Tecnológico Nacional de México

Campus Tuxtla Gutiérrez

Ingeniería Química

Informe técnico de residencia profesional

“Control de la calidad del agua de la planta de tratamiento de aguas residuales Paso Limón”

Alumno:

Romero Aguilar Eduardo Luis

9° Semestre

Grupo: Q.9

Numero de control

15270296

Asesor interno

Ing. Leonardo Gómez Gutiérrez

Revisores

Ing. Williams Santos Balboa

Ing. Amín Rodríguez Meneses

18 de diciembre del 2019.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapa

Agradecimientos

A mis padres:

Gracias a mis padres por brindarme su apoyo incondicional para llegar hasta el último semestre de mi carrera, por sus palabras de aliento que me animaron a seguir adelante con confianza y motivación, por sus consejos para sobrellevar todas las situaciones que pasaron a lo largo de todo el tiempo en la universidad, por su apoyo económico que me solventaron para cubrir todas mis necesidades personales y educativas, por su paciencia y lo más importante por su amor, cariño y compañía que en todo momento me brindaron para lograr alcanzar mis sueños.

A mis amigos:

Les doy gracias a mis amigos por toda esta gran aventura que vivimos juntos en la universidad, por compartir y disfrutar de esta gran experiencia, por su apoyo para la realización de este informe, por todas aquellas tareas y actividades en equipo que realizamos en toda la estadía en la universidad.

A mis profesores:

Agradezco a mis profesores por compartirme todos sus conocimientos a lo largo de toda la carrera, que me servirán como herramientas para seguir construyendo mis sueños, por su paciencia en los momentos de duda, por su comprensión y su talento para enseñar.

A la institución:

Le doy gracias a la institución educativa en la cual curse mis estudios por permitirme ser parte de ella, por acogerme y brindarme todos los recursos necesarios para las enseñanzas y conocimientos de calidad que fueron aprendidos durante mi estancia por esta casa de estudios, por darme un espacio y muy buenos profesores.

A Dios:

Agradezco profundamente a Dios por darme la oportunidad de vivir esta gran experiencia, aprovecharla y disfrutarla, por haberme ayudado a crecer como persona y en el ámbito académico, por su amor y compañía en los momentos difíciles.

Gracias Dios porque sin ti este sueño no se haría realidad.

Resumen

La contaminación del agua por parte de los seres humanos es algo inevitable, debido a que tiene diversos usos, en las actividades cotidianas, industriales, agropecuarias, recreación, etc.

El agua es quizás el recurso más importante para la vida sobre la Tierra, cada organismo necesita de este recurso de una forma u otra, tanto líquido, sólido o gas; en muchas de las ocasiones los seres humanos no nos damos cuenta del daño que hacemos hacia el medio ambiente y la salud de los seres vivos incluyendo la humanidad por contaminar demasiado el agua y luego descargarla sin más, por eso es indispensable mantener el agua en buena calidad, ya que si se encuentra contaminada no tendría ningún uso y afectaría tanto al ambiente como a la salud de los seres vivos.

En este documento se resaltan los aspectos más importantes sobre el tratamiento de aguas residuales y la calidad de la corriente de salida de una PTAR, el lugar de estudio es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Paso Limón", que se encuentra en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en el estado de Chiapas.

Se buscara entender el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales para entender cómo influye esto en la calidad del agua.

La calidad del agua se mide por varios parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos, de los cuales podemos encontrar los métodos más relevantes para su determinación en las Normas Mexicanas para agua potable, natural, tratada, residual, salina y residual tratada. En caso de utilizarse un método distinto deberá informase a las autoridades competentes para que sea aprobado.

Las tomas de muestras para la determinación de estos parámetros de calidad del agua es realizado en los canales y equipos de la PTAR "Paso Limón" y analizados inmediatamente después en el laboratorio de la misma, con los datos obtenidos se pueden observar las variaciones que existen por diversos factores, como son la temperatura del ambiente, estación del año, mantenimiento de los equipos, tecnología a utilizar, aumento de la población, presencia de industrias, etc.

Índice

Agradecimientos 2
Resumen 3
Índice de figuras 7
Índice de tablas 9
Introducción 10
Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante 11
¿Qué es SMAPA? 11
Misión 11
Visión 11
Planta de tratamiento de aguas residuales "Paso Limón" 11
Laboratorio de calidad de la planta de tratamiento de aguas residuales "Paso Limón" 12
Problemas a resolver 13
Objetivo general 13
Objetivos específicos 13
Justificación 13
Marco teórico 14
¿Que son las aguas residuales? 14
Tipos de aguas residuales según su fuente de origen 14
Aguas residuales domésticas. 14
Aguas residuales industriales. 15
Aguas residuales urbanas. 15
Tipos de aguas residuales según su composición 15
Aguas grises 15
Aguas negras 17
Calcular el uso y demanda del agua 18
Tratamiento de aguas residuales 18
Etapas del tratamiento de aguas residuales 20
Tratamiento preliminar 20
Tratamiento primario 20
Tratamiento secundario 20
Tratamiento terciario o avanzado 21
Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales 22

Filtros percoladores o rociadores 23
Uso del Agua Tratada. 24
Muestreo 25
Temperatura 25
Conductividad 27
Demanda química de oxigeno 31
Demanda bioquímica de oxigeno 32
Solidos sedimentables 33
PH 34
Materia Flotante 37
Solidos totales y solidos totales volátiles 38
Biodegradabilidad 40
Relación DQO/DBO_5 41
Normatividad 42
Cómo funciona la PTAR Paso Limón 43
Procedimiento y descripción de las actividades realizadas 56
Muestreo 57
Solidos sedimentables 58
Solidos totales y solidos totales volátiles 60
Temperatura 62
PH 64
Conductividad 66
Materia flotante 67
DBO 68
DQO 70
Resultados 73
Solidos sedimentables 73
Temperatura 82
Conductividad 84
PH 86
Solidos totales 88
Solidos totales volátiles 90
Materia flotante 92
DBO 93

DQO 94
Evaluación de parámetros con forme a la NOM-001-SEMARNAT-1996 95
RELACIÓN DQO/DBO5 96
Conclusiones 97
Competencias desarrolladas y /o aplicadas 98
Fuentes de información 99
Anexos 101

Índice de figuras

Figura 1 PTAR Paso Limón (Google Maps, 2019) 12
Figura 2 Sistema de tratamiento de aguas residuales (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)..... 19
Figura 3 Tecnologías para el tratamiento de agua residual (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013) 22
Figura 4 Filtro percolador (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013) 23
Figura 5 Canal de llegada de la PTAR Paso Limón 44
Figura 6 Cribas gruesas de desbaste SC-300 de la PTAR Paso Limón 44
Figura 7 Desarenadores GR-401 y GR-402 de la PTAR Paso Limón 46
Figura 8 Cribas finas SC-401, SC-402 y SC-403 de la PTAR Paso Limón 47
Figura 9 Clarificador CL-501 de la PTAR Paso Limón 49
Figura 10 Filtro rociador o percolador TF-601 de la PTAR Paso Limón 51
Figura 11 Filtro rociador o percolador TF-602 de la PTAR Paso Limón 51
Figura 12 Clarificador secundario CL-701 de la PTAR Paso Limón 53
Figura 13 Clarificador secundario CL-702 y CL-703 de la PTAR Paso Limón 54
Figura 14 Canal de salida de la PTAR Paso Limón 55
Figura 15 Toma de muestra en el canal de salida de la PTAR Paso Limón 57
Figura 16 Procedimiento para muestrear..... 58
Figura 17 Procedimiento para solidos sedimentables..... 59
Figura 18 Solidos sedimentables de la entrada y salida de la PTAR Paso Limón 60
Figura 19 Desecador para ST y STV 60
Figura 20 Mufla para ST y STV
Figura 21 Horno para ST y STV..... 61
Figura 22 Procedimiento para solidos totales y solidos totales volátiles..... 62
Figura 23 Instrumento de medición de temperatura, pH y conductividad HACH HQ40d. 63
Figura 24 Procedimiento para determinar la temperatura..... 64
Figura 25 Medición de pH de la PTAR Paso Limón 64
Figura 26 Procedimiento para determinación de pH..... 65
Figura 27 Procedimiento para determinar la conductividad electrolítica 67
Figura 28 Malla con abertura de 3.3 mm 67
Figura 29 Procedimiento para la determinación de materia flotante 68
Figura 30 a) Aparato de DBO respirométrico HACH BODTrack II b) Grafica de medición de DBO 69
Figura 31 Procedimiento para la determinación de DBO 70
Figura 32 Digestor HACH DRB 200 71
Figura 33 Viales para DQO A) rango alto B) Rango bajo
Figura 34 Espectrómetro HACH DR 3900..... 71
Figura 35 Descripción grafica de solidos sedimentables de la PTAR "Paso Limón"..... 74
Figura 36 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-501 de la PTAR "Paso Limón"..... 76
Figura 37 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-601 de la PTAR "Paso Limón"..... 76
Figura 38 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-701 de la PTAR "Paso Limón"..... 78
Figura 39 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-702 de la PTAR "Paso Limón"..... 78

Figura 40 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-703 de la PTAR "Paso Limón" 79
Figura 41 Descripción grafica de los sólidos sedimentables de los filtros percoladores de la PTAR "Paso Limón" 81
Figura 42 Descripción grafica de las temperaturas de la PTAR "Paso Limón" 83
Figura 43 Descripción grafica de conductividad electrolítica de la PTAR "Paso Limón" 85
Figura 44 Descripción grafica del pH de la PTAR "Paso Limón" 87
Figura 45 Descripción grafica de la DBO del efluente de la PTAR "Paso Limón" 93
Figura 46 Descripción grafica de la DQO del efluente de la PTAR "Paso Limón" 94
Figura 47 Parámetros de biodegradabilidad (Gonzalez, 1993) 96
Figura 48 Arreglo general de la PTAR Paso Limón (Tecnologia Intercontinental, 2013) 101
Figura 49 Cantidad de puntos de descarga de aguas residuales municipales sin tratamiento (INEGI Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Modulo ambiental de agua potable y saneamiento, 2015) 103
Figura 50 Puntos de descarga de aguas residuales municipales sin tratamiento (INEGI Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Modulo ambiental de agua potable y saneamiento, 2015) 103
Figura 51 Destino de la inversión en infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento en México (CONAGUA Comisión Nacional del Agua, 2018) 104
Figura 52 Especificaciones de viales para DQO rango bajo 104
Figura 53 Especificaciones de viales para DQO rango alto 105

UNIVERSIDAD TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

Índice de tablas

Tabla 1 Descripción de la criba gruesa de desbaste SC-300 de la PTAR Paso Limón 45
Tabla 2 Descripción de las cribas gruesas SC-301 y SC-302 de la PTAR Paso Limón 45
Tabla 3 Descripción de la criba gruesa SC-303 de la PTAR Paso Limón 45
Tabla 4 Descripción del cárcamo de bombeo T-301 de la PTAR Paso Limón 46
Tabla 5 Descripción de las bombas de alimentación de la PTAR Paso Limón 46
Tabla 6 Descripción de los desarenadores GR-401 y GR-402 de la PTAR Paso Limón 47
Tabla 7 Descripción de cribas finas SC-401 y SC-402 de la PTAR Paso Limón 48
Tabla 8 Descripción de criba fina SC-403 de la PTAR Paso Limón 48
Tabla 9 Descripción del clarificador primario CL-501 de la PTAR Paso Limón 49
Tabla 10 Descripción del clarificador primario CL-601 de la PTAR Paso Limón 49
Tabla 11 Descripción de las rastras R-501 y R-601 de los sedimentadores primarios de la PTAR Paso Limón 49
Tabla 12 Descripción del filtro percolador RD-601 y RD-602 de la PTAR Paso Limón 52
Tabla 13 Descripción del filtro percolador RD-501 de la PTAR Paso Limón 52
Tabla 14 Descripción de los rociadores de los filtros percoladores RD-501, RD-601 y RD-602 52
Tabla 15 Descripción del clarificador secundario CL-701 de la PTAR Paso Limón 54
Tabla 16 Descripción del sedimentador secundario CL-702 y CL-703 de la PTAR Paso Limón 54
Tabla 17 Rastra para clarificador secundario CL-701de la PTAR Paso Limón 54
Tabla 18 Rastra para clarificador secundario CL-702 y CL-703 de la PTAR Paso Limón 55
Tabla 19 Descripción de los tanques de cloración T-719 y T-720 de la PTAR Paso Limón 56
Tabla 20 Normas aplicables a la PTAR "Paso Limón" 56
Tabla 21 Solidos sedimentables del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón" 73
Tabla 22 Promedio mensual de solidos sedimentables del afluente y efluente general de la PTAR Paso Limón 74
Tabla 23 Solidos sedimentables de los clarificadores primarios la PTAR "Paso Limón" 75
Tabla 24 Solidos sedimentables de los clarificadores secundarios de la PTAR "Paso Limón" 77
Tabla 25 Solidos sedimentables de los filtros percoladores de la PTAR "Paso Limón" 80
Tabla 26 Temperatura del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón" 82
Tabla 27 Promedio mensual de temperatura del afluente y efluente general de la PTAR Paso Limón 83
Tabla 28 Conductividad del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón" 84
Tabla 29 pH del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón" 86
Tabla 30 Promedio mensual de pH de la PTAR Paso Limón 87
Tabla 31 Materia flotante del efluente general de la PTAR "Paso Limón" 92
Tabla 32 DBO del efluente general de la PTAR Paso Limón 93
Tabla 33 Promedio mensual de DBO de la PTAR Paso Limón 93
Tabla 34 DQO del efluente general de la PTAR Paso Limón 94
Tabla 35 Promedio mensual de DQO de la PTAR Paso Limón 94
Tabla 36 Evaluación de parámetros en comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 95
Tabla 37 Evaluación de pH en comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 95
Tabla 38 Relación DQO/DBO de la PTAR Paso Limón 96
Tabla 39 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos (Diario Oficial de la Federación , 1996) 102

Introducción

El agua es un recurso indispensable para la vida y la salud de los seres vivos, y es necesario mantenerla en buen estado, debido a las enfermedades que pueda causar si se consume en mal estado. Existen muchos países como África y la India en la que gran parte de su población no cuenta con sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, la falta de recursos económicos es la principal causa de esta situación, ya que comúnmente la construcción, operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales tiene un elevado costo.

La demanda del agua ha aumentado en los últimos años, debido al aumento de la población y de las actividades socioeconómicas en las que cada vez consumen más agua.

El desarrollo, implementación e innovación de nuevas tecnologías para las plantas de tratamiento de aguas residuales busca la disminución del uso de aditivos químicos, la reducción en la generación de subproductos y otros residuos, la minimización del consumo de energía y áreas más compactas.

Debido al aumento de la demanda del agua y por el bienestar ecológico y ambiental, actualmente en comparación a muchos años atrás se ha ido incrementando la inversión en infraestructuras para plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, sin embargo, aún en muchas poblaciones es bien sabido que no cuentan con plantas de tratamiento, se encuentran fuera de operación o con falta de mantenimiento a causa de muchos factores, de los cuales el principal es la falta de recursos económicos.

El indicador para el saneamiento mejorado, de acuerdo con los criterios de la Organización de las Naciones Unidas, está por alcanzarse, ya que se tiene un 82% frente a la meta del 84% prevista en 2015.[1]

No existen datos reales sobre el nivel de cobertura de tratamiento para las aguas residuales municipales, sin embargo, aproximadamente solo se llega a tratar hasta el 20%.

El tratamiento de las aguas residuales incrementa la emisión de gases de efecto invernadero a causa de los procesos de descomposición de la materia orgánica contaminante, también genera residuos sólidos que al ser correctamente estabilizados podrían tener diferentes usos en el área de la agronomía, es por ello que hay que tomar en cuenta, el uso, disposición o tratamiento de cualquier residuo, ya sea sólido, gaseoso o líquido, para disminuir en la mayor medida posible la contaminación ambiental.

Existen muchas normas aplicables a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Paso Limón", como lo son las jurídicas, de seguridad, construcción, o calidad, sin embargo en este documento nos enfocaremos a las normas de calidad sobre la descarga del efluente de esta planta.

Existen alrededor de 50 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en el estado de Chiapas, de las cuales el municipio de Tuxtla Gutiérrez cuenta con cuatro, la planta de tratamiento de aguas residuales "Paso Limón" es una de ellas, ubicada en el lado oriente norte de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

[1] (World Bank Open Data, 2018)

Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante

¿Qué es SMAPA?

SMAPA es el Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Tuxtla Gutiérrez del estado de Chiapas, sus principales funciones son la de proveer de agua potable al municipio, instalar y dar mantenimiento a las redes de alcantarillado y distribución de agua potable, disminuir el grado de contaminación por las aguas negras generadas del municipio, cuenta con una planta potabilizadora, dos plantas de tratamiento de aguas residuales, oficinas ubicadas en diferentes puntos de la ciudad.

Misión

Ofrecer a los usuarios un servicio de calidad en el suministro de agua potable y alcantarillado sanitario, concientizando a la población del uso y la preservación del agua como elemento indispensable en la vida. (Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, 2019)

Visión

Consolidarse como uno de los mejores organismos a nivel nacional, con base en la ética de trabajo en equipo y tecnología de vanguardia, capaz de satisfacer las necesidades actuales y futuras de la comunidad. (Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, 2019)

Planta de tratamiento de aguas residuales "Paso Limón"

En el municipio de Tuxtla Gutiérrez predominan los climas cálido subhúmedo con lluvias en el verano, de menor humedad, que abarca el 99,71% de la superficie municipal; cálido subhúmedo con lluvias en el verano, de mediana humedad, que abarca el 0,29% de la superficie municipal. La temperatura media anual es de 25,4 °C. La precipitación pluvial oscila según las áreas municipales y es en promedio 900 mm anuales. El municipio se encuentra a una altitud de 495.3 msnm. (Tecnologia Intercontinental, 2013)

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Paso Limón, se encuentra localizada al lado derecho del río Sabinal, en la zona Norte Oriente de Tuxtla Gutiérrez, en la colonia llamada Paso Limón. Este lugar le permite tener una buena captación de aguas residuales de prácticamente toda la ciudad, ya que la topografía hace que el agua corra por gravedad por el río hacia esta ubicación.

El río Sabinal cruza toda la ciudad y desemboca en el río Grijalva, a lo largo de su trayecto es alimentado por 21 arroyos.

Hace más de 50 años el río Sabinal ha recibido las descargas de agua residual de la ciudad. Lo que ha llevado a una contaminación que ha afectado a la flora y fauna que habitaba en este rio y que también, daña a las personas que habitan cerca, o tienen su trabajo o escuela a un lado de este cuerpo de agua.

El constante daño ecológico, ambiental y social por el impacto de la contaminación de este río, son situaciones alarmantes para la salud pública, la biodiversidad y la imagen de la ciudad.

Ante esta problemática, el SMAPA ha tomado el compromiso sanear el río Sabinal. (Coello & Robles, 2011)

Figura 1 PTAR Paso Limón (Google Maps, 2019)

Laboratorio de calidad de la planta de tratamiento de aguas residuales "Paso Limón"

El laboratorio de calidad de esta planta de tratamiento de aguas residuales se rige bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

En el laboratorio se realizan todos los análisis necesarios para llevar un control sobre la calidad del agua que entra y sale de la planta y el agua que entra y sale de los equipos utilizados.

La planta de tratamiento de aguas residuales "Paso Limón" descarga el agua tratada al río Sabinal, obteniendo con esto la disminución de la carga biológica en este río, la planta trata el agua de la mayor parte de la población con una capacidad de flujo medio de 800 l/s.

El laboratorio cuenta con todos los equipos e instrumentos para realizar todas las determinaciones necesarias, todas las mediciones se registran en una bitácora que quincenalmente se entrega al jefe de la planta.

Problemas a resolver

Falta de datos actualizados sobre los parámetros de calidad del agua de la PTAR "Paso Limón", para respaldar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y las decisiones acerca de la operación y mantenimiento de los diferentes equipos que conforman la PTAR "Paso Limón"

Objetivo general

Verificar el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Objetivos específicos

Aplicar las técnicas de análisis de calidad del agua en la PTAR "Paso Limón".

Respaldar las decisiones sobre el manejo y mantenimiento de los diferentes equipos que conforman la PTAR "Paso Limón"

Analizar e interpretar los parámetros de descarga de la PTAR "Paso Limón"

Justificación

Las plantas de tratamiento se rigen ya sea por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales o bien por la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Por cualquiera de las dos se tienen que realizar tomas de parámetros de calidad del agua periódicamente.

Recientemente la PTAR ha cambiado de posesión, hacia el sistema municipal de agua potable y alcantarillado (SMAPA). SMAPA realizo una serie de remodelaciones para poder mejorar la eficiencia de esta planta de tratamiento, entonces se hace necesario verificar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 a través de la actualización continua de los parámetros de calidad del agua de la PTAR "Paso Limón". Con esto se podrá confirmar que los cambios realizados por SMAPA fueron los correctos, y se podrán crear nuevos periodos o formas de mantenimiento de los equipos para su correcta operación, así mismo se podrán respaldar de manera adecuada las decisiones sobre el

manejo de los equipos y el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 hacia las autoridades competentes.

Al momento de que una planta de tratamiento de aguas residuales cumple con su respectiva norma, no solo cumple con la ley sino que también ayuda a la recuperación de los cuerpos de agua, disminuye los problemas ambientales y ecológicos, disminuye el riesgo de contraer alguna enfermedad infecciosa a través del contacto con aguas contaminadas y da una mejor imagen a la sociedad.

Marco teórico

¿Que son las aguas residuales?

La Ley de Aguas Nacionales de México define a las aguas residuales como: *"aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas"*. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Las aguas residuales son las aguas utilizadas que han afectado su calidad. Las aguas residuales incluyen las aguas domésticas, industriales o urbanas que pueden estar combinadas con agua pluvial Sin tratamiento las aguas residuales suelen provocar grandes problemas de contaminación y salud. La FAO[2] define aguas residuales como: "*Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales".* (WIKIPEDIA, 2019)

Tipos de aguas residuales según su fuente de origen

Se distinguen tres tipos de aguas residuales según su fuente de origen, que son:

Aguas residuales domésticas.

Este tipo de aguas residuales son aquellas aguas provenientes de zonas de viviendas, están producidas principalmente por el metabolismo humano y por las actividades que se llevan a cabo en el ámbito doméstico.

Las aguas residuales domésticas tienen sus orígenes en la cocina, el cuarto de baño y otras actividades domesticas

Las aguas residuales que tienen su origen en el baño están formadas, principalmente, por una combinación de agua, jabón, orín y materia fecal.

Las aguas residuales que tienen su origen en la cocina están compuestas por una mezcla de agua, jabón, residuos de comida, aceites y grasas.

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO (por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization)

Las aguas residuales utilizadas en una actividad domestica fuera del cuarto de baño o de la cocina están constituidas de agua, detergentes, jabón y arena. (HIDROTEC, 2019)

Aguas residuales industriales.

Dentro de esta clase de aguas residuales se encuentran aquellas aguas descargadas desde una industria, o de un lugar en el que han sido utilizadas en una actividad con finalidad comercial. Las componen las aguas que provienen directamente de la industria y las aguas que tienen su origen en las actividades ganaderas y agropecuarias.

Las aguas residuales de la industria hacen referencia a aquellas aguas que contienen sustancias liquidas o solidas provenientes de las fábricas y centros de producción.

Las aguas residuales de la agricultura y la ganadería están compuestas de contaminantes orgánicos y microorganismos, incluyen los fertilizantes químicos, y sustancias para control de plagas. (HIDROTEC, 2019)

Aguas residuales urbanas.

Las aguas residuales urbanas son la combinación de descargas de agua usada, hacia los sistemas de alcantarillado urbano. Están compuestas por varias sustancias orgánicas e inorgánicas que la contaminan, provenientes de casas, instituciones, limpieza urbana, establecimientos comerciales, de servicios e industriales. Se suele combinar con el agua pluvial.

Aguas residuales de la limpieza urbana son las que tienen su origen en las actividades de limpieza de las ciudades dirigidas por las autoridades y empresas privadas que brindan servicio a las ciudades. (HIDROTEC, 2019)

Tipos de aguas residuales según su composición

Aguas grises

Las aguas grises o aguas usadas es el término que se utiliza para el agua que se origina del uso doméstico, tales como el lavado de utensilios de cocina y de ropa así como la ducha de las personas.

Se diferencian de las cloacales contaminadas con excremento del inodoro, llamadas aguas negras, porque contienen bacterias fecales, como Escherichia coli. Las grises son de gran importancia, porque pueden ser muy útiles en el campo del regadío ecológico.

Normalmente se degradan más rápidamente que las otras y contienen mucho menos nitrógeno y fósforo. Sin embargo, la combinación de ellas tiene una porción de aguas negras, incluyendo patógenos de varias clases.

Sin embargo, cuando estas aguas no se tratan no se pueden utilizar para la descarga del excusado ya que producen malos olores y manchas si se dejan más de un día.

Las aguas grises se llaman así debido a su aspecto turbio y su condición de estar entre el agua dulce y potable (conocido como aguas blancas) y aguas residuales (aguas negras). En un contexto más conocido, las aguas grises son las aguas sobrantes de baños, regaderas, lavabos y lavadoras solamente. Algunas definiciones de las aguas grises incluyen el agua de la pileta de la cocina. Cualquier agua que contengan heces humanas se consideran aguas negras.

La mayor parte de las aguas grises son más fáciles de tratar y reciclar que las aguas negras a causa de los bajos niveles de contaminantes. Si se recolectan mediante un sistema de tuberías separadas las aguas grises domésticas pueden ser recicladas directamente dentro de la casa, el jardín o la empresa y se utiliza inmediatamente o procesados y almacenados. Si se almacena, se debe utilizar en un lapso de tiempo muy pequeño o comenzará a pudrirse debido a los sólidos orgánicos en el agua. El reciclado de aguas grises de este tipo nunca es apta para el consumo humano, pero con ayuda de una serie de etapas de filtración y digestión microbiana se pueden utilizar para proporcionar agua para el lavado o inodoros. Algunas de las aguas grises pueden utilizarse directamente desde el fregadero para el jardín, o recibir un tratamiento adicional de raíces de plantas.

