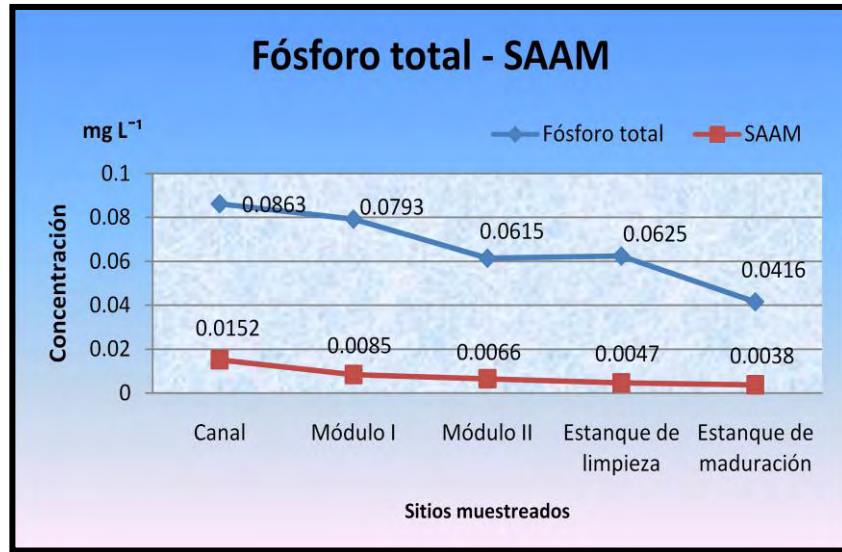
Gráfica 7.3 Monitoreo de Fosforo Total del mes de Mayo del 2007.



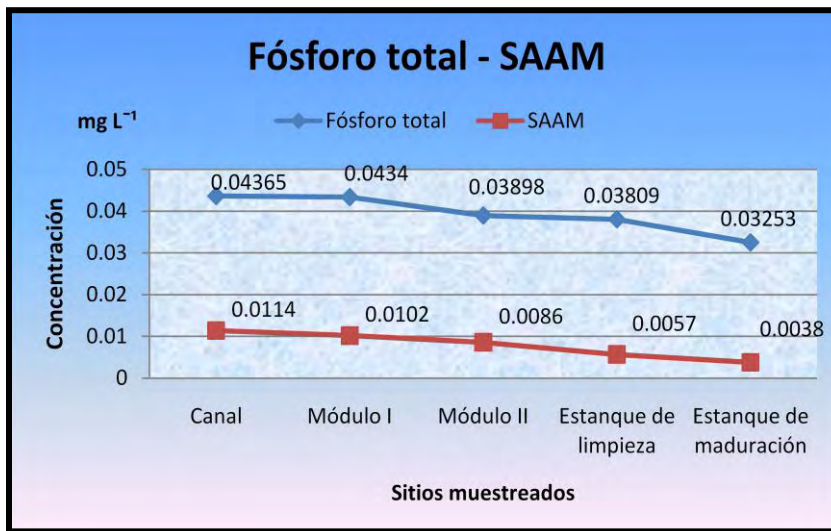
Gráfica 7.4 Monitoreo de Fosforo Total del mes de Junio del 2007.



Gráfica 7.5 Monitoreo de Fosforo Total y SAAM del mes de Agosto del 2007.