Las aguas grises comúnmente se descomponen más rápido que las aguas negras y tienden a tener menores niveles de nitrógeno y fósforo. Aun así, se debe suponer que todas las aguas grises pueden contener una porción de aguas negras, incluyendo todas las variedades de agentes patógenos que son frecuentes. Las aguas grises al usarse se deben aplicar por debajo de la superficie, siempre y cuando sea posible (por ejemplo, a través de una línea de goteo en la parte superior del suelo, bajo mantillo, o en rellenos de mantillo-trincheras) y nunca deben pulverizarse. Esto debido al riesgo de su inhalación como un aerosol.

Aun no existen referencias de investigaciones a largo plazo sobre el uso de aguas grises en el suelo y los potenciales efectos negativos sobre la calidad del suelo.

En cualquier sistema de aguas grises, es de gran importancia no colocar nada tóxico en el desagüe, evitando en la medida posible blanqueadores, sales de baño, colorantes artificiales, productos de limpieza y otros productos que pudieran contener boro (que es tóxico para las plantas en niveles altos).

Es importante utilizar productos naturales como jabones biodegradables que contienen sustancias que no dañan las plantas. Los detergentes en polvo y algunos detergentes líquidos, contienen sodio, que puede disminuir la germinación de semillas y destruir la estructura de los suelos a través de la dispersión de arcilla. (WIKIPEDIA, 2019)

Los posibles beneficios ecológicos del reciclaje de aguas grises pueden ser:

- Baja extracción de agua dulce de los ríos y acuíferos.
- Menor impacto de tanques y cámaras sépticas y menor inversión en plantas de tratamiento urbanas.
- Nutrición de la tierra con materia orgánica.
- Reducción del uso de energía y la contaminación química de tratamiento.
- Aumento del crecimiento de las plantas.
- Recuperación de nutrientes.
- Una mayor calidad de superficie y agua subterránea cuando se conserva por la depuración natural en las capas superiores del suelo generadas por los procesos de tratamiento de agua

Aguas negras

Las aguas negras son los líquidos provenientes de vertidos cloacales, de instalaciones de saneamiento; son fluidos con material orgánico, fecal y orina, que circula por el drenaje.

Las aguas negras son líquidos contaminados, necesitan de sistemas de canalización y el tratamiento adecuado en cumplimiento con las normativas vigentes de cada país.

También se les llama Aguas Residuales, Aguas Servidas o Aguas Cloacales.

Las aguas negras se transportan por el sistema de alcantarillado, y en algunas poblaciones se agregan también las aguas provenientes de lluvias (pluviales) y de infiltraciones de terrenos. (CONSTRUMÁTICA, 2019)

Los compuestos residuales que aparecen formando parte de los líquidos cloacales pueden estar presentes como disueltos, suspendidos o en estado intermedio llamado coloidal. Estos compuestos suelen ser de naturaleza mineral u orgánica, en el caso de los minerales estas sustancias proceden de los mismos minerales que formaron parte integral de las aguas de sobre abastecimiento, en el caso de sustancias orgánicas le trasladan propiedades indeseables al líquido residual cuando los microorganismos asociados con estas aguas, alimentándose de materia orgánica muerta atacan esos complejos orgánicos destruyéndolos o estabilizándolos parcialmente a través de una serie de descomposiciones, con la aparición de malos olores y apariencia física objetable.

Las sustancias minerales y orgánicas suspendidas en estas aguas, arenas, aceites, grasas, y solidos de variada procedencia, interfieren con los sistemas de recolección y transporte de estas aguas que los contienen, además de la apariencia de los sitios de descarga.

La materia orgánica será descompuesta por la acción bacteriana, dando esta descomposición origen a continuos cambios en las características del agua.

Entre las sustancias biodegradables presentes en las aguas negras se encuentran los compuestos nitrogenados tales como proteínas, urea, aminoácidos, aminas en un 40%; compuestos no nitrogenados como grasas y jabones en un 10 %, y carbohidratos en un 50 %.

Las proteínas son extremadamente complejas y se encuentran en toda materia viviente animal o vegetal, los hidratos de carbono se encuentran formando azúcar, almidón, algodón, celulosas y fibras vegetales; los hidratos de carbono en el papel higiénico y el algodón son altamente resistentes a la descomposición, las grasas también son difícil de descomponer.

La materia orgánica presente en las aguas negras está sometida a cambios por acción química y bacteria para llegar a la oxidación y reducción de la materia orgánica en un porcentaje del 25 al 50% en pocas horas, el resto requiere de días o semanas.

Las aguas negras se conocen como aguas negras frescas en su origen, no presentan olores desagradables a temperaturas entre 20 y 25 grados centígrados. La descomposición inicia al cabo de 2 horas, donde comienzan a enturbiarse y cambian de color, transformándose en aguas color marrón y al cabo de 6 a 8 horas se produce el desprendimiento de gases (septificacion), luego tomaran color más obscuro con producción de malos olores, y se convierten en aguas acidas, se produce la estabilización y se convierten nuevamente en aguas sin olor, color, ni sabor, obteniéndose materia estable como CO2, N03, y SO4. (Marquez, 2016)

Calcular el uso y demanda del agua

Calcular el uso y demanda del agua es una característica importante de un plan de conservación del agua, identificar las fuentes de la utilización del agua, cuantificar la demanda y determinar la eficiencia de todos los dispositivos que utilicen agua. Esto formará un registro de la utilización del agua (cuánto, cuándo y dónde); este perfil de la utilización del agua servirá entonces para pronosticar la demanda de agua. Las fuentes de abastecimiento de agua existentes y sus capacidades de producción tienen que ser identificadas. Es indispensable que se tengan en cuenta el promedio y el pico máximo de la utilización y de la demanda; también implica determinar el impacto de todas las medidas de conservación emprendidas anteriormente sobre la demanda de agua. Los pronósticos de los aumentos previstos en futuras demandas de agua deben ser evaluados y, de ser posible, ajustados; estos pronósticos pueden ser causados por una amplia variedad de factores, por ejemplo, el aumento de la población, la alteración del uso de la tierra, los efectos de la conservación, normas nuevas o más estrictas para el uso del agua, y también la sustitución de dispositivos para el uso del agua ineficientes por otros más eficientes.

Se puede implementar un perfil de utilización del agua analizando el uso pasado y presente del agua en el lugar bajo consideración en el plan, ya sea una escuela, el hogar, la industria, granjas o proveedor de agua, etc. Esto se hace a través de la acumulación de características del uso del agua, y también de la información sobre la población a considerar, cómo utiliza la población el agua (consumo bajo techo vs. consumo al aire libre), utilización total, utilización máxima y demanda promedio. La instalación de contadores de agua puede desempeñar un papel importante en la obtención de esta información donde estos dispositivos no estén previamente instalados.

Un tipo/clase importante de agua a determinar es la cantidad de agua no contabilizada; está definida como el agua que entra al sistema pero cuya utilización no se puede explicar por las cifras del uso del agua. Es importante identificar la causa de esta pérdida de agua; se incluyen aquí las fugas o pérdidas del sistema, contadores inexactos, usos que no son medidos, o robo. El agua no contabilizada también puede causar la pérdida de ingresos, ya sea en empresas en las que hay tarifas para el agua, o donde el costo de la producción de agua es pagado por los contribuyentes locales.

Todos los perfiles del uso del agua también deben tomar en cuenta los efectos de todas las medidas de conservación adoptadas en las demandas proyectadas y futuras. (Peñuela & Morató, 2016)

En México, el consumo promedio de agua por persona es de 380 litros de agua al día (CONAGUA, 2019)

La población total del municipio de Tuxtla Gutiérrez es de 503320 personas.

Por lo cual existe un aproximado de 191,261,600 litros de agua al día consumida por toda la población de Tuxtla Gutiérrez.

Tratamiento de aguas residuales

El principal objetivo del tratamiento del agua residual es eliminar el material contaminante orgánico e inorgánico, para lograr una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de disposición a la que se destinara. La materia contaminante puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas. Para lograr la depuración de un agua residual, se hace mediante la implementación de operaciones (físicas) y procesos (químicos y biológicos), que serán elegidos dependiendo de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada.

Debido a la ley de conservación de la materia, al depurar el agua residual, el material contaminante se transformara o transferirá, así que se producirán emisiones gaseosas a la atmósfera e, inevitablemente, generar material de desecho que puede ser un residuo sólido, como la materia retenida en las cribas, o semisólido como lo son los lodos. Las cantidades y calidad de estos desechos dependerán de las características del agua residual a tratar y de la configuración del sistema de tratamiento.

Los requerimientos de insumos, tales como energía eléctrica y reactivos químicos, se darán en función de las tecnologías seleccionadas que conformaran el sistema de tratamiento, así que, el costo de operación dependerá también de eso.

Figura 2 Sistema de tratamiento de aguas residuales (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

En la formulación, planeación, selección y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales se debe tomar en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, las características del agua residual a tratar con relación a la variaciones de caudal, tipo y concentración de contaminantes, las características del efluente tratado como son los parámetros establecidos por normas, y del tipo de destino del efluente como puede ser descarga a un cuerpo de agua o bien para su uso directo o indirecto. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Los sistemas de tratamiento resultan de la combinación de procesos y operaciones unitarias en los que se pueden identificar distintos niveles para las aguas residuales, en función de los objetivos que se quieran alcanzar. La selección del sistema de tratamiento depende de una serie de factores, dentro de los cuales están[3]:

- Características del agua residual: DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), materia en suspensión, pH, productos tóxicos, entre otros.

[3] (Peñuela & Morató, 2016)

- Calidad del efluente necesario para la descarga
- Costo y disponibilidad de terrenos
- Tecnologías disponibles

Etapas del tratamiento de aguas residuales

Tratamiento preliminar

En el tratamiento preliminar se elimina toda la materia de gran y mediano volumen como ramas, animales muertos, plásticos, o bien problemáticos, como arenas, grasas y aceites que pueda provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso o en los sistemas auxiliares. Esta etapa se realiza por medio de cribas o rejillas, desarenadores, flotadores o desgrasadores. En algunos casos se utilizan trituradores para disminuir el tamaño de ciertos componentes y reincorporarlos al tratamiento. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Tratamiento primario

En esta etapa, una parte de sólidos y materia orgánica suspendida se elimina del agua residual gracias a la fuerza de gravedad. Los valores de remoción normalmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). Esta remoción comúnmente se realiza por sedimentación. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Los sistemas de tratamiento primario son procesos de tipo físico y/o químicos, que tienen como objetivo eliminar el contenido de sólidos presentes en las aguas residuales. Los procesos de tipo físico son aplicados a vertidos líquidos con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica no biodegradable y/o insoluble (en suspensión); mientras que los procesos químicos se usan para la eliminación de sustancias solubles, utilizando para esto sustancias químicas como floculantes[4] y/o coagulantes que mejoran la separación de partículas.

Su importancia se basa en quitar constituyentes de las aguas residuales que puedan afectar el normal funcionamiento de los diferentes procesos y operaciones, reduciendo los riesgos de problemas en las unidades de tratamiento posteriores.

Los tratamientos físico/químicos actúan sobre la base de que la coagulación y floculación debe ser realizada por agentes coagulantes que son agregados para neutralizar cargas en el sistema, mientras que la floculación se realiza con polímeros orgánicos que se adsorben y actúan como puentes entre las partículas, con el objetivo de aumentar el coágulo formado y de este modo, mejorar la velocidad de precipitación de los sólidos contenidos en las corrientes. (Peñuela & Morató, 2016)

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario se refiere a la eliminación de la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) de preferencia por medios biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción. Básicamente, los contaminantes contenidos en el agua residual son transformados por los microorganismos, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas generan flóculos, los cuales se separan de la corriente de agua tratada, comúnmente por sedimentación. Con esto, una sustancia orgánica soluble se convierte en flóculos que son fácilmente eliminados del agua. El objetivo principal de este tratamiento es reducir la materia

[4] Mejoran la sedimentación de partículas en suspensión de sistemas coloidales, alterando las propiedades físico-químicas de las partículas, acelerando su decantación.

orgánica y, los nutrientes como lo son el nitrógeno y el fósforo. Los tratamientos biológicos se dividen en dos tipos; los anaerobios y los aerobios. El proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja tasa de síntesis bacteriana, es decir, una baja generación de lodos de desecho. Por otro lado, en el proceso aerobio, una mayor cantidad de energía del sustrato es utilizada para la síntesis celular, por lo que existe una mayor producción de biomasa como lodo no estabilizado, cuyo tratamiento y disposición aumenta la dificultad técnica y el costo del tratamiento. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Se comprende por tratamiento secundario la degradación de la materia orgánica contenida en el agua residual, a través de un proceso biológico que se realiza por microorganismos que consumen dicha materia orgánica como nutriente. Entonces tiene como objetivo, el de disminuir la materia orgánica contaminante, otra manera de decirlo es reducir la demanda de oxígeno en el agua.

Los procesos biológicos pueden dividirse en:

- Sistemas con biomasa suspendida (SBS)
- Sistemas con biomasa fija (SBF)

Las ventajas de los sistemas de biomasa fija o sistemas en que los microorganismos forman biopelículas o biofilm, es que éstos son más robustos en su operación, ocupan menos área de instalación y logran operar altas cargas de materia orgánica con elevadas eficiencias de eliminación.

El sistema del tratamiento secundario puede ser de los tipos aeróbico o anaeróbico. Dentro de las cuales se diferencian la producción de metabolitos finales, los requerimientos de oxígeno y la cantidad de biomasa generada, causado por las características y tipos de bacterias de cada sistema. Por ejemplo, la generación de la biomasa en condiciones aeróbicas es de 60% más que la de un sistema anaeróbico. (Peñuela & Morató, 2016)

Tratamiento terciario o avanzado

Esta etapa se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el objetivo de eliminar componentes como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica que no se degrado. Por lo general, el tratamiento terciario se realiza cuando se debe cumplir condiciones de descarga estrictas o cuando el agua tratada se va a destinar a un uso en específico. De esta forma, el arreglo de tratamiento terciario debe ser el adecuado para lograr esa calidad específica, por lo cual incluye una gran variedad de posibles combinaciones de operaciones y procesos unitarios. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

La utilización de los distintos tipos de tratamiento de aguas residuales se relaciona con el cumplimiento de normas específicas de calidad, antes de que estas aguas tratadas vuelvan a utilizarse o sean descargadas a un cuerpo de agua. El tratamiento terciario tiene como objetivo eliminar compuestos específicos que no han sido eliminados por los tratamientos primarios y secundarios. Los sistemas empleados pueden ser de tipo físico, químico y/o biológico. Un ejemplo de aplicación es la adsorción con carbón activado, para la eliminación de sustancias organocloradas, o la desinfección para eliminar patógenos con ayuda de la cloración u ozonización, entre otros. (Peñuela & Morató, 2016)

Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

En la *Figura 3* se encuentra muchas posibilidades tecnológicas para conformar un tren de tratamiento de aguas residuales. Se indica dos divisiones de tratamientos, los fisicoquímicos y los biológicos. El tratamiento fisicoquímico incluye los procesos y fenómenos físicos (uso de la gravedad, filtración por retención física, atracción electrostática, etc.) y procesos químicos (coagulación, absorción, oxidación, precipitación, etc.). Los tratamientos biológicos involucran la degradación o transformación del material orgánico a través de microorganismos.

Los tratamientos biológicos se dividen en sistemas aerobios (necesitan oxígeno) y los anaerobios (no necesitan oxígeno). Un rubro aparte merecen los sistemas naturales, los cuales aprovechan las transformaciones que se realizan en el medio natural, solamente que en estas unidades su objetivo es incrementar su capacidad de tratamiento en unidades de proceso controladas. Por ejemplo los humedales artificiales o el tratamiento mediante descargas directas a suelo.

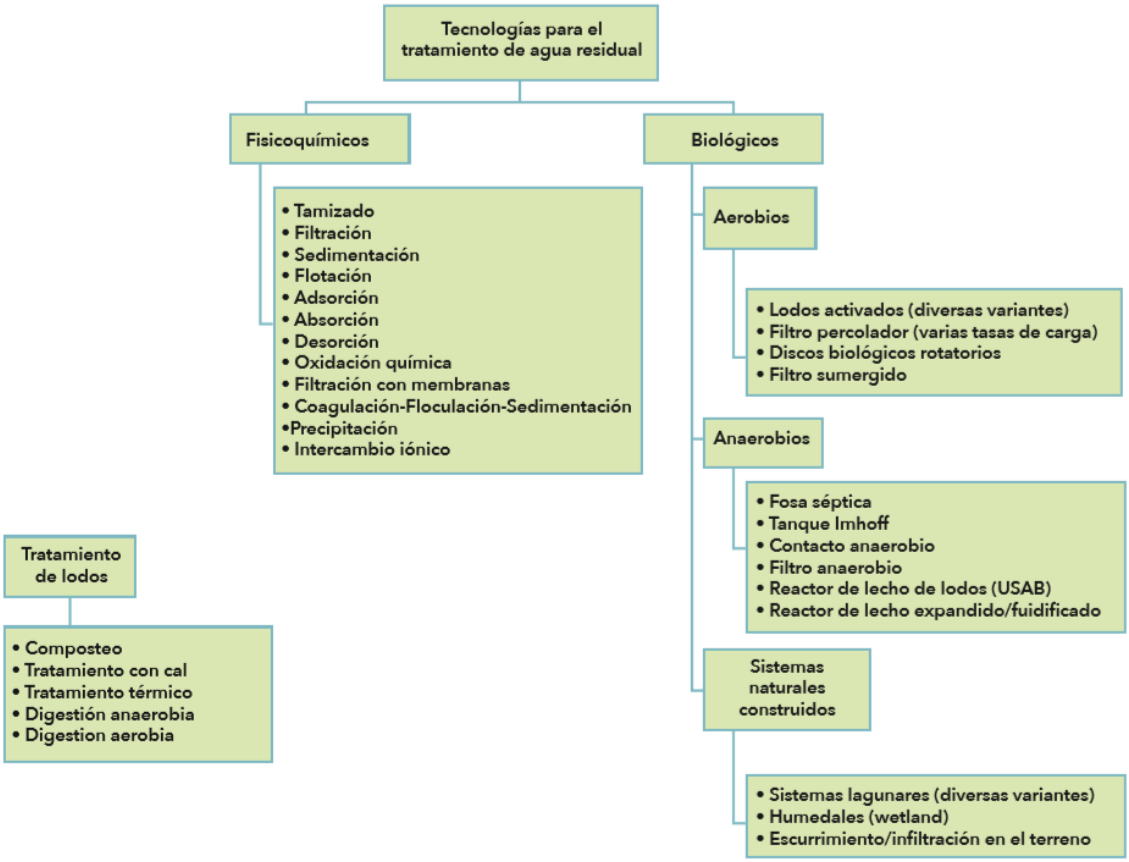


Figura 3 Tecnologías para el tratamiento de agua residual (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

La ventaja que tiene el sistema aerobio sobre el anaerobio, y por lo cual es utilizado ampliamente, es que la calidad del agua tratada es superior y logra cumplir con las normas ambientales estrictas. Las descargas anaerobias contienen materia orgánica disuelta (demanda química de oxígeno) y compuestos inorgánicos, que producen mayores impactos al cuerpo de agua receptor. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Filtros percoladores o rociadores

En este sistema no se realiza ninguna acción cribadora o filtrante, por lo que su nombre no está empleado de manera correcta; sin embargo, el tiempo y el uso han generalizado el término. En tratamiento de aguas residuales, la palabra filtro se debe a la presencia de un material de empaque, que "filtra" las aguas residuales reteniendo la materia orgánica disuelta. El filtro percolador es un equipo que pone en contacto a las aguas residuales con microorganismos adheridos en forma de biopelícula a un empaque, con el espacio suficiente para que el aire circule de manera natural. Un nombre que más le quedaría a este sistema puede ser el de lecho no sumergido de oxidación biológica o reactor biológico empacado no sumergido. Para el empaque ideal se debe tomar en cuenta una alta relación área/volumen, ser inerte, resistente, durable y de bajo costo. En la vida real, todas estas características no se encuentran en un solo material, por lo que normalmente se utilizan dos tipos de empaques, los naturales (materiales pétreos) y sintéticos (diversas geometrías de piezas de plástico). Los filtros percoladores se operan con distintas cargas orgánicas y superficiales dependiendo de la presencia o no de recirculación. La tasa de recirculación está en función de la cantidad de agua tratada que se regresa a la entrada y de la carga orgánica y superficial utilizada en el reactor. Una característica importante a resaltar de este dispositivo de tratamiento es que la aireación se hace por convección natural, es decir, el aire fluye por diferencia de temperaturas entre el ambiente interno del reactor y el externo. Con esto no se usa un sistema de aireación evitando así que se consuma energía y es posible alcanzar eficacias de eliminación de contaminantes del orden del 70 a 85% dependiendo la carga aplicada. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

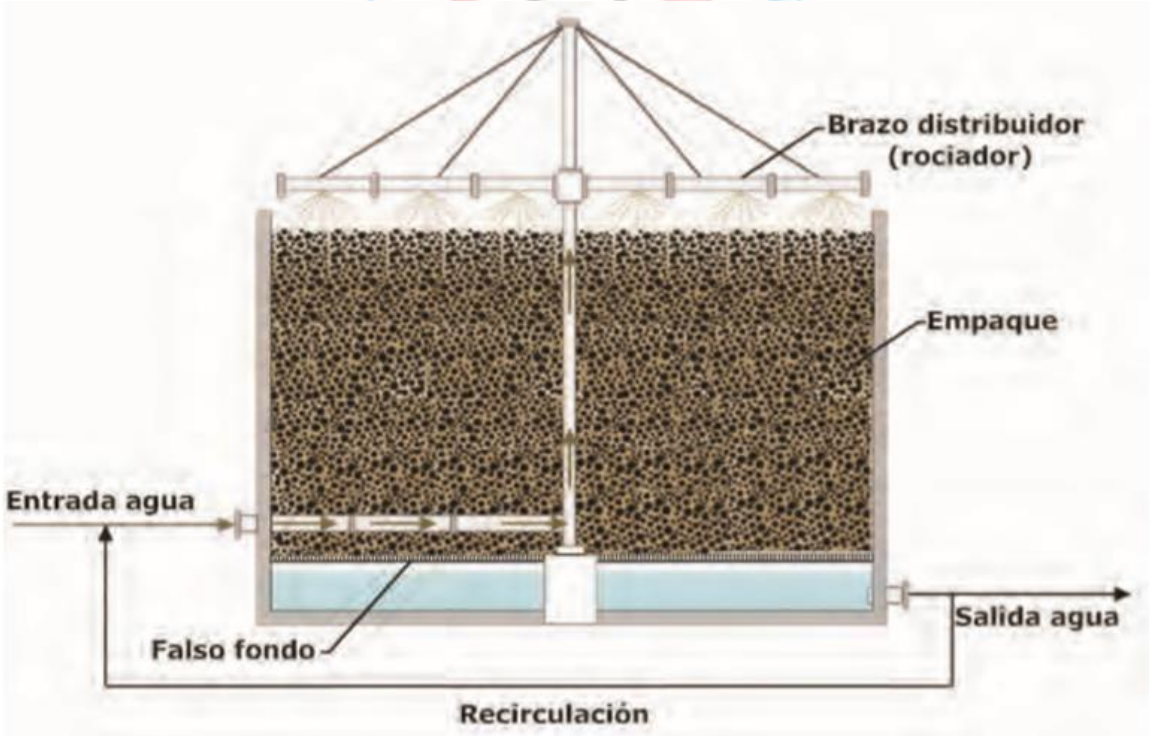


Figura 4 Filtro percolador (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Uso del Agua Tratada.

En cualquier proyecto de reutilización del agua tratada se deben tomar en cuenta los riesgos sanitarios para la salud pública. Debido a esto, es necesario identificar los niveles de calidad adecuados para cada uso, así como el proceso de tratamiento para depurar el agua con el objetivo de lograr los niveles de calidad establecidos previamente. (Peñuela & Morató, 2016)

El municipio se encarga de identificar el destino final del agua tratada dependiendo del ámbito legal y las necesidades de tratamiento y requerimiento de agua.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, el agua tratada es el producto principal que se obtiene, además del agua se obtienen dos residuos, que con un correcto manejo, pueden convertirse en subproductos que se pueden aprovechar, como lo son lodos o biosólidos y el biogás. La calidad del agua tratada es definida dependiendo de la normativa de descarga que se aplique en el caso particular, o bien, en regiones con falta de agua, del tipo de reutilización que se le desee dar. Consiguiendo con esto, que el agua resultante, a través del tratamiento que se la ha dado, obtiene un valor agregado considerable. Determinar con exactitud la calidad de agua tratada es un aspecto de gran importancia para poder configurar el tren de proceso de tratamiento. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Se clasifican en tres dependiendo su calidad, contacto directo, contacto indirecto, contacto ocasional.

Las actividades o lugares en los que se puede utilizar agua tratada, sin tener algún riesgo para la salud de los seres humanos o cualquier otro ser vivo, se encuentra en contacto indirecto.[5]

- Riego de jardines de glorietas, camellones, centro recreativos, parques, campos deportivos, fuentes de ornato, cementerios
- Lavado de vehículos, pisos o patios
- Descarga de sanitarios
- Llenado de cuerpos de agua artificiales como lagunas, estanques, arroyos.
- Llenado de sistemas de control de incendios
- Industriales y de servicios, (sistemas de enfriamiento, intercambiadores de calor, calderas, cortinas de agua, industria de la construcción, etc.)

Reuso en servicios al público con contacto directo: es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. Se consideran los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional: es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. Se consideran los siguientes reúsos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones. (Diario Oficial de la Federación, 1997)

[5] (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Muestreo

En la norma NMX-AA-003-1980 se pueden encontrar los lineamientos generales y recomendaciones para tomar muestras en las descargas de aguas residuales y aguas residuales tratadas, con el objetivo de determinar sus características físicas y químicas, donde se debe tomar en cuenta las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.

Los contenedores para las muestras deben ser de materiales inertes a las sustancias contenidas en las aguas residuales. Se recomiendan los recipientes de polietileno y vidrio. Las tapas de los recipientes deben ser del mismo material y cerrar herméticamente, en un laboratorio de calidad debe de haber de varios volúmenes, de entre 500 ml hasta 5 L, se deben agregar etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro, para que en cualquier momento cualquier persona pueda identificar las muestras.

Al tomar las muestras se debe tener cuidado de que sean representativas de las condiciones y características que existan en el punto de descarga y hora de muestreo, tener el volumen necesario para realizar con ello las determinaciones correspondientes.

El recipiente muestreador se debe enjuagar varias veces antes de realizar el muestreo.

Se coloca el recipiente muestreador en el punto a muestrear o de ser posible, se toma directamente la muestra en su respectivo recipiente.

La muestra se transfiere rápidamente del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que ésta siga siendo representativa.

Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.

El recipiente muestreador es atado con una cuerda y sostenido con la mano, se introduce en el canal del agua residual y se extrae la muestra.

Se deben cerrar bien los recipientes de las muestras para evitar que esta se derrame, se recomienda que el lapso de tiempo entre la extracción de la muestra y su análisis sea el menor posible y que no exceda de tres días, en las normas correspondientes a los análisis se detallan los intervalos dependiendo el tipo de medición. (Diario Oficial de la Federación, 1980)

Temperatura

La temperatura es el potencial o grado calorífico, referido a un determinado cuerpo. La temperatura del agua residual es normalmente mayor que las aguas de suministro local, a causa de la adición de agua caliente de las casas y de las actividades industriales. Debido al calor específico del agua y del aire, la temperatura observada del agua residual, es mayor a la temperatura local del aire, durante la mayor parte del año; solamente es menor durante los meses más calurosos del verano.

Los cambios de temperatura que se pueden esperar de las aguas residuales de la corriente, está en función de la época del año, el lugar y la hora; las temperaturas pueden ser más altas o más bajas que los valores de entrada correspondientes.

La temperatura del agua es un parámetro de importancia dada su influencia, tanto en el desarrollo de la vida acuática, como en las reacciones químicas y las velocidades de reacción, así como la habilitación del agua para determinados usos. (Marín Ocampo & Osés Pérez, 2013)

La temperatura termodinámica, también denominada temperatura absoluta, es una de las magnitudes fundamentales que definen el Sistema Internacional de Unidades (SI) y cuya unidad es el kelvin, simbolizado como K. Esta unidad se utiliza tanto para expresar valores de temperatura termodinámica como intervalos de temperatura.

En la norma NMX-AA-007-SCFI-2013 se puede encontrar el método de prueba que establece el procedimiento para hacer la medición de temperatura en el lugar donde se localiza el punto del canal a muestrear, y el resultado se expresa en grados Celsius (°C).

Cuando la temperatura del agua es elevada puede ser indicador de actividad biológica, química y física, por lo cual tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, y por lo tanto en la evaluación limnológica[6] de un cuerpo de agua, por ello se debe medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos contaminantes.

El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y un valor importante en los cálculos de balance de energía y de calor en los procesos industriales.

Esta norma mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013 establece el método de prueba para la medición de la temperatura en aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales en el intervalo comprendido entre 0 °C y 45 °C, cuando se usan instrumentos de medición directa o instrumentos que indican expansiones o fuerzas proporcionales en los cambios de temperatura.

Esta norma NMX-AA-007-SCFI-2013 es para su uso doméstico, como fuente de abastecimiento de agua potable, público urbano, recreativo con y sin contacto directo, riego agrícola, pecuario, acuacultura, industrial y protección de la vida acuática marina y de agua dulce y descarga en cuerpos receptores y alcantarillado municipal o reúso y es de aplicación nacional.

La temperatura significa potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo.

El principio de medición de temperatura se basa en las propiedades de los materiales de dilatarse o contraerse con las diferentes temperaturas o en las propiedades eléctricas de los materiales con los que se realizará la medición; estas propiedades son siempre las mismas para una temperatura dada, lo que permite calibrar los instrumentos de medición.

Para este tipo de medición no se necesita preparación ni conservación de las muestras. Las mediciones de temperatura deben efectuarse en el momento exacto en que se obtiene la muestra.

Siempre que sea posible se debe hacer la medición directamente en la corriente de descarga del agua, en caso contrario, se deberá extraer una muestra con la técnica y cuidado adecuado, para

[6] Rama de la ecología que estudia todo lo que respecta a ecosistemas acuáticos continentales, dejando fuera los mares y océanos. (EcuRed, 2012)

poder obtener mediciones constantes, y para finalizar enjuagar con agua destilada el instrumento de medición.

En caso de que no sea posible, ésta puede medirse en un punto accesible del conducto más próximo a la descarga.

Las lecturas se obtienen directamente de la escala del instrumento de medición de temperatura, y se reportan en grados Celsius (°C) redondeando al entero.

Sumergir inmediatamente el instrumento, en el centro del contenedor, hasta la marca o graduación que el medidor indica. Hacer suavemente movimientos circulares mínimo durante 1 min o hasta que la lectura del termómetro se mantenga constante. Si la temperatura de la muestra tiene una diferencia de más de 5 °C de la del ambiente, repetir el muestreo utilizando un vaso de doble pared. Si el termómetro es de sensor, se sumergirá en el volumen mínimo de muestra y a la profundidad que se recomienda en el instrumento de medición.

Calcular el promedio de las tres lecturas. (Diario Oficial de la Federación., 2013)

Conductividad

La conductividad electrolítica es un valor numérico de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esto depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas y de la temperatura.

Conocer la conductividad es de gran interés porque con esto podemos conocer el grado de mineralización del agua.

Los valores de conductividad para descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores están establecidos por límites máximos permisibles, incluso es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano.

En la NMX-AA-093-SCFI-2000 se puede encontrar un método de prueba para la determinación de la conductividad electrolítica en agua y es aplicable para agua potable, natural, tratada, residual, salina y residual tratada.

Este método consta en la propiedad que adquiere el agua de transportar la corriente eléctrica cuando contiene iones disueltos.

El transporte 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 parte se disocia en iones positivos y otra en negativos

$$MA \rightarrow M^{+} + A^{-}$$

Los iones se mueven independientemente y se van a los electrodos de carga opuesta gracias a la aplicación de un campo eléctrico.

La cantidad de moléculas que se disocian se debe a la concentración de la solución. Los fluidos, al igual que los materiales metálicos obedecen a la Ley de Ohm, excepto en voltajes muy altos y corrientes de frecuencia muy elevados.

El medidor de conductividad se le conoce como conductímetro y consta de una fuente de corriente alterna, un puente de Wheatstone o equivalente, un indicador de valor nulo y una celda de conductividad u otro instrumento que mida el índice de corriente alterna y su voltaje por medio de la celda, dando una lectura lineal de la conductividad, con compensador de temperatura manual o automático. Cuando se requiera hacer una medición de campo, se necesita de un equipo portátil que tenga las mismas características que el equipo de laboratorio.

De ser posible, la determinación de conductividad deberá tomarse directamente en la descarga del agua sin extraer muestra; si no se consigue esto, tomar un volumen mínimo necesario dependiendo el equipo empleado en un recipiente de polietileno limpio y determine la conductividad de manera inmediata.

Para conocer la conductividad, la medición debe realizarse lo más pronto posible, especialmente cuando hay posibilidad de existir un intercambio de gases como Dióxido de Carbono (CO2) y Amonio ($NH4^+$) con la atmósfera, o una posible actividad biológica. De no ser posible la determinación en el punto de muestreo, tomar la muestra en un envase de polietileno de alta densidad, con sello hermético, y llenar completamente el recipiente.

La muestra no necesita de ningún conservador, la actividad biológica puede disminuirse con la refrigeración a 4°C y en la oscuridad. La temperatura del agua se toma en el punto a muestrear. Analizar la conductividad lo más pronto posible o antes de 24 h.

Si el conductímetro no se usa constantemente, se debe calibrar el equipo antes usarlo.

Para determinaciones constantes establecer las fechas de calibración dependiendo de la estabilidad del equipo a utilizar.

Seguir las instrucciones que indica el equipo para su correcta operación.

Para realizar la calibración las disoluciones patrón deben estar de preferencia a 25°C o a la temperatura ambiente.

El conductimetro debe ser calibrado con una disolución patrón de Cloruro de Potasio (KCl) o de Cloruro de Sodio (NaCl) donde el valor de conductividad es conocido y esté lo más cercano posible al valor de la conductividad esperada y de la amplitud de resistencia del equipo, cada vez que se cambie de celda, se platinizen los electrodos, o los valores varíen demasiado.

Enjuagar la celda con la disolución patrón antes de hacer la calibración para evitar que se contamine con electrolitos

Hundir la celda en la disolución patrón, la disolución necesita cubrir los orificios de ventilación de la celda, agitar la celda verticalmente para quitar las burbujas de aire.

Elegir el intervalo correcto de medición en el conductimetro, si la lectura no corresponde a la disolución patrón, se deberá ajustar con el control de calibración hasta que la lectura del equipo corresponda al valor de la disolución.

Para la medición se necesita alistar el instrumento para su uso con forme a las instrucciones del fabricante y elegir un electrodo con la constante de celda adecuada para el rango de medición en que se usará.

El volumen de la muestra está en función del equipo que se utiliza.

Las muestras y la disolución patrón deben estar de preferencia a 25°C o a la temperatura ambiente

Determinar la temperatura de la muestra en caso de que el equipo no cuente con compensador de temperatura

Enjuagar la celda con la disolución patrón antes de efectuar la medición para evitar contaminación de la muestra por electrolitos.

Hundir la celda en la disolución de calibración, se necesita un nivel necesario para que la disolución cubra los orificios de ventilación de la celda, agitar la celda verticalmente para eliminar las burbujas de aire.

Elegir el intervalo requerido de medición en el equipo, cuando se haya estabilizado la lectura, registrar el valor de conductividad.

Después de cada uso, quitar la celda de la disolución y enjuagarla con agua desionizada

Anotar las lecturas como conductancia específica o conductividad, mS/m a 25°C

Muchos aparatos incluyen correcciones de la constante de celda en una función integral y directamente medida de la conductividad que se obtuvo. En su caso multiplicar el valor de la conductancia obtenida por la constante de celda para obtener la conductividad electrolítica.

El valor de conductancia de disoluciones electrolíticas en agua, es casi siempre positivo y con un rango de 1 a 3 % por °C, que está en función de la concentración de los iones electrolíticos y de su naturaleza.

En las mediciones de conductividad la temperatura de referencia es de 25°C, así que la mayoría de estos equipos cuentan con compensador de temperatura.

En caso de que el aparato no cuente con un compensador, se necesita ajustar la temperatura de la disolución a prueba a 25°C. No es recomendable realizar un ajuste matemático con un factor debido a su naturaleza empírica.

Hay factores de corrección por temperatura muy específicos, para la conversión de valores de conductividad de aguas naturales a varias temperaturas en °C a la temperatura de referencia de 25°C

Si el agua contiene demasiados sólidos en suspensión se recomienda esperar a sedimentar antes de medir la conductividad con el objetivo de reducir la posibilidad de ensuciar el electrodo de la celda.

Se debe evitar que las grasas y aceites cubran el electrodo, porque dañan la precisión del instrumento.

Se debe eliminar las burbujas que se forman en la celda de medición.

Si las muestras se dejan expuestas a la atmósfera se puede cambiar 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 que existe en la atmosfera puede cambiar drásticamente la conductividad/resistividad del agua pura. El contacto con aire se podría evitar si se usan celdas en línea o de flujo continuo. (Diario Oficial de la Federación, 2000)

Ventajas y desventajas de los ensayos in situ

Ventajas:

- Obtención de la información de manera inmediata
- Metodología de trabajo simple
- Permite medir en continuo para ajustar procesos
- No requiere de instalaciones fijas
- Evita problemas de conservación de muestra
- Minimiza los riesgos de contaminación cruzada

Desventajas:

- Durabilidad de los equipos
- Mayor incertidumbre de los ensayos
- Conservación de los patrones de calibración
- Limpieza en campo
- Condiciones atmosféricas desfavorables
- Repetitividad de las condiciones de ensayo (condiciones ambientales no controladas)

Características generales de las mediciones in situ

- Cuando sea posible las mediciones se deben realizar en la corriente de descarga.
- La parte de la sonda donde está el electrodo tiene que estar completamente sumergida.
- Si la medición no se puede tomar directamente de la corriente de descarga se tomará una muestra en un contenedor y se hará la medición inmediatamente en el recipiente.
- El agua siempre debe estar circulando a través de la sonda, si no existe circulación moveremos la sonda suavemente.
- Hay que permanecer el tiempo necesario hasta que la lectura se estabilice. Si la sonda incluye un termopar de temperatura, se necesita esperar hasta que electrodo y el instrumento compensen la temperatura.
- No se debe medir en las partes donde la circulación del agua sea muy elevada.
- No se debe medir en las partes donde el agua se encuentre estancada o con muy baja circulación.

Calibración del conductímetro

- Se trata de estandarizar el conductímetro con disoluciones de conductividad conocida.
- El número y valor de patrones a utilizar dependerá de las instrucciones del instrumento, siendo lo normal calibrar a 147, 1413 y 12880 µS/cm
- Las disoluciones patrón se pueden conseguir comercialmente aunque es posible hacerlos en laboratorio.
- Cuando la calibración esté terminada es recomendable verificar que la calibración sea adecuada, para lo cual se medirá la conductividad de una disolución patrón que no

haya sido utilizada para la calibración y compararemos el resultado con la lectura de referencia.

Medición de conductividad

- Las lecturas de conductividad se registran en µS/cm.
- La temperatura y la conductividad del agua están íntimamente relacionadas, por lo que las lecturas se registran interpolando los valores de conductividad a 20 ó 25ºC.
- A partir de los valores de conductividad, se puede calcular el valor de solidos disueltos totales.

Normalmente los valores de conductividad en aguas residuales urbanas se encuentran en el intervalo de 500 a 1.500 µS/cm.

Cuando la conductividad sea mayor a 3.000 µS/cm, es posible que afecte el proceso biológico de depuración evitando el desarrollo de una comunidad bacteriana estable. Causa un desequilibrio en la colonia bacteriana, las bacterias filamentosas son más resistentes lo que provoca que se debilite la estructura flocular del fango activo reduciendo su densidad y por consecuente su velocidad de sedimentación.

En descargas de origen urbano no es común conductividades tan altas. Las elevadas conductividades suelen ser provocadas por infiltraciones de aguas marinas en zonas de costas o en vertidos de origen industrial.

Se necesita instalar sistemas de desalinización previos al sistema biológico, debido a que es prácticamente imposible actuar sobre los ajustes de la estación de tratamiento para reducir la conductividad. (Torres, 2018)

Demanda química de oxigeno

La demanda quimica de oxigeno, es una estimación de la materia que se puede oxidar, por un oxidante quimico fuerte. Esto quiere decir que necesita condiciones menos controladas que la DBO. El limite que se permite para descargas a sistemas de alcantarillado, no debe exceder de 75 mg/l. (Marín Ocampo & Osés Pérez, 2013)

Ventajas y limitaciones de DQO con respecto a la DBO

A) Ventajas:

El tiempo, la manipulacion y los costos de equipos son menores para ensayos de DQO.

Las condiciones de oxidacion por DQO son efectivos para mas compuestos quimicos.

Las condiciones de ensayos de DQO pueden ser estandarizados mas facilmente, para dar resultados precisos.

Los resultados de DQO son utilizables siempre y cuando el desecho esté en la planta.

Los resultados de la DQO se pueden utilizar para indicar el daño potencial de las aguas con una baja concentracion en los depositos de lodos.

El resultado de DQO, mas el equivalente de oxigeno para amoniaco y nitrogeno organico, es una buena estimacion de la DBO final para muchas aguas residuales domesticas.

La DBO sierve para seleccionar las diluciones necesarias en ensayos de DBO

B) Limitaciones

Ciertas sustancias no son oxidadas bajo condiciones quimicas, o bien, se escapan como compuestos volatiles antes de ser oxidados (el amoniaco, los hidrocarburos aromaticos, los hidrocarburos saturados, la piridina) son ejemplos de materiales cuyos resultados experimentales son menores que el teorico.

Al utilizar el dicromato con H_2SO_4 exige cuidados de manipulacion para evitar accidentes.

La oxidacion del ion cloruro o cloro puede dañar los resultados de la DQO, aunque no altera la DBO

No se recomienda que se espere resultados precisos en aguas saladas

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O_2/L). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros...), que también se reflejan en la medida.

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que puedan contener una cantidad apreciable de materia orgánica. Este ensayo es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras. No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato potásico.

La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables. Por esto la reproductividad de los resultados y su interpretación no pueden ser satisfechas más que en condiciones de metodología de ensayo bien definidas y estrictamente respetadas.

El valor obtenido es siempre superior a la demanda biológica de oxígeno (aproximadamente el doble), ya que se oxidan por este método también las sustancias no biodegradables. La relación entre los dos parámetros es indicativa de la calidad del agua. En las aguas industriales puede haber una mayor concentración de compuestos no biodegradables. (WIKIPEDIA, 2019)

Demanda bioquímica de oxigeno

Es el parametro que nos dice el contenido de materia organica biodegradable que tiene un cuerpo de agua, y la cantidad de oxigeno que se necesita para su descomposicion. Tambien nombrada, demanda biologica de oxigeno.

La determinación da a conocer, la cantidad de materia organica que puede ser consumida u oxidada, por una colonia bacteriana en una muestra de agua. Consta de la comparación del oxigeno disuelto,

inicialmente en la muestra, con el existente en una muestra similar, despues de haber sido incubada durante cinco dias a una temperatura estandarizada de 20°C. Estos cinco dias, son el tiempo estandar destinado, para que las bacterias consuman la materia organica presente en la muestra. Se obtiene el DBO_5 y se expresa en miligramos de oxigeno disuelto por litro (mg O_2/litro)

Cuando se descargan aguas con DBO elavadas a un cuerpo receptor, las bacterias y otros microorganismos cuentan con una rica fuente de alimentos, lo que permite que se reproduzcan con mayor rapidez. Las cantidades, cada vez mas elevadas de bacterias, consumen el oxigeno del agua. Si la DBO del efluente es demaciado alta, o el cuerpo receptor no es capaz de disminuirla hasta obtener un nivel seguro, la cantidad de oxigeno disuelto disminuye de tal manera que los peces y otros organismos acuaticos mueren asfixiados.

Los valores por arriba de 30 miligramos de oxigeno disuelto por litro (mg O_2/litro) pueden ser indicativos de contaminacion de aguas interiores, aunque las aguas residuales pueden llegar a tener una DBO de miles de mg O_2/litro. (Marín Ocampo & Osés Pérez, 2013)

Es una aproximación de la cantidad de oxígeno que necesita una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un lapso de 5 días a una temperatura de 20°C. El método consiste en medir la cantidad de oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que ayudan al desarrollo de los microorganismos y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al terminar los días de incubación

La norma mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 indica el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en aguas residuales y residuales tratadas. (Diario Oficial de la Federación, 2001)

Solidos sedimentables

Los sólidos sedimentables son todos aquellos solidos que se sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante 1 hora. Se cuantifica volumétricamente con ayuda del uso del cono imhoff.

Los sólidos sedimentables son los que causan la turbiedad, a causa de que generan dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua; se indica la profundidad a que deja de ser visible una marca u objeto patrón.

Las aguas naturales, residuales o residuales tratadas con contenidos elevados de solidos sedimentables, no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias o las plantas potabilizadoras.

El material sedimentable se define como la cantidad de solidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente en condiciones de reposo. (Marín Ocampo & Osés Pérez, 2013)

Las aguas residuales tratadas con contenidos elevados de sólidos sedimentables no pueden ser utilizadas por las industrias o las plantas potabilizadoras, para ello primero deben pasar por un tratamiento para eliminar la mayor cantidad de solidos sedimentables, debido a eso se deriva el interés por medir este parámetro de manera cuantitativa.

En la norma NMX-AA-004-SCFI-2013 se puede encontrar el método para la medición de sólidos sedimentables en aguas residuales tratadas que es de aplicación nacional.

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

Para la medición de este parámetro es necesario colectar un volumen de 1 litro de muestra homogéneo y representativo al flujo del caudal, en un recipiente de vidrio o polietileno con tapa de boca ancha, teniendo siempre en cuenta que el material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente.

El tiempo máximo de almacenamiento antes de realizar el análisis será de 7 días. Pero se recomienda hacer el análisis en las 24 h posteriores a la toma de muestra.

Agitar el contenedor con la muestra con el fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el volumen del líquido. Al momento de la medición la muestra deberá estar a temperatura ambiente.

Introducir 1 litro de la muestra bien mezclada en un cono Imhoff. Dejar en reposo para que sedimente durante 45 min, cuando haya transcurrido este tiempo desprender suavemente los sólidos que quedaron adheridos a las paredes del cono con un agitador; mantener en posición estática 15 min más y reportar el volumen de sólidos sedimentables en ml/L. Si en los sólidos sedimentables hay bolsas de líquido y/o burbujas de aire entre partículas gruesas, estimar empíricamente su volumen y restar del volumen de la materia sedimentada.

En caso de que exista materia flotante, estos no se deben tomar en cuenta en la medición de solidos sedimentables.

Tomar directamente la lectura de sólidos sedimentables del cono Imhoff.

Registrar la lectura obtenida en ml/L. (Diario Oficial de la Federación, 2013)

PH

La medición del diario del pH se hace de forma electrométrica, a una temperatura especifica. Proporciona un valor característico relacionado con el nivel de acidez intrínseca de la disolución a prueba.

El pH es una propiedad muy importante, tanto para aguas naturales como para aguas residuales. El agua residual, con concentraciones de ion hidrogeno inadecuadas, presenta complicaciones para el tratamiento con procesos biológicos; el efluente puede cambiar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales, si esta no se arregla antes de la evacuación del agua.

El pH de los cuerpos de agua, puede determinarse con un potenciómetro. El mismo procedimiento se realiza con soluciones indicadoras y tiras de pH; estos cambian de color a valores específicos de pH y son comparados con los colores de series normalizadas.

El valor de pH es una característica regulada por límites máximos permisibles, en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores; también es una propiedad de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano. (Marín Ocampo & Osés Pérez, 2013)

La medición del grado de acides del agua es de interés para muchos tipos de muestra. Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente. Es el parámetro de más relevancia utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un cuerpo de agua. Conocer el pH es importante para el correcto funcionamiento de los procesos de tratamiento de aguas residuales y subprocesos (por ejemplo, floculación y desinfección con cloro), el control de disolución de metales y tratamiento biológico de aguas residuales y las descargas de aguas residuales.

Los métodos electrométricos están basados en la medición de la diferencia de potencial de una celda electroquímica, la cual tiene dos medias celdas, la primera celda consiste en un electrodo de medición y la segunda en un electrodo que sirve de referencia. El potencial del electrodo de medición es una función de la actividad del ion hidrógeno de la disolución de medición.

Esta norma mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016 es de aplicación nacional y establece el método de prueba para la cuantificación del grado de acides en aguas residuales y residuales tratadas, entre un intervalo de pH 0 a pH 14 y entre un valor de temperatura de 0 °C a 50 °C

El valor de pH de una medición depende de la temperatura debido al equilibrio de disociación. Por ello, la temperatura se tomara de la misma muestra y será reportada junto con el pH.

Si se utiliza un equipo con compensador de temperatura, no es necesario que se reporte la temperatura para cada medición echa, solamente se debe mencionar que el equipo ya tiene incorporado un compensador de temperatura.

En la medición del pH pueden existir interferencias como la temperatura, liberación de gases en los alrededores del electrodo, materiales orgánicos y materiales suspendidos. Para eso se debe esperar para su sedimentación y luego sumergir los electrodos sin agitar. Cuando se realiza la medición en aguas residuales y en aguas superficiales, existe el riesgo de manchar los electrodos o de contaminar las membranas y los diafragmas con aceite, grasa u otros contaminantes. Enjuagar justamente después de la medición con HCl 1:1 o disolución de limpieza. Cuando sea posible quitar la mayor cantidad de grasa de la superficie.

En aguas con baja conductividad, se puede observar variación en las mediciones. Los efectos de agitación y efectos de memoria (retrodifusión de la disolución de medición dentro del electrodo de referencia) pueden provocar desviaciones en las lecturas. Así que, cuando ocurra esto, se pueden utilizar electrodos especiales de pH (por ejemplo con un diafragma sólido o con un puente interno con una disolución de AgCl-disolución de referencia libre de electrolitos).

La compensación de la temperatura realizada por los pHmetros disponibles comercialmente, se basa en la ecuación de Nernst, es decir, depende de la temperatura y la pendiente teórica que corresponden a los electrodos, tomada en cuenta en la indicación del valor de pH. Sin embargo, no compensa la dependencia de la temperatura en el valor del pH de la disolución de medida.

Los electrodos que vienen en los Phmetros comerciales constan de 2 medias celdas e involucran reacciones de óxido reducción y pueden ser de varios tipos.

A continuación se describen los más comúnmente empleados para la medición del pH:

- Clase 0; Compuestos de metales inertes y celdas de óxido-reducción electrolítica

- Clase 1; Compuestos de un metal embebido en una solución electrolítica del mismo metal, por ejemplo Ag/Ag+

- Clase 2; Compuestos de un metal embebido en una sal del mismo metal, por ejemplo $Ag/AgX/X^-$

El cuerpo del electrodo puede estar construido de diferentes materiales.

El valor práctico de la pendiente debe ser mínimo del 95%, de la pendiente teórica, a menos que el equipo especifique otro valor.

Generalmente los instrumentos cuentan con la función de intervalo permisible de la pendiente, entonces el cálculo se realiza automáticamente, solamente se debe seguir los pasos que vienen con el quipo para configurarlo correctamente.

En caso de que el equipo no cuente con esa función, se deberá realizar el cálculo de la pendiente de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

El valor de pH puede cambiar rápidamente en la muestra de agua como resultado de procesos químicos, físicos o biológicos. Por esto, se recomienda medir el pH justamente de la descarga de agua, si esto no es posible, tomar mínimo ½ L de muestra de agua en un contenedor de muestreo y hacer la medición antes de 6 h de la toma de muestra, cuando se realice de esta manera se deberá señalar en el informe de laboratorio el tiempo en que se midió el valor de pH.

Cuando se está recolectando la muestra, evitar el intercambio de gases, ejemplo la liberación de dióxido de carbono entre las muestras y el aire del ambiente. Llenar el recipiente completamente y taparlo correctamente evitando todo lo posible para que no se formen burbujas. Durante el transporte y almacenamiento de las muestras, se necesitan mantener a 4 ° C ± 2 ° C y en la obscuridad o protegido de la luz solar.

Comúnmente, el muestreo y transporte son los principales factores de variación de pH. Entonces cuando se mide in-situ, normalmente las variaciones de medición son bajas.

Para que el electrodo de pH funcione correctamente, se debe dar mantenimiento, limpieza y verificación constantemente, de acuerdo a las especificaciones del equipo y a los criterios del laboratorio, cada vez que se haga esto se debe de reportar.