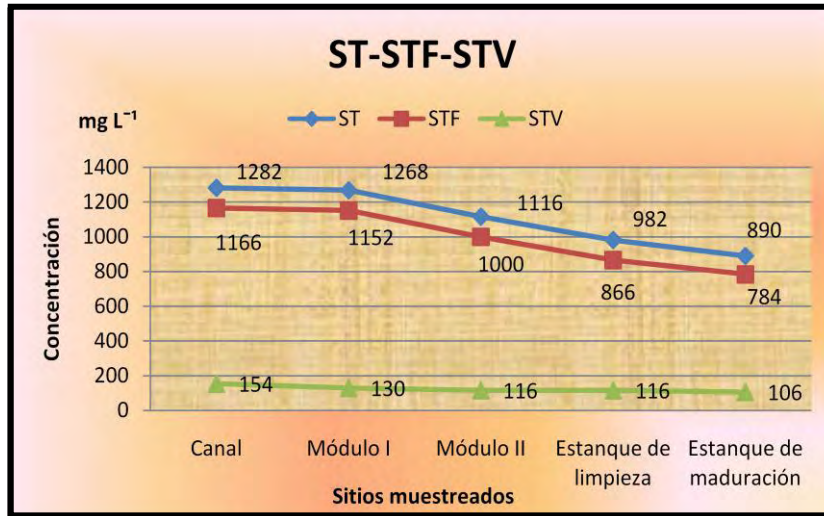


Gráfica 7.6 Monitoreo de Fosforo Total y SAAM del mes de Septiembre del 2007.

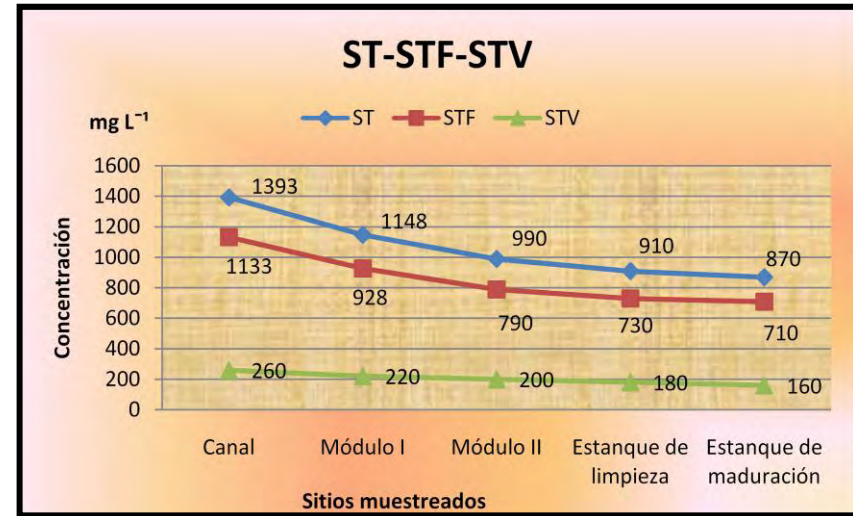


Gráfica 7.7 Monitoreo de Fosforo Total y SAAM del mes de Noviembre del 2007.

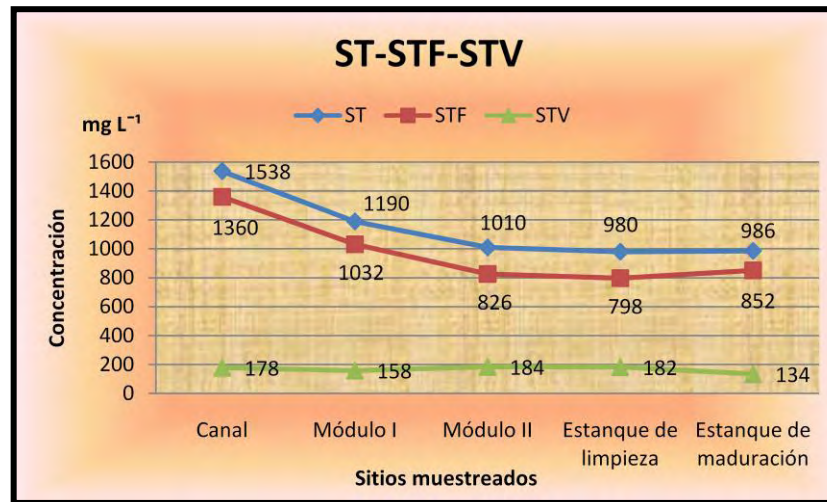
SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS TOTALES FIJOS Y SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES



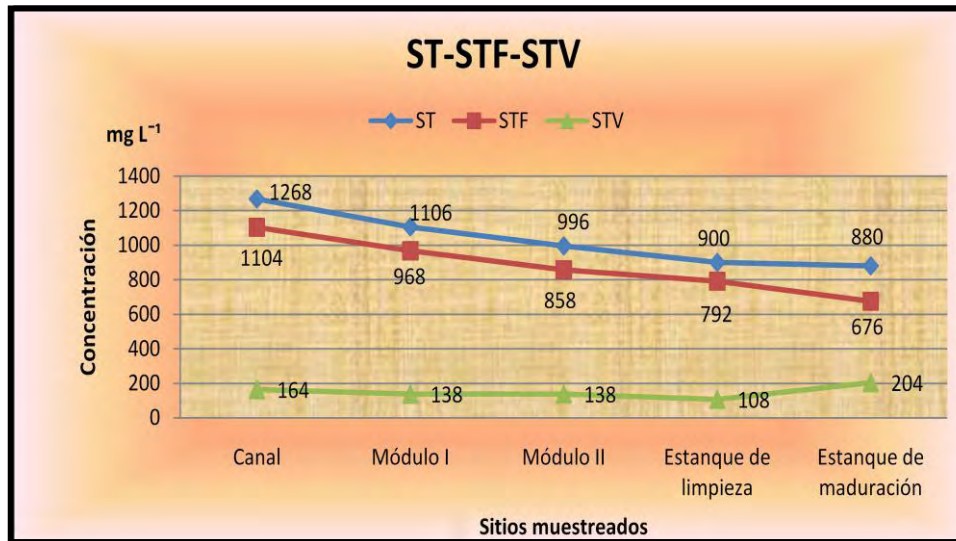
Gráfica 8.1 Monitoreo de ST, STF Y STV del mes de Mayo del 2007.



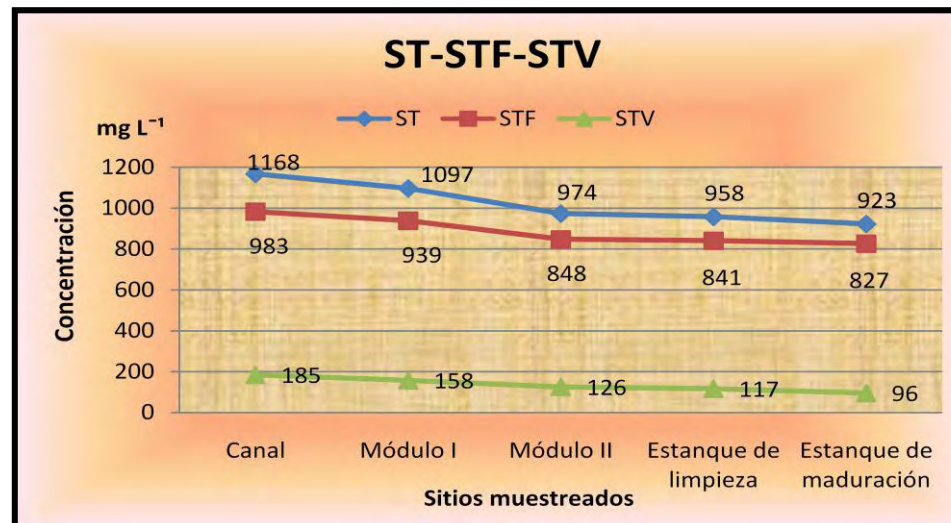
Gráfica 8.2 Monitoreo de ST, STF Y STV del mes de Junio del 2007.



Gráfica 8.3 Monitoreo de ST, STF Y STV del mes de Agosto del 2007

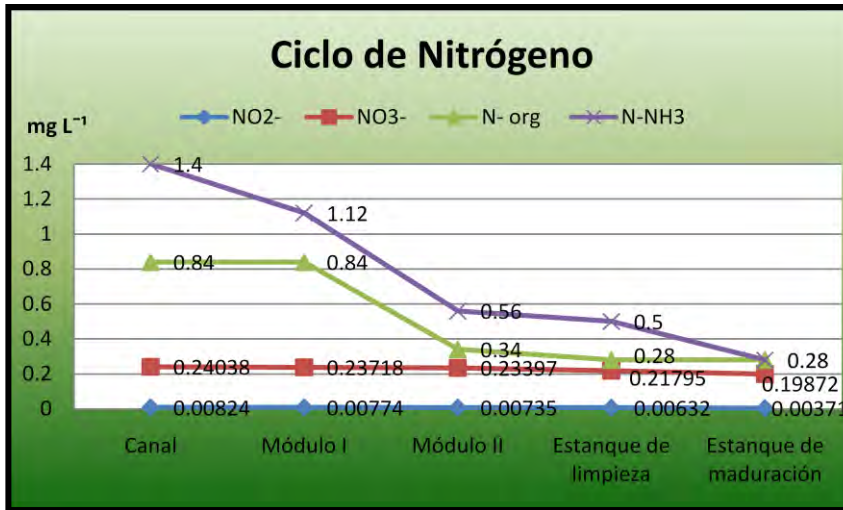


Gráfica 8.4 Monitoreo de ST, STF Y STV del mes de Septiembre del 2007.