Atemperar las disoluciones patrón de referencia para la calibración y patrones de trabajo para la verificación (muestra control), que se utilizaran, se recomienda que la temperatura no varié de 5 °C, de la muestra a medir.

La decisión de que disoluciones patrón de referencia se utilizaran, estará en función del pH esperado en la muestra que se desea medir, lo cual se puede conocer mediante una tira indicadora de pH, la cual se humedece con la muestra problema y se hace una aproximación del valor de pH, con ayuda de la escala de colores con las que cuenta la tira indicadora, esto es de importancia sobre todo cuando se realiza la calibración solo a dos puntos.

Cuando se usa un electrodo de pH sin un sensor de temperatura interno, sumergir el instrumento de medición de temperatura en la disolución, al mismo tiempo, para todas las mediciones que se realicen.

Parámetros como la compensación de temperatura, el reconocimiento automático de disoluciones patrón de calibración, estabilidad de las lecturas, intervalos permisibles de la pendiente, pueden influir adversamente en la calibración e incluso dar lugar a errores sistemáticos.

Cundo la calibración del equipo esté terminada, se debe comprobar con al menos 3 lecturas de cada una de estas mismas disoluciones patrón de referencia. Las lecturas deberán ser independientes y realizadas consecutivamente con la misma alícuota, enjuagar el electrodo con agua destilada o desionizada, cada que se use. Entre las mediciones no debe haber una variación de más de ± 0,05 unidades de pH del valor nominal del patrón de referencia usado (con las tiras indicadoras) y entre las mediciones independientes echas no deberá haber una variación mayor a 0,03 unidades de pH entre ellas, anotar cada medición de pH y la temperatura a la cual se realizó la lectura, en caso de que no se haga con equipo con compensador de temperatura.

Luego se deberá hacer al menos una lectura de una disolución patrón de trabajo (muestra control), luego hacer al menos 3 mediciones independientes consecutivas, de la misma muestra, enjuagar el electrodo de pH con agua destilada o desionizada, máximo deberá haber una diferencia de 0,03 unidades de pH entre las lecturas, reportar para cada lectura de pH, la temperatura a la que estaba la muestra en el momento en que se efectuó la medición, en caso de que no se haga con equipo con compensador de temperatura.

La calibración o calibración analítica se entiende como el ajuste que se le hace a un equipo, mediante la diferencia con patrones de referencia.

Una vez que el instrumento esta calibrado y comprobado correctamente, se comienza hacer la medición de la muestra problema.

Sumergir el electrodo parcialmente en la muestra problema o hasta la marca que indique el equipo, moverlo suavemente y esperar que la lectura de pH se estabilice, obtener y reportar mínimo tres lecturas consecutivas independientes, cada que se hace uso del electrodo enjuagarlo con agua destilada o desionizada. Los intervalos entre las tres lecturas no deberán ser de más de 0,03 unidades de pH. Registrar el valor de temperatura en caso de que el equipo no cuente con compensador de temperatura.

Registrar el promedio obtenido de los tres valores de pH redondeando a una cifra decimal y los tres valores de temperatura, solamente cuando el equipo no tenga un compensador de temperatura, también se deberá anotar el tiempo trascurrido entre la toma de muestra y su análisis, que debe ser máximo 6 h a partir de la toma de muestra.

Si entre las tres mediciones existe una diferencia de más de 0,03 unidades de pH, de preferencia repetir el análisis de pH con otra porción de la muestra problema, en caso de que esto no se pueda o continúe el problema repetir desde el procedimiento de calibración. (Diario Oficial de la Federación, 2016)

Materia Flotante

La materia flotante es cualquier material que quede retenido en una malla entre 2.8 mm y 3.3 mm de abertura. La determinacion de materia flotante en aguas residuales y aguas residuales tratadas, es de gran importancia para el control y el tratamiento de descargas. La materia flotante debe estar completamente ausente en el agua residual tratada. (Marín Ocampo & Osés Pérez, 2013)

Determinar la presencia de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas es de interés para el control y tratamiento de estas.

Esta norma mexicana NMX-AA-006-SCFI-2000 indica el método de prueba para la determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas.

El método que indica la norma consta de la observación de la materia flotante en una muestra de aguas residuales en el lugar de muestreo mediante la separación de ésta en una malla de 2.8 y 3.3 mm de abertura; Se toma una decisión de manera cualitativa.

Verter entre 3 y 5 litros de la muestra a través de la malla, hacerlo de manera cuidadosa para que la materia flotante que sobrenada, quede retenida en dicha malla.

Con agitador de vidrio o una espátula arrastrar hacia la malla la materia flotante que estuviera sobre la superficie de la muestra de agua residual que se está vertiendo o la que quedara pegada al recipiente.

Después de haber filtrado el agua, se comienza a examinar la malla.

El reporte depende de la presencia o ausencia de materia flotante retenida en la malla. Reportar como ausencia de materia flotante, si al observar la malla no se ve a simple vista presencia alguna de materia retenida. Reportar como presencia de materia flotante, si se logra percatar visualmente materia retenida sobre la malla. (Diario Oficial de la Federación, 2000)

Solidos totales y solidos totales volátiles

El agua puede tener contenido, tanto, material en suspensión como compuestos solubilizados. Se definen los sólidos tales como, los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su posterior secado en estufa a una temperatura determinada. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos (porción de solidos totales retenidos por un filtro) y los sólidos disueltos totales, (porción que atraviesa el filtro). El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas superficiales como subterráneas.

Los solidos totales es la materia que queda despues que una muestra de agua residual ha sido evaporada y secada a una temperatura especifica de 103 a 105°C. (Marín Ocampo & Osés Pérez, 2013)

El fundamento de este método consta de la medición cuantitativa de los sólidos totales y solidos totales volátiles, contenidos en aguas residuales y residuales tratadas, a través de la evaporación y calcinación de la muestra, a determinadas temperaturas, en donde los residuos son pesados y sirven de referencia para el cálculo del contenido de estos.

Sólidos Totales (ST): Es el residuo que se queda en una cápsula después de haber evaporado y secado una muestra a una temperatura de 105 °C ± 2 °C.

Sólidos Totales Volátiles (STV): Es la cantidad de materia orgánica e inorgánica que se volatiliza a causa de la calcinación a 550 °C ± 50 °C.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días y almacenarlas a una temperatura de 4 °C ± 2 °C.

Tomar una muestra del agua de mínimo 600 ml en envases de plástico o vidrio y cerrarse inmediatamente después del muestreo. La medición se puede hacer con muestras compuestas o simples. Se debe evitar llenar los recipientes completamente para que exista una correcta homogenización de la muestra a través de la agitación.

Meter las cápsulas al horno a una temperatura de 105 °C ± 2 °C, al menos 20 min. Solamente en el caso de la medición de sólidos volátiles, las cápsulas posteriormente se meten a la mufla a una temperatura de 550 °C ± 50 °C, al menos 20 min. Luego de este tiempo llevarlas al horno.

Llevar la cápsula al desecador y esperar mínimo 20 min a que se enfrié.

La manipulación de la cápsula durante el análisis, siempre deberá hacerse con unas pinzas.

Pesar las cápsulas y Hacer nuevamente el ciclo horno-desecador hasta alcanzar una diferencia ≤ 0,000 5 g en dos pesadas consecutivas. Reportar como m_1 tomando en cuenta para los cálculos el último valor de la masa.

Usar una charola de aluminio, apoyándose de unas pinzas colocarlo con la cara rugosa hacia arriba en el equipo de secado y/o filtración.

Pesar el soporte de secado y repetir el ciclo horno-desecador hasta obtener una diferencia ≤ 0,000 5 g en dos pesadas consecutivas. Anotar como m_2, tomando en cuenta para los cálculos el último valor de la masa.

Al realizar el análisis las muestras deben estar a temperatura ambiente. Antes de hacer la medición se agita para lograr una buena homogeneización.

Medición de sólidos totales (ST):

Utilizar un volumen de muestra suficiente, de tal manera que el residuo seco sobre la cápsula este en un valor de masa de entre 2,5 mg y 200 mg.

Colocar la muestra en una cápsula previamente puesta a masa constante y evaporar hasta la sequedad en el horno de secado a 105 °C ± 2 °C.

Si se utiliza una placa de calentamiento o parrilla se deberá calentar sin llegar al punto de ebullición y llegar así hasta casi sequedad y después introducir la capsula al horno de secado a 105 °C ± 2 °C por una hora para secarla completamente.

Meter la cápsula al desecador y esperar a que se enfrié durante 20 min. Conseguir que la cápsula llegue a masa constante repitiendo el ciclo horno-desecador, hasta alcanzar una diferencia ≤ 0,000 5 g en dos pesadas consecutivas.

Reportar como m_3, la última masa obtenida.

Para calcular los sólidos totales se utiliza la siguiente formula:

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V} \; 1\,000\,000$$

Donde:

ST Son los sólidos totales, en mg/L;
m_3 es la masa de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en g;

m_1 es la masa de la cápsula vacía a masa constante, en g, y
V es el volumen de muestra, en ml.

Medición de sólidos totales volátiles (STV):

Para calcular los sólidos totales volátiles (STV) se utiliza la siguiente formula:

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

Donde:

STV son los sólidos totales volátiles, en mg/L;
m_3 es la masa de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en g;
m_4 es la masa de la cápsula con el residuo, después de la calcinación, en g, y
V es el volumen de muestra, en ml.

Colocar la cápsula con el residuo a la mufla a 550 °C ± 50 °C en un lapso de 15 min a 20 min, luego llevar la cápsula al horno a 105 °C ± 2 °C, mínimo durante 20 min. Registrar el valor de masa como m_4.

Si la muestra no es homogénea o contiene dos o más fases, pueden causar errores durante el muestreo en campo y en la toma de alícuotas para la medición de sólidos.

La temperatura a la cual el residuo se seca, tiene un efecto muy importante sobre los resultados, ya que pueden causar pérdidas en la masa de la materia orgánica que esta durante la etapa de secado y/o la producción de gases por descomposición química y/o por la oxidación del residuo, así como por la oclusión de agua.

Si se obtuvieron resultados a partir de muestras con altos contenidos de grasas y aceites, no son muy confiables debido a la dificultad de secado a masa constante en un tiempo razonable.

Las muestras que contienen organismos vivos o materiales viscosos, son especialmente sensibles al trasporte y a las condiciones del ensayo. (Diario Oficial de la Federación, 2015)

Biodegradabilidad

La biodegradabilidad en las aguas residuales está estrechamente relacionada con la calidad del agua, es bien sabido que la mayor parte de las sustancias que contiene el agua residual, ya sea disuelta, suspendida o coloidal, es materia orgánica, que en parte es biodegradable. La biodegradabilidad de estas sustancias es la capacidad de depurar las aguas residuales por medio de microorganismos, los que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción. La depuración de las aguas residuales es lo que hace que se vaya regenerando la calidad de este recurso que a la vez previene la contaminación de los cuerpos de agua existentes tanto superficiales como subterráneos.

Existen sustancias que no son biodegradables o lo hacen lentamente, lo que genera una limitante para los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, por lo tanto es indispensable implementar a las plantas de tratamiento operaciones basadas en mecanismos físico-químicos, las

que normalmente son de costo elevado y a la vez producen un residuo que es de difícil disposición final.

La biodegradabilidad es una característica de la materia orgánica que se vincula con el nivel de susceptibilidad de que éstos sean depurados por microorganismos y por lo tanto condiciona en gran medida la capacidad de tratar biológicamente un efluente que contenga un determinado compuesto. Para el caso de un agua residual que contenga materia orgánica natural, la degradación es relativamente fácil, aunque existen sustancias como las grasas y aceites que no se pueden degradar.

En el caso de las aguas residuales industriales la biodegradabilidad resulta más complicada. La factibilidad para depurar sustancias orgánicas más complejas como grasas y aceites o substratos mezclados es de gran interés ambiental en lo que respecta a los procesos de degradación, algunas sustancias orgánicas están potencialmente sujetas a ataque microbiano, pero factores medioambientales o la concentración del sustrato puede cambiar su susceptibilidad para su utilización como sustrato en los cultivos mezclados de microorganismos. La concentración de las grasas y aceites u otro tipo de sustrato que potencialmente son parte de las aguas residuales u otro tipo de entornos medioambientales y las condiciones del ensayo influyen en la descomposición microbiana. La posesión de una alta afinidad de mecanismos de captura para cada uno de los substratos, limita el crecimiento y es de importancia crítica para la degradación, donde la concentración esencialmente será baja. La posibilidad de que comunidades de bacterias heterogéneas metabolicen al mismo tiempo componentes individuales de mezclas de compuestos de carbono es dependiente de la concentración. (SCHÖNBORN, 1986)

La consideración de la aceptabilidad medioambiental hacia algunas sustancias orgánicas puede añadir no solo su biodegradabilidad, persistencia y toxicidad a microorganismos sino también el efecto sinérgico de sustratos mezclados como los efectos inhibidores de posibles metabolismos.

Relación DQO/DBO_5

Para diseñar una planta de tratamiento de lodos activados, es indispensable conocer cuanta materia orgánica biodegradable está contenida en el efluente de aguas residuales, por lo que se debe medir la demanda bioquímica de oxígeno, sin embargo se recomienda determinar también en paralelo la demanda química de oxigeno DQO, de esta manera podemos obtener información acerca de la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el efluente. Con la relación DBO_5/DQO, una vez establecida, se puede utilizar para controlar y operar la planta de tratamiento. El término de DQO biodegradable tiene la ventaja, que el coeficiente fracción de materia orgánica biodegradable (Fb) es experimentalmente obtenido con los ensayos de DBO_5 y DQO sobre la misma muestra de aguas residuales, entonces se puede medir la cantidad de materia orgánica para ser biológicamente eliminada, basada en el DQO medido antes. La cantidad de DBO corresponde a lo que se le denomina Demanda bioquímica de oxígeno última.

Una aproximación cuantitativa de la biodegradabilidad de un efluente está dada por la relación de la demanda bioquímica de oxígeno a la demanda química de oxígeno. A partir del resultado se obtiene una referencia acerca de la biodegradabilidad de una corriente determinada. (Hernandez, 1992)

Con esto se sabe que:

$$(DQO/DBO5) < 2.5$$

es un efluente o compuesto biodegradable, en el que se puede utilizar procesos biológicos como fangos activos o lechos bacterianos. Y cuando

$$2.5 < (DQO/DBO5) < 5$$

es biodegradable pero se recomienda el uso de lechos bacterianos. Entonces, para calcular de manera específica la biodegradabilidad de los aceites y grasas, se hacen mediciones de DBO usando un mismo inóculo de cultivo bacteriano, para una cantidad de agua que contiene distintas porciones de éstas, en un rango de concentraciones a calcular a pH estable, por otra parte también se calculara la DQO, datos con los cuales se conseguirá la biodegradabilidad intrínseca de los tipos de grasas y aceites en estudio.

Hay que tomar en cuenta que la biodegradabilidad de las aguas residuales no es una propiedad intrínseca de éstas, sino que se encuentra en función de la población microbiológica que se encuentre en esta, ya que estos son los que realizan la degradación en el correspondiente análisis de DBO, para determinar la biodegradabilidad con más precisión se han diseñado nuevos métodos de análisis experimental y nuevas tecnologías, como es la respirometría electrolítica. (Gonzalez, 1993)

Aunque la biodegradabilidad no es una propiedad que este en función solamente de los compuestos que contiene el agua residual, las enzimas que participan en la biodegradación y los productos derivados de la misma si dependen del sustrato.

Normatividad

El marco legal en materia de calidad del agua tratada en latinoamericana se encuentra dividido en tres tipos: las normas que establecen los límites máximos permisibles que deben cumplir las descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua receptores, la normatividad que regula un porcentaje mínimo de remoción de ciertos contaminantes y la normatividad con enfoque a preservar la calidad que debe mantener el cuerpo receptor independiente de la descarga o descargas existentes. Las regulaciones en Latinoamérica pueden variar; se adaptan dependiendo las condiciones económicas, políticas y sociales de cada país así como de su capacidad de gestión para el control y monitoreo de las descargas. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

La NOM-001-SEMARNAT-1996 indica los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

En esta Norma Oficial Mexicana se encuentran los límites máximos permisibles que no deben ser excedidos por la concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales. Para el rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para encontrar los valores y concentraciones de los parámetros que se establecen en esta Norma Oficial Mexicana, se pueden aplicar los métodos de prueba indicados en las Normas Mexicanas para

calidad del agua. Si se cuenta con métodos de prueba diferentes, el responsable de la descarga deberá solicitar a la Comisión Nacional del Agua su aprobación. Si se logra aprobar estos métodos, podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en casos semejantes. (Diario Oficial de la Federación , 1996)

Cómo funciona la PTAR Paso Limón

El tratamiento que realiza esta planta es del tipo biológico, mediante el sistema de filtros percoladores, repartidos en 2 módulos denominados existente y nuevo. Cada módulo cuenta con un tren de tratamiento de agua de 400 l/s y un tren de lodos similares en ambos módulos.

La planta cuenta con distintas estructuras de proceso como son, canal de llegada, cribas automáticas y manuales, dos desarenadores, cárcamo de aguas crudas con tres equipos de bombeo, dos sedimentadores primarios circulares, un cárcamo de transferencia con tres equipos de bombeo, tres filtros percoladores biológicos de medio sintético, un sedimentador secundario circular y dos sedimentadores secundarios rectangulares, dos tanques de contacto de cloro, dos cárcamos de lodos, un biodigestor anaerobio, dos concentradores de lodos, un edificio de deshidratado con dos equipos filtro prensa, dos centros de control de motores y subestación eléctrica, edificio de cloración y sala de sopladores, un sistema de tierra y pararrayos. Ver *Figura 48*.

El agua residual que llega a la planta de tratamiento Paso Limón, presenta características del tipo doméstico, sin embargo, en época de lluvias los alcantarillados y colectores reciben aguas pluviales en grandes cantidades que son conducidas a la planta, llevando sólidos gruesos, piedras, gravas, gravillas, arenas, coloración café por la tierra arrastrada y agua con bajo contenido orgánico, lo que hace necesario tener un control hidráulico en la entrada a las instalaciones. (Coello & Robles, 2011)

Para una óptima operación y control de la PTAR Paso Limón, se ha previsto de un sistema de automatización para el monitoreo de la Planta en general, con un tablero de control principal con PLC y tableros locales de los equipos con protocolo de comunicación Ethernet, así como las interfaces del operador HMI para la visualización, monitoreo y registro de datos.

Se han considerado la instrumentación requerida con señales analógicas de 4 a 20 mA, para el control automático de bombas, sopladores, rastras, etc., así como la visualización a través de pantallas dinámicas en la estación del operador.

Tratamiento preliminar:

Para la etapa de pretratamiento se han previsto de dos trenes de tratamiento en paralelo, que en operación normal un tren tiene la capacidad hidráulica para operar con el flujo medio de 800 L/s, quedando el segundo tren en stand-by.

1) El agua residual que ingresara a la PTAR será canalizada a la caja de llegada donde se hará pasar por una criba de desbaste para retirar objetos mayores a 150 mm, esta criba será diseñada para el flujo 800 y 2604 L/s medio y máximo respectivamente. El agua cribada será conducida a través de 1 canal de 3000 mm de concreto donde posteriormente bifurca a 3 canales de concreto de 2000 mm para cribado grueso.

Figura 5 Canal de llegada de la PTAR Paso Limón

Figura 6 Cribas gruesas de desbaste SC-300 de la PTAR Paso Limón

CRIBA GRUESA DE DESBASTE	
Designación	SC-300
Tipo de criba	Barras, limpieza manual
Número total de equipos	uno (1)
Material	Acero Inoxidable 304L
Separación de barras	150 mm
Flujo medio diseño / criba	800 L/s
Flujo máximo extraordinario / criba	2604 L/s
Generación de basura / flujo medio	$0.26 m^3/d$
Generación de basura / flujo máximo	$0.56 m^3/d$

Tabla 1 Descripción de la criba gruesa de desbaste SC-300 de la PTAR Paso Limón

2) El agua procedente del cribado de barras se conduce a gravedad hacia las cribas gruesas, donde se cuenta con tres trenes de cribado, donde serán retirados sólidos mayores a 6 mm, se cuenta con dos cribas automáticas y una criba de barras de limpieza manual, la cual será utilizada en caso de mantenimiento. Cada tren está diseñado para operar con el flujo medio de diseño de 800 L/s y un flujo máximo ordinario de 1736 L/s.

CRIBAS GRUESAS AUTOMATICAS	
Designación	SC-301/302
Número	2
Tipo	Barras (θ = 6 mm)
Flujo medio de diseño	800 L/s
Motor	3 HP
Conexión eléctrica	460 V/ 60 Hz / 3F
Control	Manual - OFF – Auto

Tabla 2 Descripción de las cribas gruesas SC-301 y SC-302 de la PTAR Paso Limón

CRIBA GRUESA MANUAL	
Designación	SC-303
Número	1
Tipo	Barras (θ = 6 mm)
Flujo medio de diseño	800 L/s

Tabla 3 Descripción de la criba gruesa SC-303 de la PTAR Paso Limón

3) Una vez cribado el influente este pasa a gravedad directamente al cárcamo de bombeo, donde se cuenta con 3 bombas de tipo vertical. El flujo de llegada al cárcamo de bombeo es desplazado con ayuda de estas bombas con una capacidad de 380 L/s.

Cárcamo de Bombeo	
Designación	**T-301**
Número	1
Tipo	Rectangular
Operación	Nivel variable
Volumen útil	485.66 m^3
Dimensiones	16.0 m L x 7.2 m A x 4.2 m H_2O

Tabla 4 Descripción del cárcamo de bombeo T-301 de la PTAR Paso Limón

Bombas de Alimentación	
Designación	(P-304/305/306)
Número	3 (tres)
Tipo	Verticales
Flujo diseño por bomba	380 L/s (1,368 m^3/h)
Marca	WDM
Motor	125 HP
Conexión eléctrica	480 V/ 60 Hz / 3F
Control/Operación	Manual / Auto

Tabla 5 Descripción de las bombas de alimentación de la PTAR Paso Limón

4) El agua residual procedente del cárcamo de bombeo llega a la etapa de desarenado, esta línea bifurca a dos trenes de desarenado. Los desarenadores aireados están compuestos por 4 cámaras de sedimentación tipo cónicas cada uno y equipados con diversos dispositivos de extracción de agua-arenas, para ser llevadas a gravedad a un clasificador de arenas. La velocidad horizontal del canal y la aireación intensiva, promueven un flujo en espiral que provoca la sedimentación de partículas inorgánicas según sea su peso específico. Los desarenadores están diseñados para manejar el flujo medio por unidad de 800 L/s. En operación normal se tendrá un equipo en función y un segundo equipo en stand-by como relevo para mantenimientos, cada tren tendrá la capacidad hidráulica para amortiguar los flujos máximos ordinarios de 1736 L/s. El suministro de aire para los air-lift y scour air de los desarenadores, es proporcionado de la línea o aire proveniente de los sopladores de tipo lobular.

Figura 7 Desarenadores GR-401 y GR-402 de la PTAR Paso Limón

DESARENADOR	
Designación	GR-401/402
Número Operación	1 Automático
Tipo	Desarenador Rectangular Aireado
Flujo medio – 1 desarenador	800 L/s
Carga de superficie – diseño	0.0325 m^3/m^2 – seg
Longitud	16.0 m
Tiempo de retención flujo máximo	5 min
Velocidad de sedimentación de partícula	8.89 cm/seg
Tamaño de partícula	0.208 mm
Factor de producción de arenas	44.89 cm^3/m^3
Generación de arenas Flujo Normal	3.10 m^3/d
Aire de mezclado / desarenador	113 scfm

Tabla 6 Descripción de los desarenadores GR-401 y GR-402 de la PTAR Paso Limón

5) El agua residual que proviene de la etapa de desarenado, ingresa a una etapa de cribado compuesta por dos cribas finas de 3.0 mm de tipo placa perforada. Un equipo de cribado fino permite manejar el flujo medio de 800 L/s, quedando un equipo adicional en stand-by. Esta operación de cribado fino es para evitar el paso de materia solida de un tamaño mayor a 3 mm, esto con la finalidad de disminuir la cantidad de DBO de entrada. Para el mantenimiento de alguna de las cribas se cuenta con una criba de barras de limpieza manual, tendrá una separación entre barras de 6 mm.

Figura 8 Cribas finas SC-401, SC-402 y SC-403 de la PTAR Paso Limón

CRIBAS FINAS AUTOMATICAS	
Designación	SC-401/402
Número en operación	1 Automática
Tipo	Placa Perforada
Material	Acero Inoxidable 304
Motor criba/cepillo	2.0 / 1.0 HP 460V / 60HZ / 3F
Flujo diseño / criba	800 L/s
Flujo Máximo / criba	1736 L/s
Abertura	3.00 mm
Generación de sólidos	6.21 m^3/d

Tabla 7 Descripción de cribas finas SC-401 y SC-402 de la PTAR Paso Limón

CRIBA FINA MANUAL	
Designación	SC-403
Número	1
Tipo	Barras (θ = 6 mm)
Flujo medio de diseño	800 L/s

Tabla 8 Descripción de criba fina SC-403 de la PTAR Paso Limón

Tratamiento primario:

6) El agua residual posterior al cribado fino es conducida a los sedimentadores primarios, de los cuales el flujo será distribuido proporcionalmente a ambos sedimentadores. Estos sedimentadores o clarificadores primarios cuentan con una rastra en el fondo, la cual recolecta los sólidos sedimentados para posteriormente enviarlos a la digestión de lodos, esto con ayuda de unas bombas de tipo lobulares. El área del sedimentador primario (CL-501) existente es de 855.3 m² para manejar un flujo de 400 L/s (34,560 m3/día). El sedimentador primario (CL-601) nuevo tiene un área de 706.9 m² para manejar el flujo restante de 400 L/s (34,560 m³). El agua residual proveniente del pretratamiento ingresa por la parte central de los tanques sedimentadores, los cuales tienen una geometría circular y el flujo entra en una trayectoria ascendente y se distribuye de forma radial. En caso de recibir material flotante se tiene instalada una pantalla (mampara) perimetral que evita el paso de estos residuos hacia los vertedores de sobre flujo, dichos residuos flotantes se eliminan por medio del dispositivo desnatador (skimmer) ubicado en la parte superior del sedimentador primario, el cual acopia las espumas en una tolva recolectora de natas y las descarga en la línea de lodos primarios.