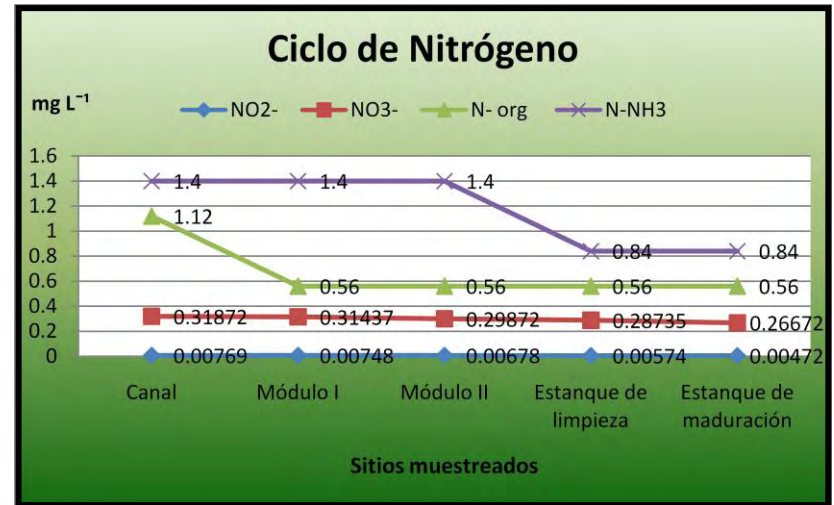


Gráfica 8.5 Monitoreo de ST, STF Y STV del mes de Noviembre del 2007.

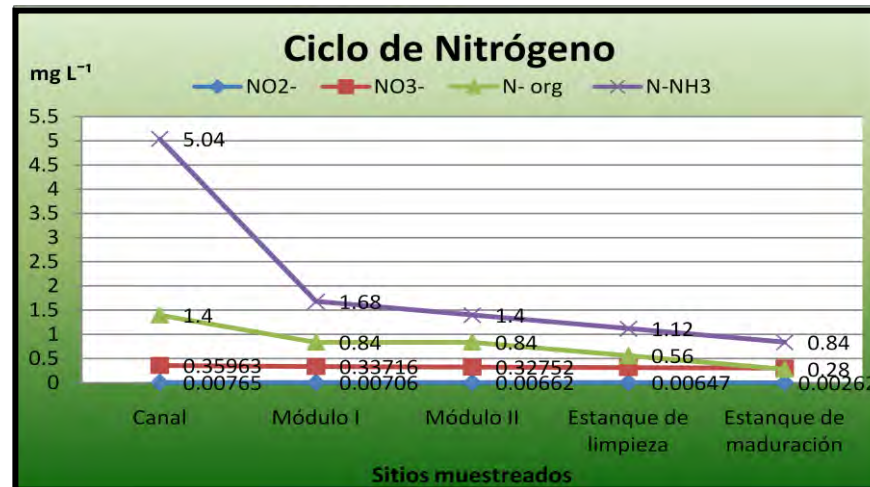
NITRÓGENO ORGÁNICO, NITRÓGENO AMONIAICAL, NITRITOS Y NITRATOS



Gráfica 9.1 Monitoreo de Nitrógeno Orgánico y Amoniacal, Nitritos y Nitratos del mes de Agosto del 2007.



Gráfica 9.2 Monitoreo de Nitrógeno Orgánico y Amoniacal, Nitritos y Nitratos del mes de Septiembre del 2007.



Gráfica 9.3 Monitoreo de Nitrógeno Orgánico, Nitrógeno Amoniacal, Nitritos y Nitratos del mes de Noviembre del 2007.