Figura 9 Clarificador CL-501 de la PTAR Paso Limón

SEDIMENTADOR PRIMARIO	
Designación	(CL-501)
Número	1 (uno) Acondicionado
Tipo/ Modelo	Circular de tracción central / CLC15
Dimensiones	33 m Diámetro
Capacidad de flujo	34,560 m^3/d
Área	855.3 m^2
Tiempo de retención	1.78hrs
Material	Concreto

Tabla 9 Descripción del clarificador primario CL-501 de la PTAR Paso Limón

SEDIMENTADOR PRIMARIO	
Designación	(CL-601)
Número	1 (uno) Nuevo
Tipo/ Modelo	TICSA/ (Rastra WESTECH)
Dimensiones	30 m Diámetro
Capacidad de flujo	34,560 m^3/d
Área	706.90 m^2
Tiempo de retención	2.21hrs
Material	Concreto

Tabla 10 Descripción del clarificador primario CL-601 de la PTAR Paso Limón

RASTRA SEDIMENTADORPRIMARIO	
Designación	(R-501/601)
Número	2 (dos)
Tipo	Tracción periférica / Control automático
Marca / Modelo	WESTECH
Motor	0.75 HP / 1 HP Respectivamente
Aceleración	Baja velocidad
Conexión eléctrica	460/460 V/ 60 Hz / 3F
Control	Manual / Auto

Tabla 11 Descripción de las rastras R-501 y R-601 de los sedimentadores primarios de la PTAR Paso Limón

Tratamiento secundario:

7) El agua residual o efluente primario que sale de los tanques sedimentadores primarios es alimentado a los filtros rociadores o percoladores. Estos filtros cuentan con un motoreductor situado en la parte superior y este motor mueve un distribuidor rotatorio el cual se encarga de dosificar el efluente primario sobre el filtro rociador. El agua es alimentada por la parte superior y cruza a través del filtro rociador hasta la parte baja del mismo y es canalizada a una caja distribuidora de donde se envía a gravedad a los clarificadores secundarios. El filtro rociador es una biotorre con un medio de soporte fijo compuesto por un empaque en forma de módulos tipo "panal" de PVC termoformado que ofrecen una gran área específica para el desarrollo y crecimiento de la película biológica. Sobre este medio la materia orgánica y sustancias contaminantes son absorbidas y biodegradadas por microorganismos que se desarrollan en forma de película biológica. El agua residual se filtra a través del medio, provocando que entren en contacto la materia orgánica, la película biológica y el flujo de aire que circula a través del medio de soporte. El efluente proveniente del sedimentador primario (CL-501), es enviado a un cárcamo de bombas de transferencia (T-501), para alimentar un filtro percolador de 3018.3 m^3 de empaque (TF-501) el cual recibirá un flujo de 400 L/s. El efluente proveniente del sedimentador primario (CL-601), es enviado a una caja distribuidora (RE-601), esta caja distribuidora enviara a gravedad el efluente primario a los dos filtros rociadores restantes (TF-601/602), estos con un volumen de empaque de 2587 m^3, a cada filtro rociador le serán alimentados 200 L/s para cumplir con el flujo correspondiente de 400 L/s de esa línea de tratamiento. Los efluentes provenientes tanto del cárcamo de transferencia como de la caja distribuidora llegan a los tres filtros por la parte superior por medio de un distribuidor rotatorio (RD-501/601/602) compuesto por cuatro brazos con boquillas de riego (espreas). Este distribuidor gira lentamente para lograr una distribución homogénea del agua sobre la superficie, esto se realiza con la finalidad de uniformizar la alimentación de efluente y lograr el mayor contacto posible del efluente y los microorganismos adheridos al empaque de PVC. Por el interior del módulo de PVC (empaque) y a contraflujo del agua residual circula una corriente de aire provocado por el efecto de la convección entre el aire caliente ascendente y el gradiente de temperatura del interior de la biotorre. La aireación del filtro percolador TF-501 será por convección inducida, es decir se usara el aire generado por 4 ventiladores de tipo axial, para los filtros percoladores o rociadores TF-601/602 serán instalados 4 ventiladores de tipo axial por cada uno. Sobre la película biológica (biomasa) se llevan a cabo los procesos de degradación de materia orgánica soluble y coloidal para convertirla en su mayor parte, en compuestos inorgánicos de bajo peso molecular tales como $CO2 + H2O$, mientras que la parte restante (aproximadamente el 20%) es convertida en nuevo material celular (síntesis de nuevas células). Conforme el espesor de la bio-película crece, el oxígeno y el sustrato es consumido mucho antes de que penetre en el interior de la bio-película. Por lo anterior, la bacteria que está en contacto con la superficie del empaque entra en un estado de respiración endógena y pierde su habilidad de estar adherida al empaque. El agua residual entonces desprende (deslava) la débil biopelicula del

empaque y una nueva bio-película inicia su crecimiento. Este fenómeno es llamado "deslave" y es principalmente una fase de decaimiento que se lleva a cabo de manera constante en función de la materia orgánica y del flujo alimentado. A la descarga de los filtros rociadores se cuenta con dos cárcamos de recirculación (T-502/601) uno correspondiente a cada línea de tratamiento. La finalidad de recircular es para mantener una carga hidráulica constante y mantener controlados los deslaves de la bio-película.

Figura 10 Filtro rociador o percolador TF-601 de la PTAR Paso Limón

Figura 11 Filtro rociador o percolador TF-602 de la PTAR Paso Limón

Filtro Percolador o Rociador	
Designación	RD-601/602
Número	2 (dos) Acondicionados
Tipo	CIRCULAR
Dimensiones	30mDiam. x 3.66 m Empaque
Capacidad de flujo / unidad	17,280 m^3/d
Volumen empaque	2587 m^3
Remoción	84.7 % de DBO_5 del fluente primario
Material	Concreto/ Empaque PVC

Tabla 12 Descripción del filtro percolador RD-601 y RD-602 de la PTAR Paso Limón

Filtro Percolador o Rociador	
Designación	RD-501
Número	1 (uno) Acondicionado
Tipo	CIRCULAR
Dimensiones	30 m Diam. x 4.84 m Empaque
Capacidad de flujo	34,560 m^3/d
Volumen empaque	3018.3 m^3
Remoción	84.7 % de DBO_5 del efluente primario
Material	Concreto/ Empaque PVC

Tabla 13 Descripción del filtro percolador RD-501 de la PTAR Paso Limón

Distribuidor rotatorio	
Designación	RD-501/601/602
Marca/modelo	TIMSA-LOZVILL " G T"
Tipo	4 BRAZOS (30 cm diam c/u) con orificios
Velocidad	0.017 a 0.34 rpm
Flujo medio	RD-601/602 400 L/s RD-501 400 L/s
Dimensiones	30 m de diametro
Motor	1 HP (0.75 kW)
Conexión eléctrica	480 V/ 60 Hz / 3F
Control	Manual / Auto

Tabla 14 Descripción de los rociadores de los filtros percoladores RD-501, RD-601 y RD-602

8) Una vez efectuada la degradación y oxidación de la materia orgánica en los filtros rociadores, el agua percolada y la biomasa arrastrada por el efecto del deslave pasan a una zona de sedimentación secundaria o clarificación secundaria. En esta etapa de clarificación, se separan los sólidos del licor mezcla por diferencia de densidades haciendo que estos queden depositados en el fondo del clarificador y posteriormente son extraídos mediante un sistema de bombeo. La separación de los lodos biológicos del agua tratada se logra por simple diferencia de densidad entre el agua y los flóculos biológicos del filtro percolador (lodos secundarios) formando así una interface de lodo (cama de lodos) en el fondo del clarificador y produciendo un efluente

clarificado. De esta manera, el agua recolectada al final del filtro rociador pasa primeramente hacia el cárcamo de bombeo de recirculación y después pasa por gravedad hacia el centro del clarificador secundario con una alimentación ascendente donde se distribuye de forma radial, este principio ocurre para el sedimentador secundario CL-701, el cual tiene un área de 1134.12 m². A este clarificador le son alimentados 400 L/s provenientes del filtro rociador TF-501. Este sedimentador cuenta con una rastra móvil de tipo circular (R-701) quien realiza la función de acopiar o recolectar los lodos secundarios en una tolva instalada en el fondo del tanque. Los sedimentadores o clarificadores secundarios CL-702/703 derraman al inicio del mismo por medio de un vertedor donde los microorganismos o biomasa sedimentara por diferencia de densidades. Estos sedimentadores cuentan con módulos flotantes de extracción de sólidos o rastras de tubo sumergido (R-702/703). El principio de estos equipos se basa en que se les aplica un vacío por medio de una aspiradora o bomba de vacío para que por medio de la fuerza de sifón se extraiga el lodo sedimentado del fondo de los sedimentadores y se descargue en un canal o tubería para ser conducido hasta el cárcamo de bombeo de lodos mixtos con ayuda de unas bombas de tipo centrifuga. El área de estos sedimentadores secundarios (CL-702/703) es de 600 m² lo cuales recibirán un flujo de 200 L/s cada uno con un tiempo de residencia de 2.5 hrs.

Figura 12 Clarificador secundario CL-701 de la PTAR Paso Limón

Figura 13 Clarificador secundario CL-702 y CL-703 de la PTAR Paso Limón

SEDIMENTADOR SECUNDARIO	
Designación	CL-701
Número	1
Tipo	Circular
Flujo a agua clarificada /	400L/s
Tasa de derrame	30.5m^3/m^2-d
Superficie / clarificador (diseño)	1134.12 m^2

Tabla 15 Descripción del clarificador secundario CL-701 de la PTAR Paso Limón

SEDIMENTADOR SECUNDARIO	
Designación	CL-702/703
Número	2
Tipo	Rectangular
Flujo a agua clarificada / unidad	200 L/s
Tasa de derrame	28.8m^3/m^2-d
Superficie / clarificador (diseño)	1200m^2

Tabla 16 Descripción del sedimentador secundario CL-702 y CL-703 de la PTAR Paso Limón

RASTRA SEDIMENTADOR SECUNDARIO	
Designación	R-701
Número	1
Tipo	Circular Reversible
Motor	1.0 HP - 480V / 60HZ / 3F

Tabla 17 Rastra para clarificador secundario CL-701de la PTAR Paso Limón

RASTRA SEDIMENTADOR SECUNDARIO	
Designación	R-702/703
Número	1 / Clarificador
Tipo	Tubo Sumergido
Motor	5.0 HP - 480V / 60HZ / 3F

Tabla 18 Rastra para clarificador secundario CL-702 y CL-703 de la PTAR Paso Limón

Tratamiento terciario:

9) El agua tratada procedente de la etapa de clarificación secundaria, se conduce a gravedad a dos tanques de contacto con cloro, el régimen hidráulico del tanque es del tipo pistón, donde la adición de cloro se lleva a cabo en la parte inicial de ambos tanques o cabeza y en la parte inicial se lleva a cabo la medición del agua tratada donde los flujos procedentes de los clarificadores secundarios convergen a los canales de cloración. La adición de cloro para esta corriente es de 5 ppm para mantener un residual mínimo de 0.5 ppm o mayor, dependiendo del nivel de NMP/100 ml de coliformes fecales y totales a la descarga. La cantidad de cloro inyectada se ajusta automáticamente en el clorador, de forma proporcional al flujo de agua tratada y al cloro residual de descarga. (Tecnologia Intercontinental, 2013)

Figura 14 Canal de salida de la PTAR Paso Limón

TANQUE DE CONTACTO CON CLORO	
Designación	T-719/720
Número	2
Caudal de diseño / tanque Caudal de máximo/ tanque	400.0 L/s 868.0 L/s
Tiempo de contacto - Qmedio	24 min
Volumen requerido / tanque	750 m^3
Dimensiones Dosis requerida	12.5 m A x 20.0 m L x 3.3 m H_2O 5.0 ppm

Tabla 19 Descripción de los tanques de cloración T-719 y T-720 de la PTAR Paso Limón

Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

El procedimiento y descripción de los parámetros que se mencionan a continuación, están adaptados a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Paso Limón", siempre que sea posible se determinan los parámetros como lo marca su respectiva Norma Mexicana. *Ver tabla 1*. Los equipos, reactivos e instrumentos que se utilizan son de nivel laboratorio, por lo cual las mediciones tienen mayor grado de exactitud, los valores que se obtendrán deben de cumplir con los límites máximos permisibles marcados en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Las mediciones se deberán de registrar en una bitácora de laboratorio para que posteriormente se le dé el seguimiento correspondiente.

Debido a que se trabaja con aguas residuales siempre se debe tener los cuidados de higiene y seguridad adecuados, como pueden ser el uso de guantes de látex, guantes multiusos, lentes de seguridad, cubre bocas, bata de laboratorio, jabón, franela, agua corriente y cloro.

NORMA	DESCRIPCIÓN
NOM-001-SEMARNAT-1996	ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES
NMX-AA-030-SCFI-2012	MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
NMX-AA-093-SCFI-2000	DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA
NMX-AA-034-SCFI-2015	MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
NMX-AA-028-SCFI-2001	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS
NMX-AA-008-SCFI-2016	MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
NMX-AA-007-SCFI-2013	MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
NMX-AA-006-SCFI-2000	DETERMINACIÓN DE MATERIA FLOTANTE EN AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
NMX-AA-004-SCFI-2013	MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS
NMX-AA-003-1980	AGUAS RESIDUALES.- MUESTREO

Tabla 20 Normas aplicables a la PTAR "Paso Limón"

Muestreo

Para realizar el muestreo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Paso Limón", se debe contar con un recipiente muestreador de metal de 5 litros atado a una cuerda con la longitud suficiente para lograr alcanzar la corriente de agua, debido a que no se puede alcanzar directamente. Tener por aparte los recipientes para transportar la muestra hacia el laboratorio, con el volumen de acuerdo al tipo de análisis que se desea realizar. Debido a que todos los análisis se hacen justamente después de tomar la muestra, sin dejarlas en almacenamiento, se tomaran muestras simples. En este y en cualquier otro método las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.

Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o punto de muestreo, de preferencia en sitios donde el flujo sea turbulento para asegurar un buen mezclado.

Figura 15 Toma de muestra en el canal de salida de la PTAR Paso Limón

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Cubeta de metal de 5 litros
- Cuerda de 5 metros
- Recipientes para el transporte y conservación de las muestras totalmente herméticos de polietileno o vidrio con un volumen de 0.5 L y 1 L, con boca ancha.
- Guantes multiusos
- Etiquetas

Procedimiento:

1. Se introduce el recipiente de muestreo atado a una cuerda hacia la descarga de agua
2. Llenar la cubeta y enjuagarla
3. Repetir el paso 1 y 2, dos veces

4. Repetir el paso 1, dejar fluir por un breve momento, luego llenar la cubeta y transferir la muestra del recipiente de muestreo a los recipientes de transporte de muestra teniendo el cuidado de que ésta siga siendo representativa
5. Cerrar el envase herméticamente
6. Anotar la fecha y hora de muestreo
7. Posteriormente realizar el análisis.

La toma de muestras se realizara en el canal de entrada a la planta, canal de salida de la planta, sedimentadores primarios, filtros percoladores y sedimentadores secundarios.

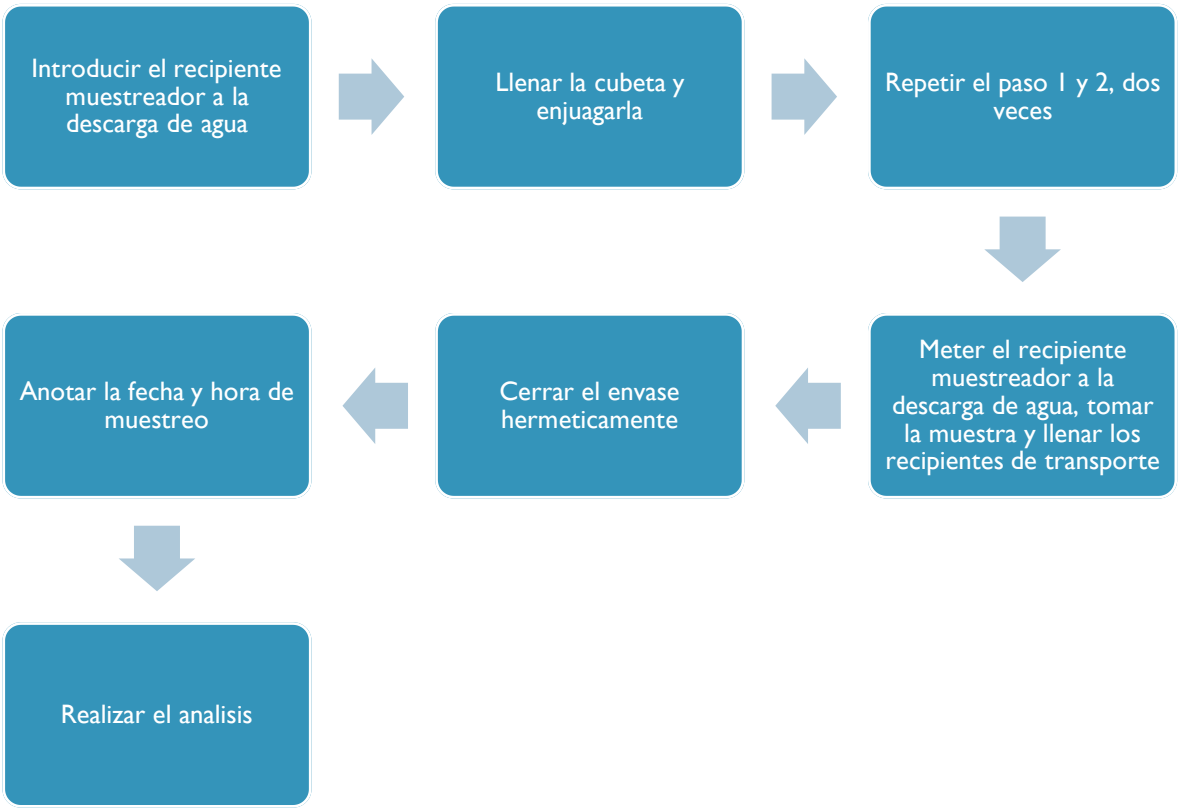


Figura 16 Procedimiento para muestrear

Solidos sedimentables

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Cono imhoff
- Bases para conos Imhoff
- 1 L de muestra de agua para analizar
- Guantes multiusos
- Cronometro
- Recipiente de polietileno o vidrio de 1 L, de boca ancha y con cierre hermético
- Agitador de vidrio

Procedimiento:

1. Tomar 1 L de muestra
2. Agitar las muestras en su respectivo envase para que la muestra sea representativa y que no queden sedimentos en las paredes del recipiente
3. Colocar la muestra bien mezclada rápidamente en un cono imhoff hasta la marca de 1 L
4. Dejar sedimentar 45 min
5. Desprender suavemente los sólidos adheridos a las paredes del cono con un agitador
6. Dejar reposar 15 min mas
7. Realizar las mediciones de abajo hacia arriba como lo indica el cono imhoff
8. Registrar el valor en ml/L

Se determinaran los sólidos sedimentables de la entrada y salida de la planta, sedimentadores primarios, filtros percoladores y sedimentadores secundarios.

Figura 17 Procedimiento para solidos sedimentables

Figura 18 Solidos sedimentables de la entrada y salida de la PTAR Paso Limón

Solidos totales y solidos totales volátiles

En ambas determinaciones siempre se debe tener el cuidado con las temperaturas altas y con la contaminación de la capsula o crisol por manipularlas con la mano o trapos, ya que se le puede adherir grasa, aceite, polvo, o partículas que pueden afectar la masa, por ello es necesario tener guantes de tela y pinzas para crisol.

Primero se hace la determinación de solidos totales, posteriormente se utiliza la misma capsula (sin lavar y con los sólidos resultantes) para poder hacer la medición de solidos totales volátiles.

Figura 19 Desecador para ST y STV

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Mufla
- Horno
- Capsulas de porcelana o crisol
- Termómetro
- Balanza analítica
- Pinzas para crisol
- Guantes multiusos y de tela
- Probeta de 100 ml
- ½ litro de muestra de agua para analizar
- Parrilla eléctrica
- Desecador con control de humedad
- Recipiente de polietileno o vidrio de ½ L, de boca ancha y con cierre hermético

Procedimiento:

1. Meter las capsulas al horno 20 min a 105°C
2. Colocar las capsulas en el desecador para enfriar durante 20 min como mínimo
3. Pesar las capsulas en la balanza analítica

4. Repetir los pasos 1-3 hasta alcanzar la masa constante o hasta que la diferencia de pesos sea ≤ a 0.000 5 gr en dos pesadas consecutivas.
5. Registrar como m1 considerando para los cálculos el último valor de la masa.
6. Tomar 500 ml de muestra de la corriente de entrada y salida
7. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización.
8. Medir 100 ml de cada muestra en una probeta y colocarlas en las capsulas o crisol
9. Colocar las capsulas en la parrilla eléctrica a una temperatura suficiente evitando que llegue al punto de ebullición hasta que el agua se haya evaporado
10. Colocar las capsulas en el horno a 105°C durante 1 hora para eliminar el exceso de humedad
11. Colocar las capsulas en el desecador para dejar enfriar durante 20 min como mínimo
12. Repetir el ciclo horno- desecador 20 min en cada uno hasta que alcancen la masa constante o hasta alcanzar una diferencia ≤ 0.000 5 gr en dos pesadas consecutivas
13. Registrar como m3, la última masa obtenida.
14. Meter las capsulas con el residuo a la mufla a 550 °C durante 20 min
15. Llevar las cápsulas al horno a 105 °C durante 20 min como mínimo
16. Colocar las capsulas en el desecador para dejar enfriar durante 20 min como mínimo
17. Repetir el ciclo horno- desecador 20 min en cada uno hasta que alcancen la masa constante o hasta alcanzar una diferencia ≤ 0.000 5 gr en dos pesadas consecutivas
18. Registrar el valor como m4.
19. Se calcula los sólidos totales y solidos totales volátiles con las fórmulas que se encuentran en la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015

Se determinaran los sólidos totales y solidos totales volátiles de la entrada y salida de la planta de tratamiento.

Figura 20 Mufla para ST y STV

Figura 21 Horno para ST y STV

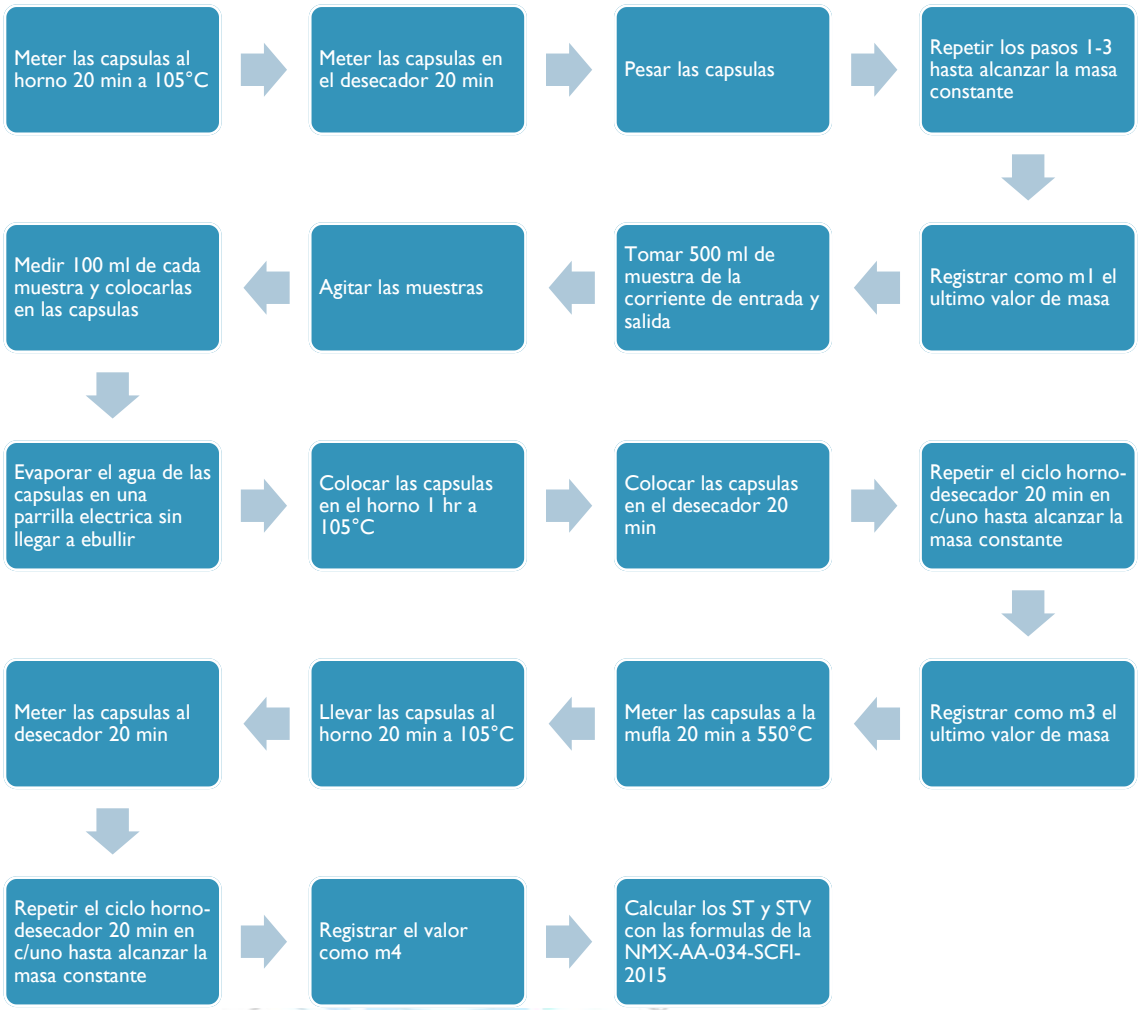


Figura 22 Procedimiento para solidos totales y solidos totales volátiles

Temperatura

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Aparato de medición HACH HQ40d con sonda con electrodo de temperatura
- Agua destilada o desionizada
- Guantes multiusos
- Muestra de agua para analizar
- Recipiente de muestreo de 5 litros

Figura 23 Instrumento de medición de temperatura, pH y conductividad HACH HQ40d.

Procedimiento:

Para esta medición no se necesita preparación ni conservación de las muestras, la temperatura se debe medir de inmediato en el lugar de muestreo, para tener una precisión más exacta de la temperatura a la que se encuentra el agua, en este caso se utiliza un electrodo que mide la temperatura.

1. Tomar una muestra representativa de la descarga de agua y dejarla en el recipiente de muestreo de 5 L
2. Sumergir el electrodo de temperatura en el recipiente muestreador, hasta el nivel que indica el electrodo
3. Mover circularmente el electrodo suavemente
4. Esperar a que la lectura se estabilice
5. Realizar la medición tres veces y obtener un promedio
6. Registrar el valor promedio en la bitácora en °C
7. Lavar con agua destilada el electrodo después de cada medición

Se determinara la temperatura de la entrada y salida de la planta de tratamiento.

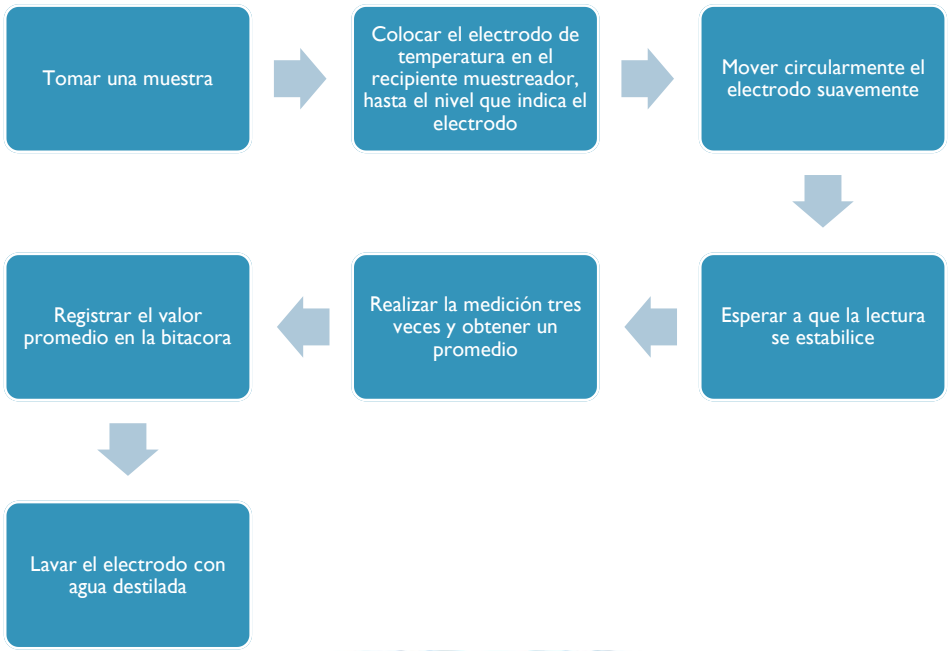


Figura 24 Procedimiento para determinar la temperatura

PH

El valor de pH de una medición está en función de la temperatura debido al equilibrio de disociación. Por lo tanto se usa un electrodo de pH con compensador de temperatura, para hacer más fácil y rápido su medición.

Figura 25 Medición de pH de la PTAR Paso Limón

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Aparato de medición HACH HQ40d con sonda con electrodo de pH con compensador de temperatura
- Muestra de agua para analizar

- Guantes multiusos
- Agua destilada o desionizada
- Recipiente de muestreo de 5 litros
- Conos imhoff
- Base para conos imhoff
- Recipientes de transporte de muestra de 1 L

Procedimiento:

Para medir el pH se usara un electrodo con compensador de temperatura, se medirá al momento en que se esté haciendo la determinación de solidos sedimentables en los conos imhoff

1. Sumergir el electrodo en el cono imhoff con la muestra, hasta el nivel que indica el electrodo
2. Mover circularmente el electrodo levemente
3. Esperar a que la lectura de pH se estabilice
4. Realizar la medición tres veces y obtener un promedio
5. Registrar el valor de pH
6. Lavar el electrodo con agua destilada después de cada medición

Se determinara el potencial de hidrogeno (pH) de la entrada y salida de la planta de tratamiento.

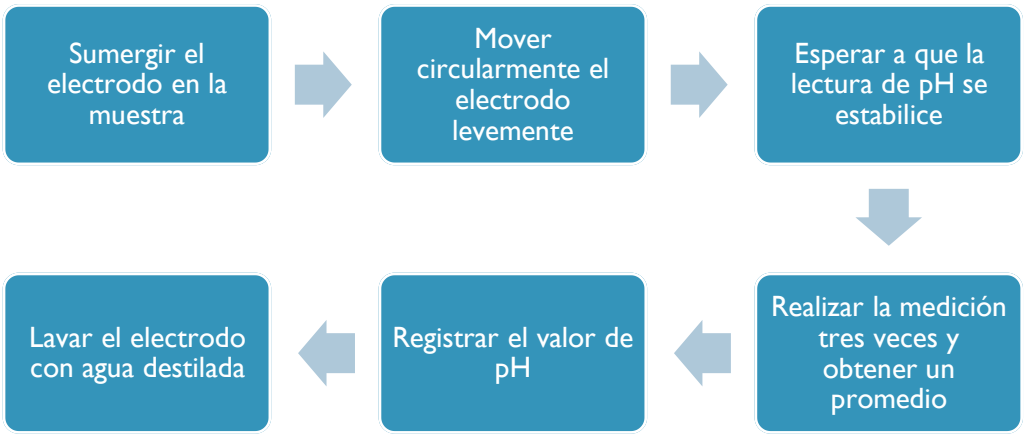


Figura 26 Procedimiento para determinación de pH

Conductividad

Para esta medición no se necesita preparación ni conservación de las muestras, la conductividad se puede medir al momento de tomar la muestra; la temperatura y la conductividad en este caso se miden con la misma sonda con electrodo, así que al momento de tomar la temperatura la conductividad también se hará.

La temperatura de referencia en las mediciones de conductividad es de 25°C por lo que se usa un electrodo con compensador de temperatura.

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Aparato de medición HACH HQ40d con sonda con electrodo de conductividad con compensador de temperatura
- Muestra de agua para analizar
- Guantes multiusos
- Agua destilada o desionizada
- Recipiente de muestreo de 5 litros

Procedimiento:

1. Tomar una muestra representativa de la descarga de agua y dejarla en el recipiente de muestreo de 5 L
2. Sumergir el electrodo de conductividad en el recipiente muestreador, hasta el nivel que indica el electrodo
3. Mover circularmente el electrodo suavemente
4. Esperar a que la lectura se estabilice
5. Realizar la medición tres veces y obtener un promedio
6. Registrar el valor promedio en la bitácora en µS/cm
7. Lavar con agua destilada el electrodo después de cada medición

Se determinara la conductividad electrolítica de la entrada y salida de la planta de tratamiento.

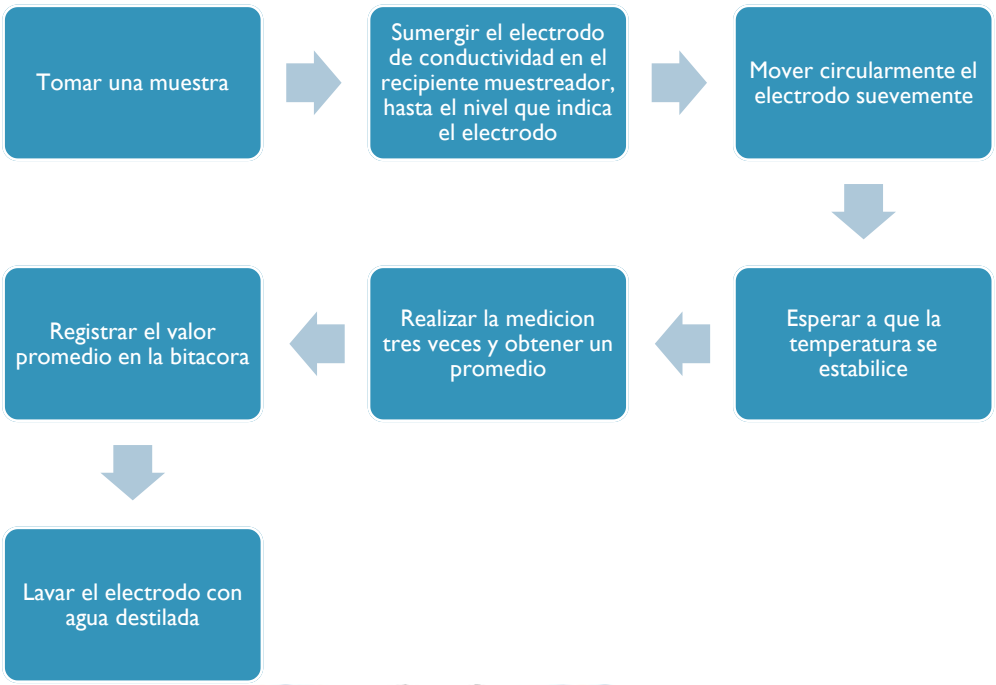


Figura 27 Procedimiento para determinar la conductividad electrolítica

Materia flotante

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Malla de acero inoxidable con abertura entre 2,8 mm y 3,3 mm
- Muestra de agua para analizar
- Guantes multiusos
- Recipiente de muestreo de 5 Litros
- Espátula o agitador

Figura 28 Malla con abertura de 3.3 mm

Procedimiento:

La determinación de materia flotante en el efluente de la planta se realiza con una malla con abertura determinada por la norma mexicana correspondiente, esta determinación se realiza en el sitio de muestreo, ya que se utiliza bastante volumen de muestra.

Esta medición de materia flotante es una prueba cualitativa, se registra como presencia o ausencia de materia.

1. Tomar una muestra de mínimo 3 L
2. La muestra aun en el recipiente de muestreo, se vierte lentamente sobre la malla, en caso de quedar materia adherida sobre las paredes del recipiente, se deberán arrastrar hacia la malla con ayuda de una espátula o agitador.
3. Dejar caer el agua en el mismo lugar donde se tomo
4. Revisar la malla cuidadosamente para observar si se encuentra materia flotante sobre ella
5. Registrar como ausencia de materia flotante si no se observa materia sobre la malla, reportar como presencia de materia flotante si se observan solidos sobre la malla
6. Retirar los sólidos que hayan quedado sobre la malla con ayuda de una espátula o agitador y posteriormente enjuagarla para evitar problemas en las próximas mediciones.

Se determinara la ausencia o presencia de materia flotante de la descarga del agua residual tratada de la planta

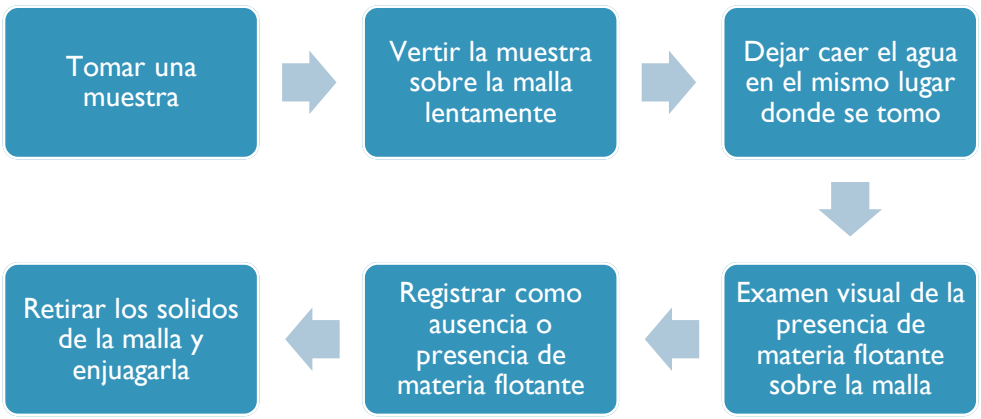


Figura 29 Procedimiento para la determinación de materia flotante

DBO

Para medir este parámetro se hace uso de un método distinto a la NMX-AA-028-SCFI-2001, el método que se utiliza es más sencillo y rápido, este método ya está aprobado por la Comisión Nacional del Agua. El tiempo de incubación sigue siendo el mismo que en la norma mexicana (5 días).

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Frasco ámbar de 500 ml
- Agitador magnético
- Grasa para uniones
- Tapón de hule
- Nutrientes
- Pastillas de hidróxido de potasio
- Incubadora
- Aparato de DBO respirométrico HACH BODTrack II
- Agua para analizar
- Envase de 500ml de polietileno
- Probeta de 500 ml
- Probeta de 100 ml

a) b)

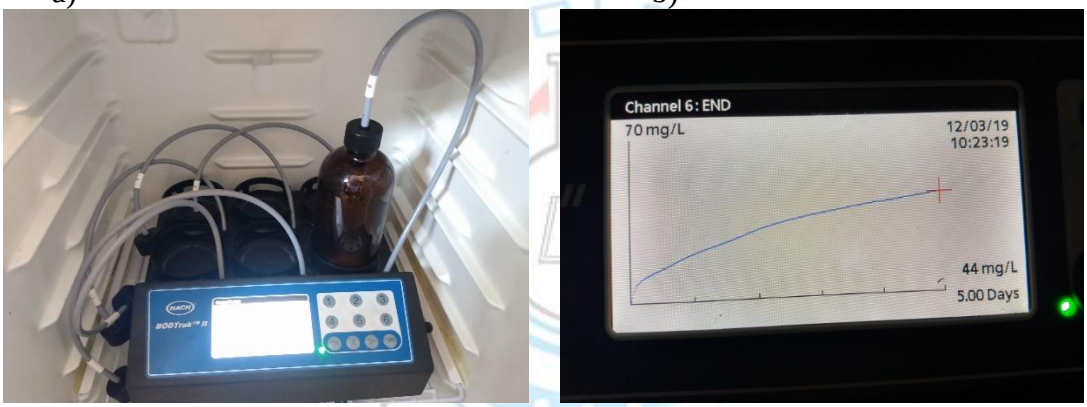


Figura 30 a) Aparato de DBO respirométrico HACH BODTrack II b) Grafica de medición de DBO

Procedimiento:

1. Tomar una muestra representativa de 500 ml
2. Si se desea medir el afluente general de la planta se miden 95 ml de la muestra en una probeta debido a que la DBO estará en un rango alto, si se desea medir el efluente general de la planta se medirán 355 ml de la muestra en una probeta debido a que la DBO estará en un rango bajo
3. Colocar los 95 ml o 355 ml en un frasco color ámbar
4. Agregar una capsula de nutrientes al frasco con el agua
5. Colocar en el centro del frasco un agitador magnético, teniendo el cuidado de que no choque en las paredes del recipiente
6. Poner un poco de grasa entre la unión del frasco y el tapón de hule
7. Tapar el frasco con el tapón de hule
8. Colocar 2 pastillas de hidróxido de potasio en los a agujeros del tapón de hule
9. Cerrar el frasco con la tapa del aparato de medición
10. Programar la incubadora a 38 °C

11. Encender el aparato de medición de DBO
12. Incubar durante 5 días
13. Después de los 5 días tomar la lectura de la pantalla del aparato
14. Registrar los valores en mg/L

Se determinara la demanda bioquímica de oxigeno de la descarga del agua residual tratada de la planta.

Figura 31 Procedimiento para la determinación de DBO

DQO

Materiales, equipo, sustancias y/o reactivos:

- Viales de rango bajo y alto. Especificaciones en la *Figura 52 y 53.*
- Digestor HACH DRB 200
- Espectrómetro HACH DR 3900
- Pipeta de 5 ml
- Muestra de agua para analizar
- Agua destilada o desionizada
- Guantes de látex

Procedimiento:

1. Colocar 2 ml de agua residual en un vial, dependiendo si es la entrada se coloca en el vial de rango alto y si es salida en el vial de rango bajo
2. Colocar 2 ml de agua destilada en un vial de rango bajo para que se convierta en el blanco
3. Colocar el blanco en el espectrómetro
4. Seleccionar el programa predeterminado para DQO en el espectrómetro y realizar la medición, para tener un valor de referencia
5. Colocar el vial con agua residual en el digestor durante 120 min a 150 °C
6. Dejar enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente
7. Colocar el vial con el agua residual en el espectrómetro
8. Realizar la medición
9. Registrar el valor como mg/L

Se determinara la demanda química de oxigeno de la descarga del agua residual tratada de la planta.

Figura 32 Digestor HACH DRB 200

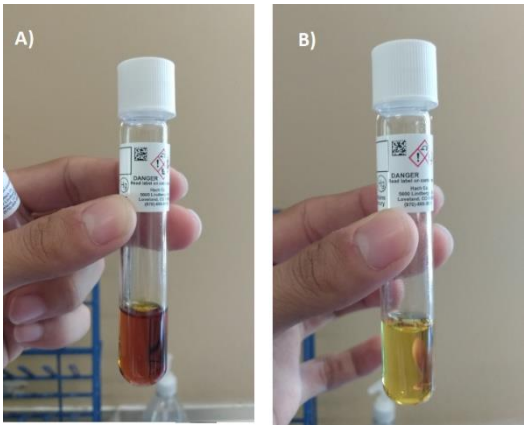
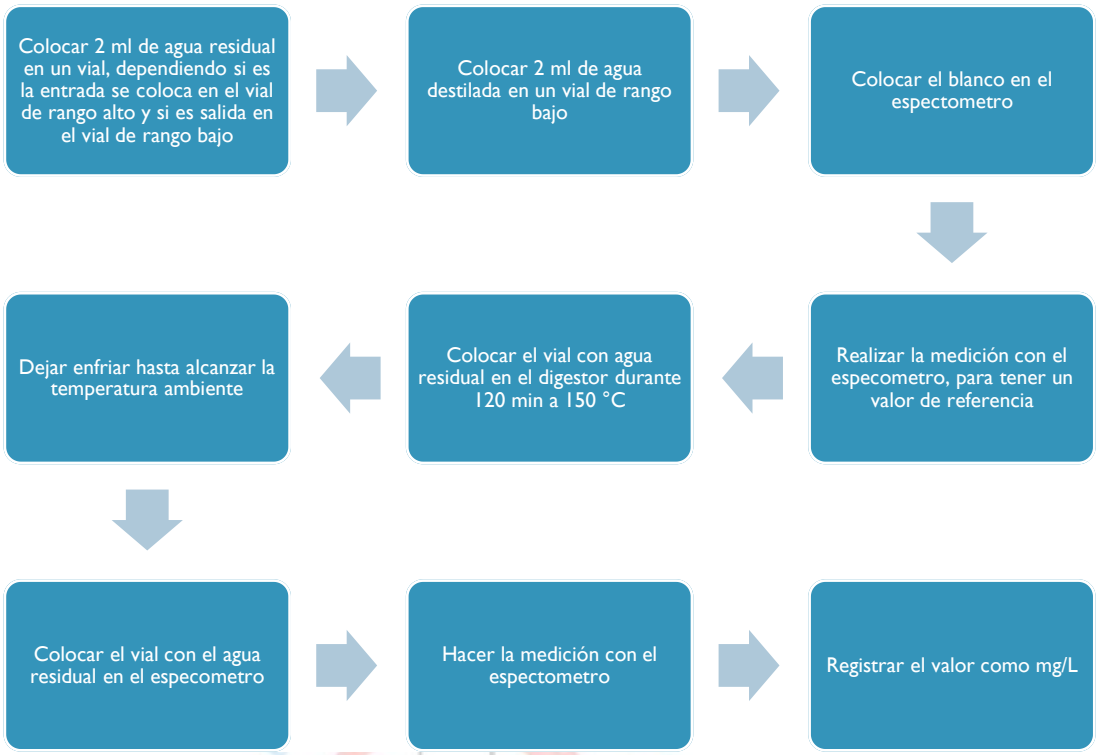


Figura 33 Viales para DQO A) rango alto B) Rango bajo

Figura 34 Espectrómetro HACH DR 3900



TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

Resultados

Para la correcta interpretación de los datos se toma en cuenta la hora de recolección de muestra de las aguas, la del afluente y efluente general de la planta la recolección se realiza a las 9 am, de los clarificadores primarios a las 10:30 am, la de los clarificadores secundarios se toma a las 11:30 am y la de los filtros percoladores a las 12:30 pm, todas las determinaciones de parámetros se realizan el mismo día en el que se toma su muestra, así que no se necesita un sistema de almacenamiento previo.

Solidos sedimentables

Fecha	Solidos Sedimentables (ml/L)	
	Afluente	Efluente
02/09/2019	1.6	0.2
03/09/2019	1.4	0.2
04/09/2019	1.9	0.5
05/09/2019	2	0.6
06/09/2019	1.2	0.1
09/09/2019	1.3	0.2
10/09/2019	0.8	0.5
11/09/2019	1	0.1
12/09/2019	1.8	0.3
13/09/2019	2.1	0.2
17/09/2019	1	0.1
18/09/2019	1.2	0.05
19/09/2019	1.7	0.2
20/09/2019	2	0.3
23/09/2019	1.7	0.6
24/09/2019	1.1	0.2
25/09/2019	2	0.1
26/09/2019	1.1	0.3
27/09/2019	2.1	0.2
30/09/2019	2	0.2
01/10/2019	1.5	0.5
02/10/2019	1.2	0.2
03/10/2019	2	0.1
04/10/2019	2	0.2
07/10/2019	1.1	0.05
08/10/2019	1.5	0.2
09/10/2019	0.9	0.4
10/10/2019	1.8	0.2
11/10/2019	1.1	0.3
14/10/2019	1.1	0.4
15/10/2019	1.2	0.4
16/10/2019	0.8	0.3
17/10/2019	0.9	0.3
18/10/2019	2.5	0.4
21/10/2019	0.7	0.3
22/10/2019	0.6	0.3
23/10/2019	1.3	0.5
24/10/2019	1.17	0.4
30/10/2019	0.7	0.2
31/10/2019	2	0.4

Tabla 21 Solidos sedimentables del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón"

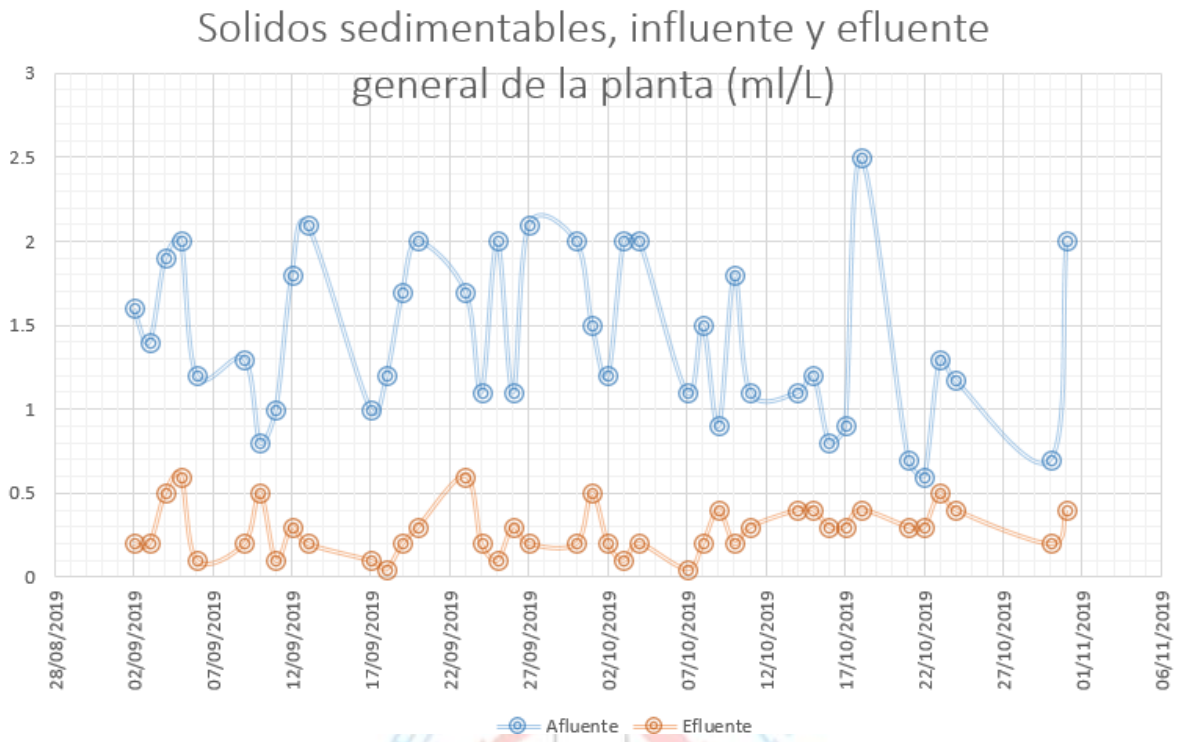


Figura 35 Descripción grafica de solidos sedimentables de la PTAR "Paso Limón"

Promedio mensual (ml/L)		
Mes	Afluente	Efluente
Septiembre	1.55	0.2575
Octubre	1.3035	0.3025

Tabla 22 Promedio mensual de solidos sedimentables del afluente y efluente general de la PTAR Paso Limón

Con los valores de solidos sedimentables que están en el afluente y efluente general de la planta se pueden observar el funcionamiento de los equipos en donde se realiza un proceso de sedimentación como lo son los clarificadores primarios y secundarios, y desarenadores. Cuando la diferencia de valores es muy cercana significa que algo no está funcionando correctamente o en su caso la entrada está muy diluida por haber contenido agua de lluvia.

Fecha	Solidos Sedimentables (ml/L)			
	Clarificador primario (CL-501)		Clarificador primario (CL-601)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
02/09/2019	3.9	0.1	0.9	0
03/09/2019	5	0.1	1	0
04/09/2019	3.5	0	1.1	0
05/09/2019	4.5	0	1.2	0
06/09/2019	4	0.1	0.8	0
09/09/2019	1.5	0.1	0.7	0
10/09/2019	1	0.05	0.4	0
11/09/2019	2	0.1	1.4	0
12/09/2019	3.1	0.1	1.5	0
13/09/2019	1.8	0.5	1.2	0
17/09/2019	1.9	0	0.7	0
18/09/2019	1.5	0.05	0.7	0
19/09/2019	1.2	0.05	0.8	0
20/09/2019	2	0.1	0.8	0.1
23/09/2019	2.9	0.1	1.3	0
24/09/2019	1.3	0.05	0.5	0
25/09/2019	1.4	0.07	0.7	0.05
26/09/2019	1.5	0.1	0.9	0.1
27/09/2019	1.5	0.05	1.3	0
30/09/2019	2.9	0.1	1.4	0
01/10/2019	2.1	0.1	1	0.05
02/10/2019	2.5	0.05	1	0.05
03/10/2019	1.6	0	3.5	0.2
04/10/2019	3.9	0.1	1.4	0
07/10/2019	4.8	0.05	1.7	0
08/10/2019	4	0.05	0.5	0
09/10/2019	4.9	0.1	0.6	0
10/10/2019	2.5	0.1	1.2	0
11/10/2019	2.9	0.05	1.2	0
14/10/2019	2.1	0.05	1.3	0
15/10/2019	3	0.1	1	0
16/10/2019	1.8	0.05	0.9	0
17/10/2019	2.5	0	1	0
18/10/2019	3.8	0.05	1.7	0
21/10/2019	2.5	0.05	0.8	0
22/10/2019	3.4	0.05	1.3	0
23/10/2019	2.4	0.05	1.2	0
24/10/2019	3.1	0.1	1.7	0
30/10/2019	1.8	0	0.9	0
31/10/2019	3	0	1.5	0

Tabla 23 Solidos sedimentables de los clarificadores primarios la PTAR "Paso Limón"

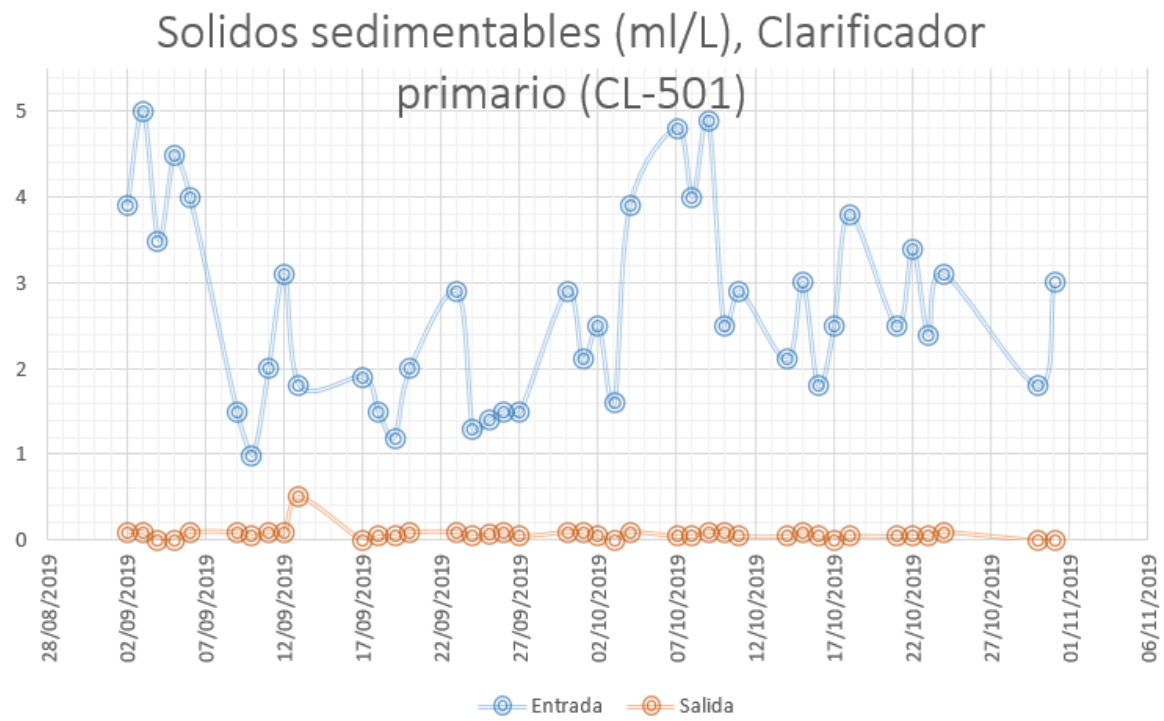


Figura 36 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-501 de la PTAR "Paso Limón"

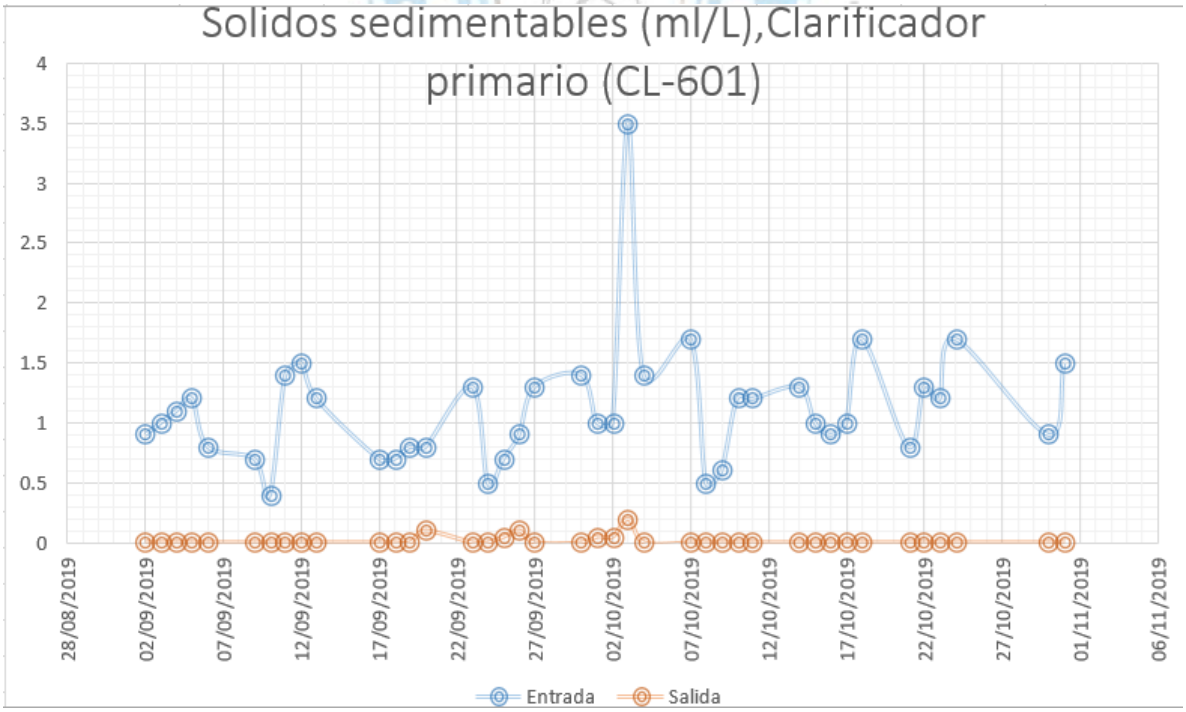


Figura 37 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-601 de la PTAR "Paso Limón"

Fecha	Solidos Sedimentables (ml/L)					
	Clarificador secundario (CL-701)		Clarificador secundario (CL-702)		Clarificador secundario (CL-703)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
02/09/2019	0.5	0	0.2	0.3	-	-
03/09/2019	5	0	-	-	0.1	0.3
04/09/2019	1	0	0.3	0.1	-	-
05/09/2019	0.2	0	-	-	0.2	0.15
06/09/2019	0.2	0	19	0.7	-	-
09/09/2019	0.4	0.4	-	-	0.5	0.7
10/09/2019	0.4	0	0.4	0.6	-	-
11/09/2019	0.5	0.3	-	-	0.5	0.3
12/09/2019	0.3	0.3	-	-	0.5	0
13/09/2019	0.5	0	0.9	0.4	-	-
17/09/2019	0.2	0	-	-	0.1	0.05
18/09/2019	0.3	0	0.2	0.1	-	-
19/09/2019	0.7	0	-	-	0.5	0.3
20/09/2019	0.2	0	0.2	0.1	-	-
23/09/2019	0.3	0.05	-	-	0.1	0
24/09/2019	0.3	0	0.4	0.1	-	-
25/09/2019	0.3	0.2	-	-	0.5	0.2
26/09/2019	1.3	0.3	0.2	0	-	-
27/09/2019	0.2	0	-	-	0.3	0.3
30/09/2019	0.6	0.4	0.5	0.3	-	-
01/10/2019	0.9	0.05	-	-	0.4	0.2
02/10/2019	0.3	0.05	0.4	0.3	-	-
03/10/2019	1	0	-	-	0.4	0.3
04/10/2019	0.5	0	0.5	0.6	-	-
07/10/2019	1.3	0.05	-	-	1.2	0.1
08/10/2019	1.1	0	2.3	0.1	-	-
09/10/2019	1.1	0	-	-	1.3	0.2
10/10/2019	1	0	0.6	0.3	-	-
11/10/2019	0.8	0	-	-	0.8	0.7
14/10/2019	1.3	0.5	0.6	0.3	-	-
15/10/2019	0.9	0	-	-	0.3	0.1
16/10/2019	1	0	1	0.4	-	-
17/10/2019	1.5	0.1	-	-	0.4	0.2
18/10/2019	2	0.2	0.9	0.3	-	-
19/10/2019	0.6	0	-	-	0.5	0.1
20/10/2019	0.7	0	0.5	0.1	-	-
22/10/2019	0.7	0	-	-	0.4	0.1
23/10/2019	0	0.6	0.8	0.3	-	-
24/10/2019	0.7	0.3	-	-	0.5	0
30/10/2019	0.7	0.4	0.6	0	-	-
04/11/2019	0.5	0.1	-	-	0.8	0.3
05/11/2019	0.6	0.3	1	0.6	-	-
06/11/2019	0.4	0	-	-	0.5	0.1

Tabla 24 Solidos sedimentables de los clarificadores secundarios de la PTAR "Paso Limón"

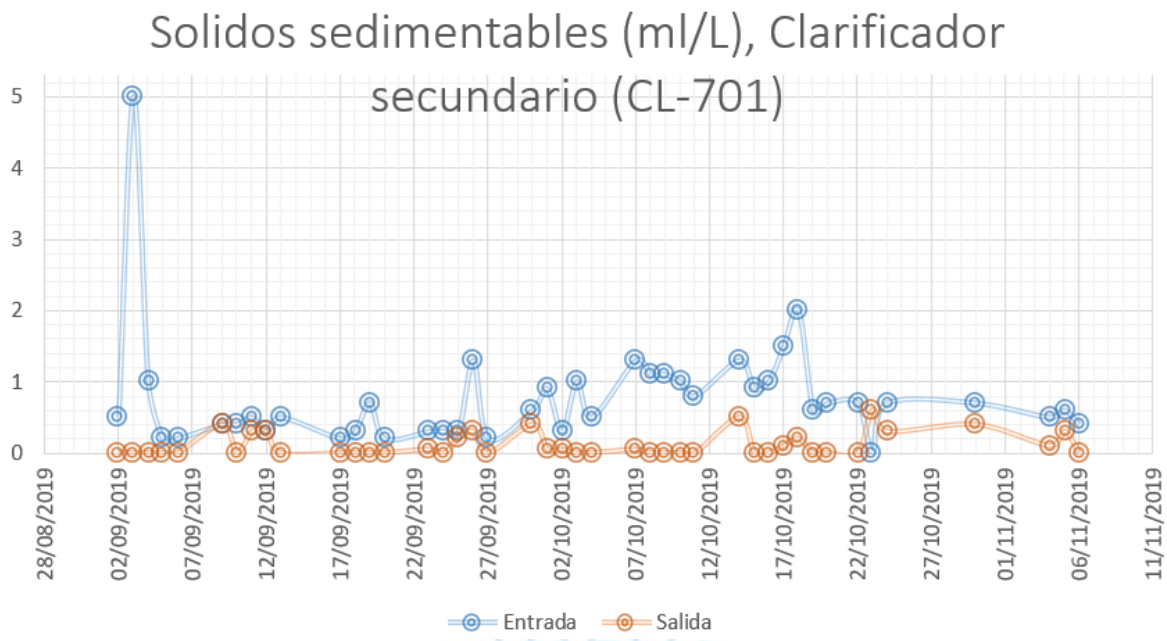


Figura 38 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-701 de la PTAR "Paso Limón"

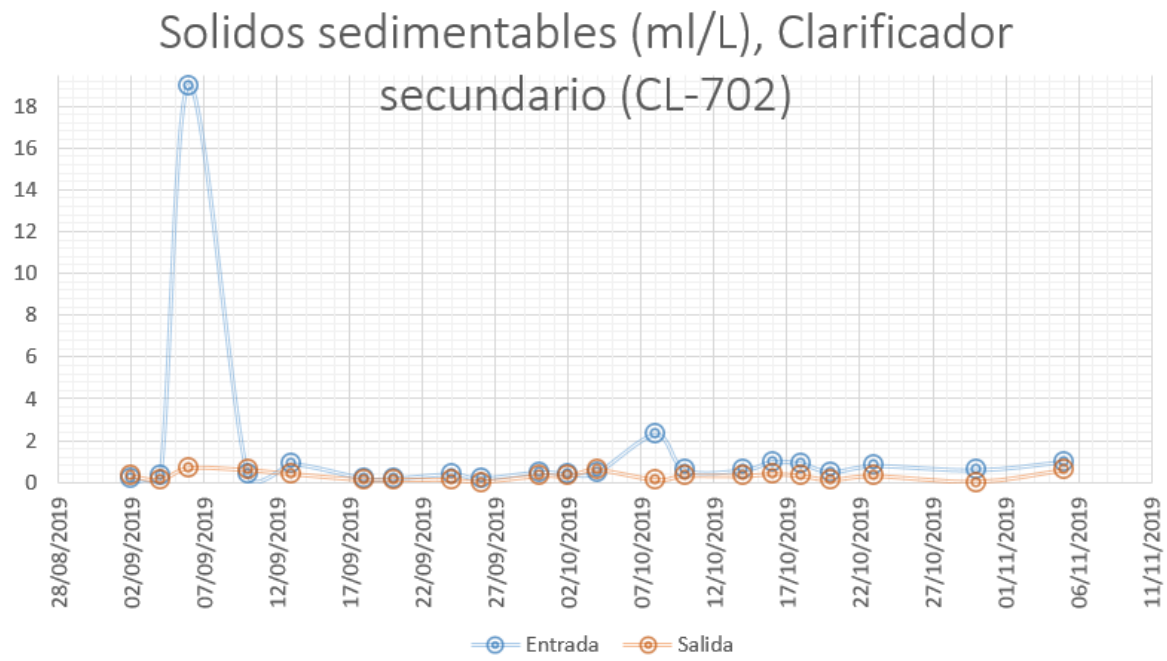


Figura 39 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-702 de la PTAR "Paso Limón"

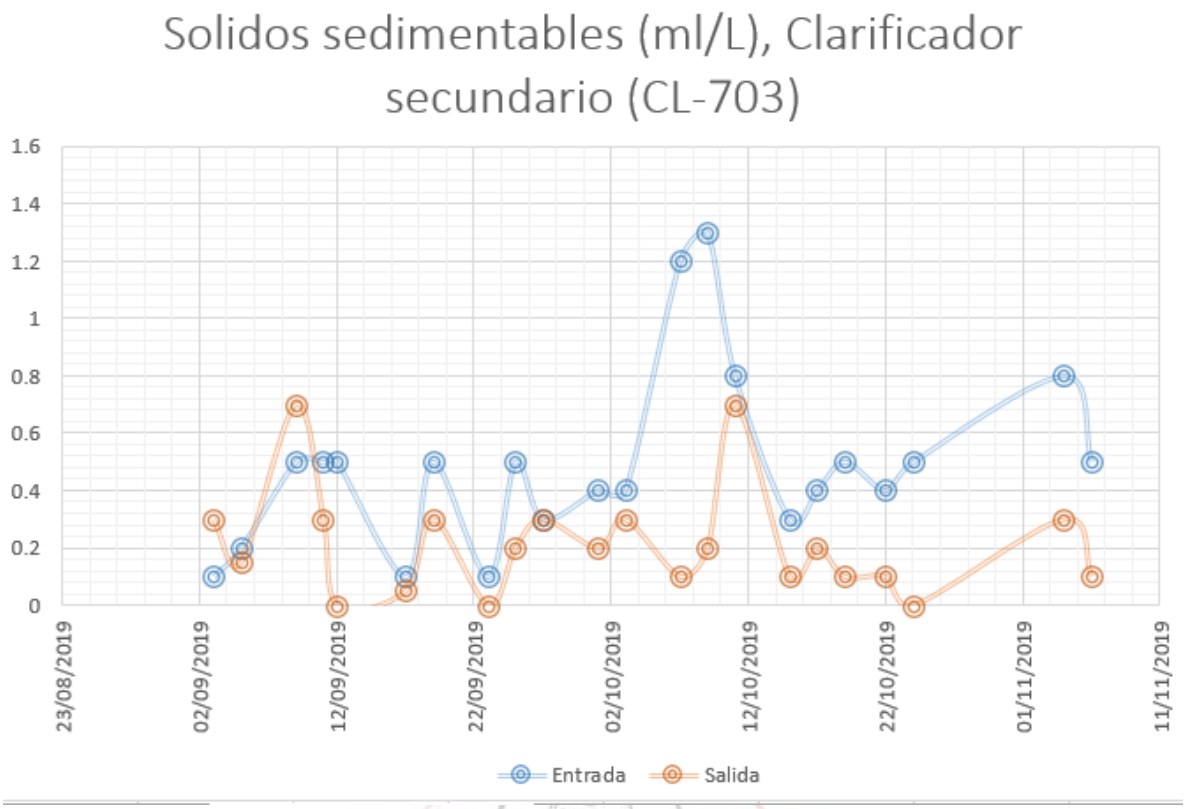


Figura 40 Descripción grafica de solidos sedimentables del clarificador CL-703 de la PTAR "Paso Limón"

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS

Fecha	Solidos Sedimentables (ml/L)	
	Filtro percolador (FP-501)	Filtro percolador (FP-601)
	Salida	Salida
02/09/2019	0.4	0.4
03/09/2019	1.6	0.3
04/09/2019	0.3	0.2
05/09/2019	0.2	0.4
06/09/2019	0.4	12
09/09/2019	0.3	0.4
10/09/2019	0.4	0.3
11/09/2019	0.3	0.5
12/09/2019	0.4	0.5
13/09/2019	0.7	0.4
17/09/2019	0.3	0.1
18/09/2019	0.4	0.4
19/09/2019	0.2	0.3
20/09/2019	0.2	0.4
23/09/2019	1.5	0.3
24/09/2019	0.5	0.2
25/09/2019	0.5	0.4
26/09/2019	0.2	1
27/09/2019	0.3	8
30/09/2019	0.4	0.3
01/10/2019	1	0.3
02/10/2019	0.5	0.4
03/10/2019	1	0.4
04/10/2019	0.4	0.4
07/10/2019	0.5	1
08/10/2019	1	2
09/10/2019	0.7	0.7
10/10/2019	0.7	1.5
11/10/2019	1	0.8
14/10/2019	0.9	0.4
15/10/2019	0.8	0.4
16/10/2019	0.5	1.5
17/10/2019	1.4	0.3
18/10/2019	1.5	0.6
21/10/2019	0.4	0.7
22/10/2019	0.7	0.5
23/10/2019	0.7	0.4
24/10/2019	0	0.8
30/10/2019	0.7	0.5
04/11/2019	0.5	0.8
05/11/2019	0.6	1
06/11/2019	0.4	0.5

Tabla 25 Solidos sedimentables de los filtros percoladores de la PTAR "Paso Limón"

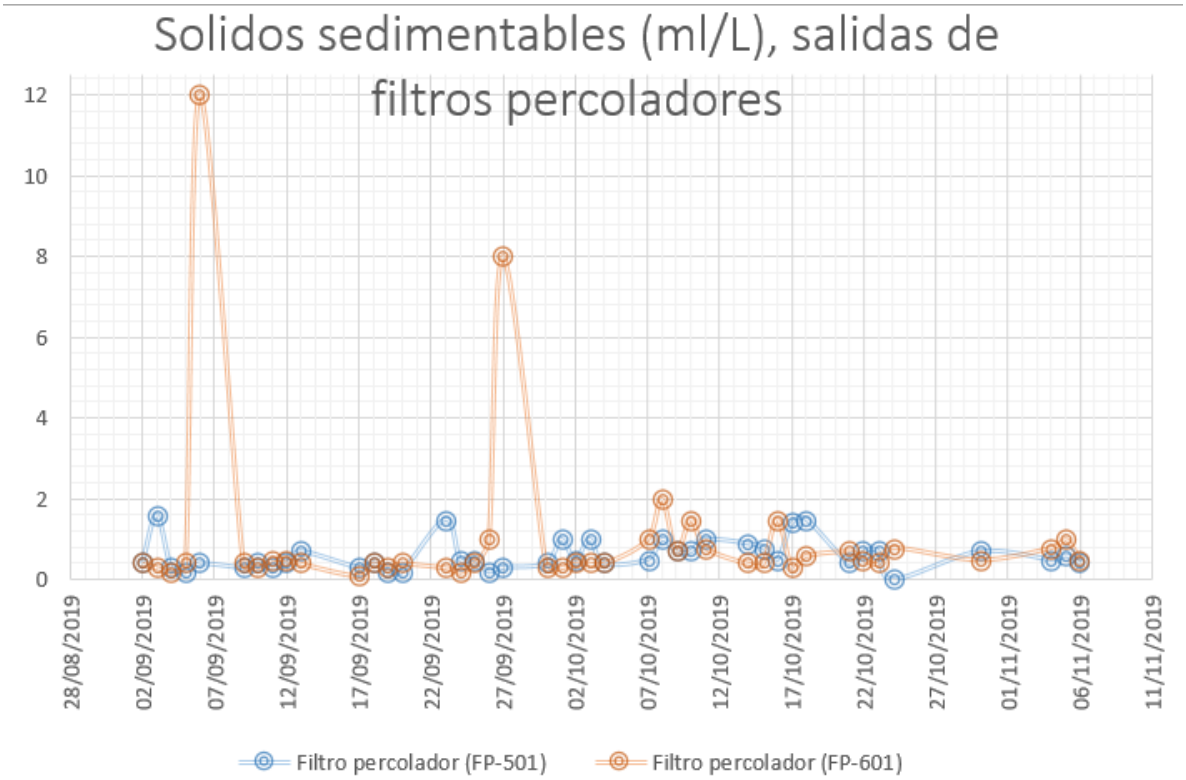


Figura 41 Descripción grafica de los sólidos sedimentables de los filtros percoladores de la PTAR "Paso Limón"

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.

Temperatura

Fecha	Temperatura (°C)	
	Afluente	Efluente
02/09/2019	29.2	28.7
03/09/2019	29.3	29
04/09/2019	29.2	29.1
05/09/2019	29.6	29.3
06/09/2019	29.2	29.1
09/09/2019	29.3	29
10/09/2019	29.1	28.8
11/09/2019	28.7	28.3
12/09/2019	29.2	29.7
13/09/2019	28.9	28.9
17/09/2019	29.5	29.7
18/09/2019	28.7	28.4
19/09/2019	28.3	28.8
20/09/2019	29	28.8
23/09/2019	29.1	28.8
24/09/2019	28.6	28.2
25/09/2019	29.3	29.6
26/09/2019	29	29
27/09/2019	29.2	29.4
30/09/2019	28.3	28.4
01/10/2019	29	29.3
02/10/2019	28.9	28.6
03/10/2019	28.3	28.4
04/10/2019	28.3	28.3
07/10/2019	28.6	28.3
08/10/2019	27.9	27.7
09/10/2019	27.7	26.9
10/10/2019	28.6	28.5
11/10/2019	29.2	29.5
14/10/2019	28.2	28.1
15/10/2019	28.6	28.2
16/10/2019	28.1	27.9
17/10/2019	28.9	29
18/10/2019	28.7	28.4
21/10/2019	28.6	28.3
22/10/2019	28.9	28.6
23/10/2019	29	28.7
30/10/2019	27.3	26.8
31/10/2019	28.2	28.2

Tabla 26 Temperatura del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón"

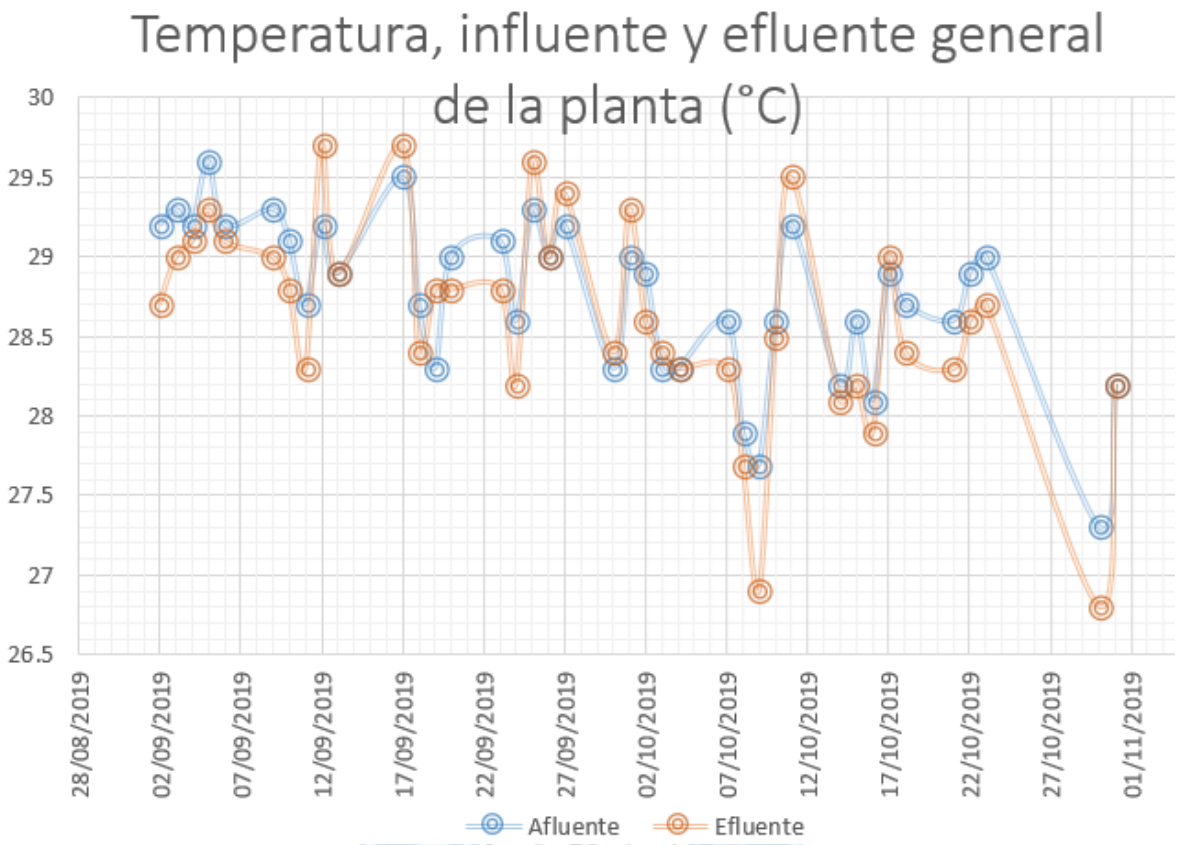


Figura 42 Descripción grafica de las temperaturas de la PTAR "Paso Limón"

Promedio mensual (°C)		
Mes	Afluente	Efluente
Septiembre	29.035	28.95
Octubre	28.473684	28.3

Tabla 27 Promedio mensual de temperatura del afluente y efluente general de la PTAR Paso Limón

La temperatura del agua residual de entrada es mayor a la de salida debido a la actividad biológica, al momento de llevar un proceso de tratamiento la temperatura disminuye debido a la reducción de carga biológica contenida en ella.

Conductividad

Fecha	Conductividad (µS/cm)	
	Afluente	Efluente
02/09/2019	1000	932
03/09/2019	1004	910
04/09/2019	947	894
05/09/2019	1049	825
06/09/2019	994	836
09/09/2019	1056	813
10/09/2019	1097	935
11/09/2019	985	806
12/09/2019	1199	1040
13/09/2019	1060	919
17/09/2019	1208	909
18/09/2019	1179	795
19/09/2019	989	965
20/09/2019	939	897
23/09/2019	1294	900
24/09/2019	1049	701
25/09/2019	1148	965
26/09/2019	1123	891
27/09/2019	1217	937
30/09/2019	1192	955
01/10/2019	1152	960
02/10/2019	1188	938
03/10/2019	1269	946
04/10/2019	1151	935
07/10/2019	1319	1284
08/10/2019	984	883
09/10/2019	952	640
10/10/2019	1131	1003
11/10/2019	1234	990
14/10/2019	1015	896
15/10/2019	1171	971
16/10/2019	1162	873
17/10/2019	1145	955
18/10/2019	1101	980
21/10/2019	1012	724
22/10/2019	1201	1054
23/10/2019	1226	968
30/10/2019	1082	668
31/10/2019	1306	983
04/11/2019	1187	979
05/11/2019	1233	1043
06/11/2019	1107	1046

Tabla 28 Conductividad del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón"

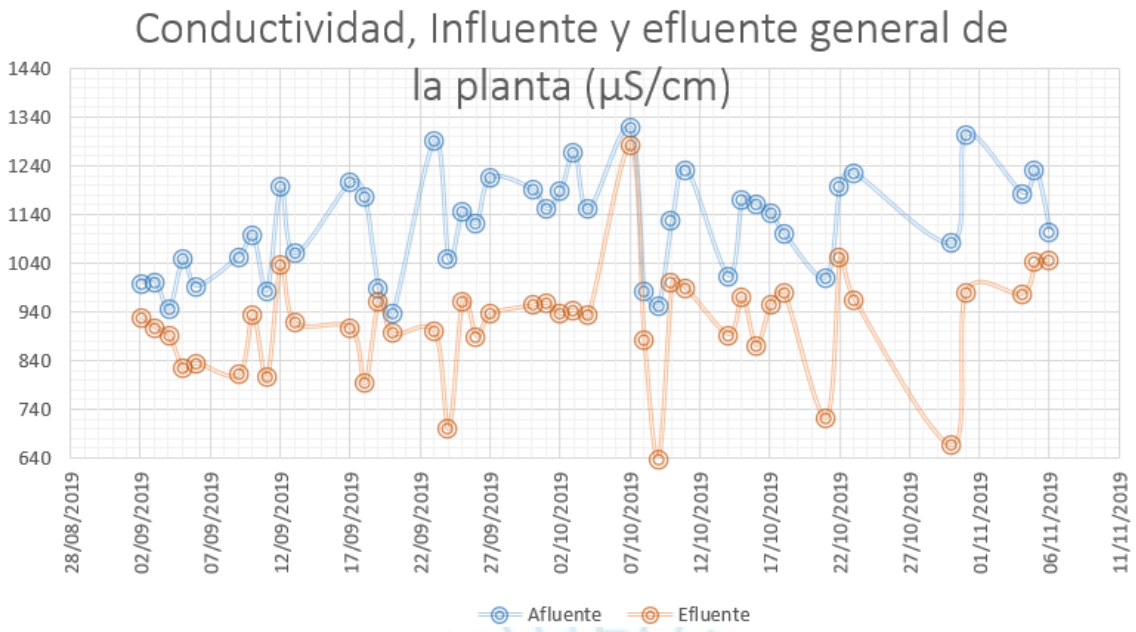


Figura 43 Descripción grafica de conductividad electrolítica de la PTAR "Paso Limón"

La conductividad electrolítica del agua residual es mayor en la entrada debido a las sales minerales contenidas en ella, al momento de ser tratada la cantidad de sales minerales disminuye y por ende la conductividad del agua disminuirá, para tener un valor de referencia de la conductividad electrolítica se tomara en cuenta la del agua destilada o desionizada que es 5,0 µS/cm

PH

Fecha	pH	
	Afluente	Efluente
02/09/2019	7.82	7.95
03/09/2019	7.86	7.98
04/09/2019	7.83	7.97
05/09/2019	7.83	7.97
06/09/2019	7.9	7.99
09/09/2019	7.91	7.98
10/09/2019	7.97	8.07
11/09/2019	7.97	7.97
12/09/2019	7.92	8.23
13/09/2019	7.98	8.09
17/09/2019	7.94	8.13
18/09/2019	8.01	8.04
19/09/2019	7.95	8.1
20/09/2019	7.97	8.07
23/09/2019	8	8.09
24/09/2019	8.11	7.93
25/09/2019	7.95	8.19
26/09/2019	8.04	8.15
27/09/2019	8.02	8.21
30/09/2019	8.02	8.22
01/10/2019	8.02	8.19
02/10/2019	8.08	8.18
03/10/2019	8.07	8.24
04/10/2019	8.16	8.16
07/10/2019	8.09	8.38
08/10/2019	8.07	8.07
09/10/2019	8.16	7.9
10/10/2019	8.09	8.12
11/10/2019	8.07	8.16
14/10/2019	8.05	8.14
15/10/2019	8.03	8.1
16/10/2019	8.11	8.07
17/10/2019	8.08	8.07
18/10/2019	8.1	8.09
21/10/2019	8.17	7.99
22/10/2019	8.24	8.16
23/10/2019	8.16	8.11
30/10/2019	8.34	8.07
31/10/2019	8.16	8.22
04/11/2019	8.25	8.4
05/11/2019	8.24	8.4
06/11/2019	8.33	8.42

Tabla 29 pH del afluente y efluente general de la PTAR "Paso Limón"

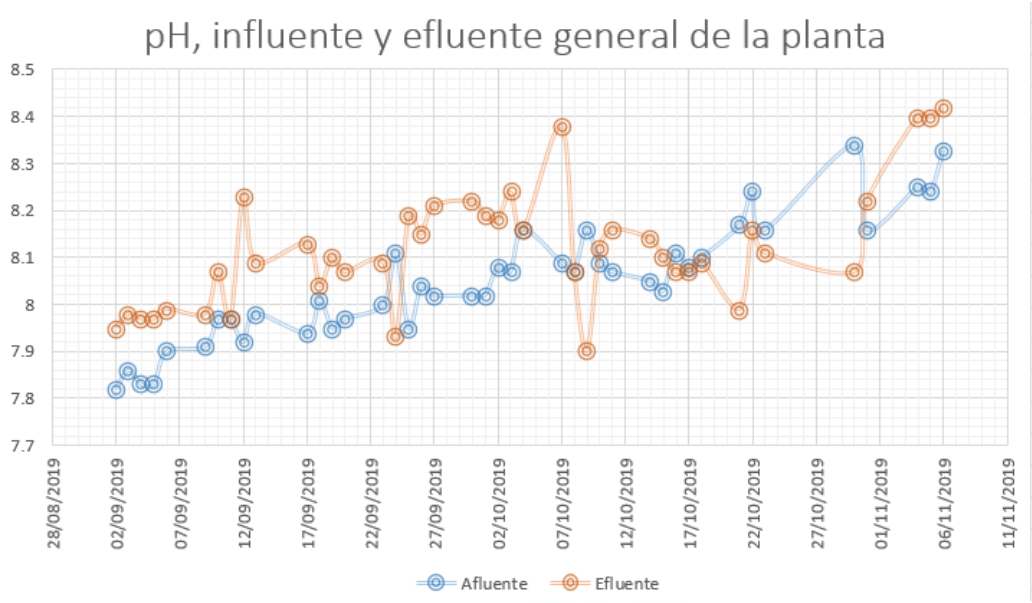


Figura 44 Descripción grafica del pH de la PTAR "Paso Limón"

Promedio mensual		
Mes	Afluente	Efluente
sep-19	7.95	8.0665
oct-19	8.11842105	8.12736842

Tabla 30 Promedio mensual de pH de la PTAR Paso Limón

Los valores de pH normales para el agua son de entre 5 a 8, sin embargo se puede observar que los valores van en aumento y el pH del efluente de la planta es mayor a la del afluente.

Esto se puede explicar a que el pH tiene una relación con la temperatura, cuando hay un incremento en la temperatura, el pH disminuye, de igual forma una disminución de temperatura implica un aumento en el pH.

Y como se puede observar al comparar la *figura 42* y la *figura 44*, la temperatura va disminuyendo y el pH va en aumento. De igual manera la temperatura del efluente general de la planta es menor a la del afluente, entonces el pH será mayor en la salida que en la entrada.

Solidos totales

10 de septiembre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7763	74.8633	74.8387	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V}\ 1\ 000\ 000$$

$$ST = \frac{74.8633\ gr\ - 74.7763 gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 870 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6722	83.7412	83.7303	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V}\ 1\ 000\ 000$$

$$ST = \frac{83.7412\ gr\ - 83.6722\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 690 mg/L

27 de septiembre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7792	74.8633	74.8347	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V}\ 1\ 000\ 000$$

$$ST = \frac{74.8633\ gr\ - 74.7792 gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 841 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6766	83.7364	83.7251	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V}\ 1\ 000\ 000$$

$$ST = \frac{83.7364\ gr\ - 83.6766\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 598 mg/L

01 de octubre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7802	74.8624	74.8356	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V}\ 1\ 000\ 000$$

$$ST = \frac{74.8624\ gr\ - 74.7802\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 822 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6778	83.736	83.727	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V}\ 1\ 000\ 000$$

$$ST = \frac{83.736\ gr\ - 83.6778\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 582 mg/L

16 de octubre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7795	74.8504	74.8282	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V} \; 1\,000\,000$$

$$ST = \frac{74.8633\ gr\ - 74.7763 gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 709 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6754	83.7339	83.7191	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V} \; 1\,000\,000$$

$$ST = \frac{83.7412\ gr\ - 83.6722\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 585 mg/L

22 de octubre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7794	74.8557	74.8323	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V} \; 1\,000\,000$$

$$ST = \frac{74.8624\ gr\ - 74.7802\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 763 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
74.7802	74.8439	74.8309	100

SOLIDOS TOTALES

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V} \; 1\,000\,000$$

$$ST = \frac{83.736\ gr\ - 83.6778\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

ST= 637 mg/L

Se puede observar en los valores de solidos totales de la entrada y la salida que solo disminuye aproximadamente 1/3 de lo que entra.

Solidos totales volátiles

10 de septiembre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7763	74.8633	74.8387	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{74.8633\ gr\ - 74.8387\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 246 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6722	83.7412	83.7303	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{83.7412gr\ - 83.7303\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 109 mg/L

27 de septiembre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7792	74.8633	74.8347	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{74.8633\ gr\ - 74.8347\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 286 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6766	83.7364	83.7251	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{83.7364\ gr\ - 83.7251\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 113 mg/L

01 de octubre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7802	74.8624	74.8356	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{74.8624\ gr\ - 74.8356\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 268 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6778	83.736	83.727	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{83.736\ gr\ - 83.727\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 90 mg/L

16 de octubre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7795	74.8504	74.8282	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{74.8633\ gr\ - 74.8387\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 222 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
83.6754	83.7339	83.7191	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{83.7412gr\ - 83.7303\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 148 mg/L

22 de octubre del 2019

Entrada

Datos:

M1(g)	M3(g)	M4(g)	V(ml)
74.7794	74.8557	74.8323	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{74.8624\ gr\ - 74.8356\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 234 mg/L

Salida

Datos:

M1'(g)	M3'(g)	M4'(g)	V(ml)
74.7802	74.8439	74.8309	100

SOLIDOS TOTALES VOLATILES

$$STV = \frac{(m_3 - m_4)}{V} 1\ 000\ 000$$

$$STV = \frac{83.736\ gr\ - 83.727\ gr}{100\ ml} * 1000000$$

STV= 130 mg/L

Se puede observar en los valores de solidos totales volátiles de entrada y salida que se disminuye aproximadamente la mitad de lo que entra.

Materia flotante

Materia flotantes	
Fecha	Efluente
01/10/2019	ausente
02/10/2019	ausente
03/10/2019	ausente
04/10/2019	ausente
07/10/2019	ausente
08/10/2019	ausente
09/10/2019	ausente
10/10/2019	ausente
11/10/2019	ausente
14/10/2019	En presencia
15/10/2019	ausente
16/10/2019	ausente
17/10/2019	ausente
18/10/2019	ausente
21/10/2019	En presencia
22/10/2019	En presencia
23/10/2019	ausente
24/10/2019	ausente
25/10/2019	ausente
28/10/2019	ausente
29/10/2019	ausente
30/10/2019	ausente
04/11/2019	ausente
05/11/2019	ausente
06/11/2019	ausente
07/11/2019	ausente
08/11/2019	ausente
11/11/2019	ausente
12/11/2019	ausente
13/11/2019	ausente
14/11/2019	ausente
15/11/2019	ausente
19/11/2019	ausente
20/11/2019	ausente
21/11/2019	ausente
22/11/2019	ausente
25/11/2019	En presencia
26/11/2019	En presencia
27/11/2019	ausente
28/11/2019	En presencia
29/11/2019	ausente

Tabla 31 Materia flotante del efluente general de la PTAR "Paso Limón"

La determinación de materia flotante normalmente es ausente, sin embargo hay días en los que existe presencia de materia en el efluente, la materia flotante que se encuentra corresponde a materia orgánica como moho, que se encuentra principalmente en las paredes de los equipos.

DBO

Fecha	DBO (mg/L)
	Efluente
05/09/2019	31
19/09/2019	80
03/10/2019	38
17/10/2019	41
07/11/2019	51
22/11/2019	44

Tabla 32 DBO del efluente general de la PTAR Paso Limón

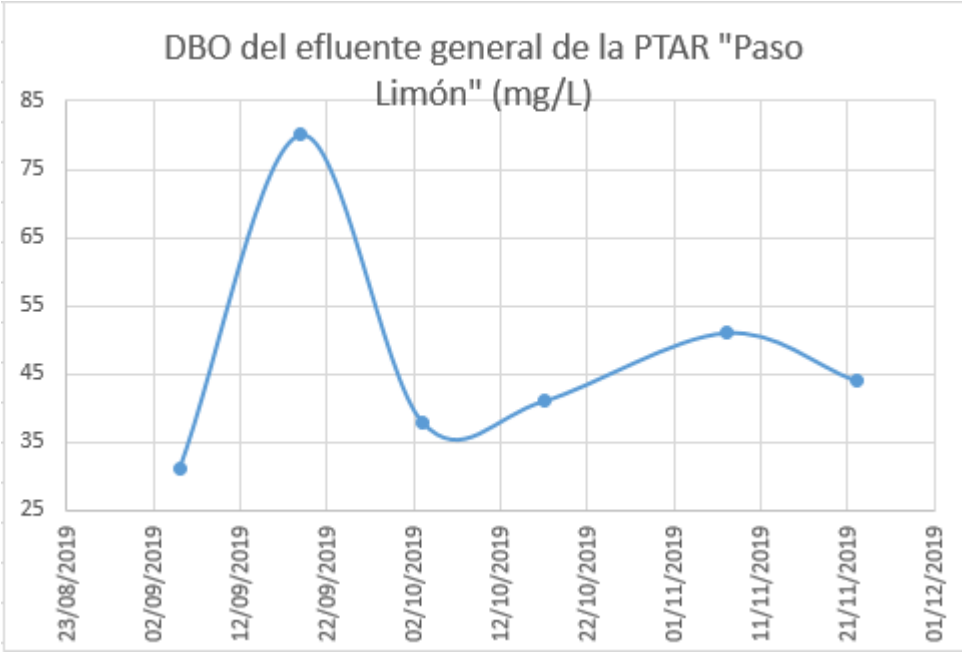


Figura 45 Descripción grafica de la DBO del efluente de la PTAR "Paso Limón"

Promedio mensual de DBO (mg/L)	
Septiembre	55.5
Octubre	39.5
Noviembre	47.5

Tabla 33 Promedio mensual de DBO de la PTAR Paso Limón

La demanda bioquímica de oxigeno no excede el límite máximo permisible establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 para ríos- uso público urbano, que es a la que se apega esta planta de tratamiento de aguas residuales.

DQO

Fecha	DQO (mg/L)
	Efluente
05/09/2019	53
19/09/2019	81
03/10/2019	60
17/10/2019	58
07/11/2019	88
22/11/2019	113

Tabla 34 DQO del efluente general de la PTAR Paso Limón

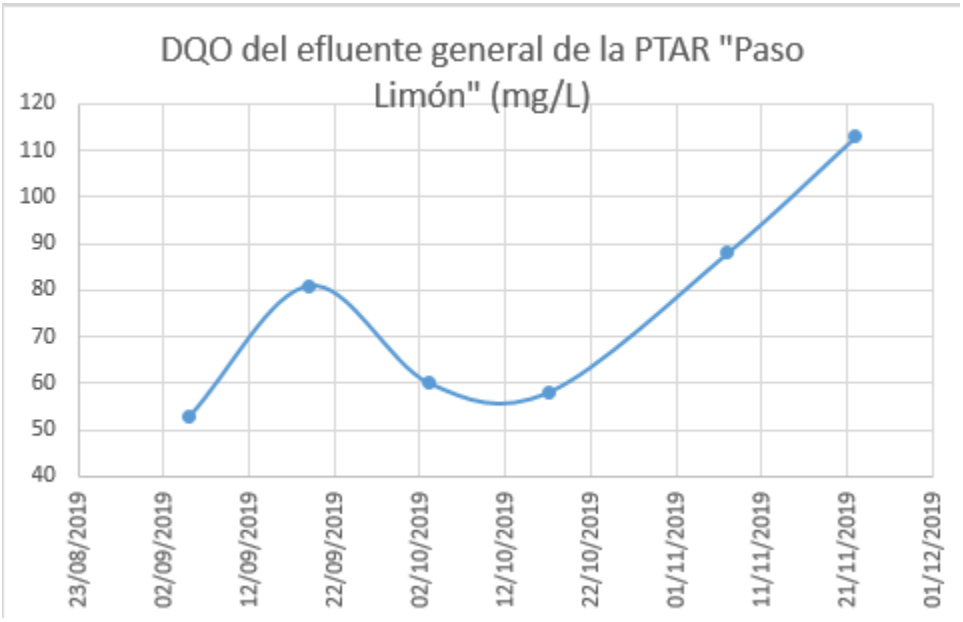


Figura 46 Descripción grafica de la DQO del efluente de la PTAR "Paso Limón"

Promedio mensual de DQO (mg/L)	
Septiembre	67
Octubre	59
Noviembre	100.5

Tabla 35 Promedio mensual de DQO de la PTAR Paso Limón

En algunos casos la demanda química de oxigeno sale un poco alta debido a que actualmente el sistema de desinfección esta deshabilitado ya que no se cuenta con el recurso de hipoclorito de sodio y el equipo de dosificación se encuentra en malas condiciones.

Evaluación de parámetros con forme a la NOM-001-SEMARNAT-1996

Para ver la tabla completa de límites máximos permisibles de contaminantes básicos establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 ir a la *Tabla 39* en la sección de anexos.

Tabla de evaluación de parametros en comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996		
PTAR Paso Limón		Límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (rios-uso público urbano)
Temperatura		
Mes	Promedio mensual (PM)	Promedio mensual (PM)
sep-19	28.95°C	40 °C
oct-19	28.3°C	
Materia flotante		
oct-19	Ausente	Ausente
nov-19	Ausente	
Solidos sedimentables		
sep-19	0.25 ml/L	1 ml/L
oct-19	0.3 ml/L	
Demanda bioquimica de oxigeno		
sep-19	55.5 mg/L	75 mg/L
oct-19	39.5 mg/L	
nov-19	47.5 mg/L	

Tabla 36 Evaluación de parámetros en comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996

Tabla de evaluación de pH en comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996		
PTAR Paso Limón		Límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996
sep-19	8.07	5 a 10
oct-19	8.13	

Tabla 37 Evaluación de pH en comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996

Se puede observar en la evaluación que en todos los casos cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996, la demanda química de oxigeno no excede el límite máximo permisible a pesar de que no se está llevando la tarea de desinfección en la planta de tratamiento de aguas residuales, debido a que no cuenta con el recurso del hipoclorito de sodio y la infraestructura para la dosificación se encuentra en mal estado.

RELACIÓN DQO/DBO5

Fecha	DQO mg/L	DBO mg/L	Relación DQO/DBO
05/09/2019	53	31	1.710
19/09/2019	81	80	1.013
03/10/2019	60	38	1.579
17/10/2019	58	41	1.415
07/11/2019	88	51	1.725
22/11/2019	113	44	2.568

Tabla 38 Relación DQO/DBO de la PTAR Paso Limón

Biodegradabilidad	
Libro Estudios de Biodegradabilidad de Efluentes Industriales de Gonzales V.	
(DQO/DBO5) < 2.5	2.5 < (DQO/DBO5) < 5
Es un efluente o compuesto biodegradable, en el que se puede utilizar procesos biológicos como fangos activos o lechos bacterianos.	Es biodegradable pero se recomienda el uso de lechos bacterianos.

Figura 47 Parámetros de biodegradabilidad (Gonzalez, 1993)

Con estos valores se puede decir que el efluente de la PTAR Paso Limón es biodegradable.

Conclusiones

El cumplimiento de las normas de descarga de una planta de tratamiento de aguas residuales es tarea de todos los trabajadores. Todos los trabajadores deben de tener conocimientos de acuerdo al puesto que tienen, para realizar adecuadamente su trabajo, existen muchas plantas de tratamiento en las que hay personal que solo cuenta con conocimientos empíricos, sin embargo es necesario tener conocimientos teóricos para poder tener la capacidad de solucionar problemas y adaptarse a situaciones adversas a las normales, es indispensable capacitar bien a todos los trabajadores, para que en su labor no existan dudas y se disminuya el rango de error y así evitar accidentes que como en cualquier planta siempre existe un peligro latente.

Con el análisis de resultados se puede observar que los valores de los parámetros pueden variar dependiendo de la hora de muestreo, estación del año, condiciones climáticas, aumento de la población, falta de mantenimiento de las unidades de proceso, etc.

Los parámetros evaluados que se presentan en este informe cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es la norma a la que se acata esta planta de tratamiento de aguas residuales.

El mantenimiento de los equipos se hace de forma constante y a pesar de que los parámetros cumplen con la norma se podrían mejorar, haciendo el uso correcto del stand-by y mejorando y/o aplicando bien el manual de procedimiento ya que actualmente el flujo de entrada de la PTAR oscila entre los 645 l/s estando entre el flujo mínimo y flujo medio de diseño de la PTAR.

Competencias desarrolladas y /o aplicadas

Para la realización de este informe técnico de residencia se utilizaron principalmente conocimientos aprendidos en las materias de balance de materia y energía, termodinámica, laboratorio integral I, II y III, tratamiento de aguas residuales, salud y seguridad en el trabajo, procesos de separación I, taller de investigación I y II, ingeniería ambiental y desarrollo sustentable.

Algunas de las habilidades que se aplicaron fueron el trabajo en equipo, investigación, capacidad de análisis y síntesis, usos de las tecnologías de información y comunicación.

Fuentes de información

Diario Oficial de la Federación . (1996). *NOM-001-SEMARNAT-1996 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.* México,DF: Diario Oficial de la Federación .

Diario Oficial de la Federación. (1980). *NMX-AA-3-1980 Aguas residuales-Muestreo* . México, D.F: Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación. (2015). *NMX-AA-034-SCFI-2015 MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS* . México D.F: Diario Oficial de la Federación.

Coello, G., & Robles, A. (2011). *DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PASO LIMÓN, TUXTLA GUTIÉRREZ.* Tuxtla Gutiérrez : UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIAPAS .

CONAGUA. (19 de Diciembre de 2019). *Cuanta agua tiene México*. Obtenido de Cuanta agua tiene México: http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=category&id=21&Itemid=300020

CONAGUA Comisión Nacional del Agua. (12 de Junio de 2018). *INEGI*. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/temas/gastopub/

CONSTRUMÁTICA. (19 de Noviembre de 2019). *CONSTRUMÁTICA*. Obtenido de CONSTRUMÁTICA: https://www.construmatica.com/construpedia/Aguas_Negras

Diario Oficial de la Federación. (1997). *NOM-003-SEMARNAT-1997.* D.F, México: Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación. (2000). *NMX-AA-006-SCFI-2000 DETERMINACIÓN DE MATERIA FLOTANTE EN AGUAS RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.* MÉXICO D.F: Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación. (2000). *NMX-AA-093-SCFI-2000 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA* . Mexico, Df: Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación. (2001). *NMX-AA-028-SCFI-2001 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA* . México, D.F : Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación. (2013). *NMX-AA-004-SCFI-2013 ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA* . Mexico, D.F: Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación. (2016). *NMX-AA-008-SCFI-2016 MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.- MÉTODO DE PRUEBA.* Mexico, D.F: Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación. (2013). *NMX-AA-007-SCFI-2013 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA* . México,D.F: Diario Oficial de la Federación.

EcuRed. (23 de Abril de 2012). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed: https://www.ecured.cu/Limnología

Gonzalez, V. (1993). *Estudios de Biodegradabilidad de Efluentes Industriales.*

Hernandez, A. (1992). *Depuracion de Aguas Residuales.* Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos,Canales y Puertos.

HIDROTEC. (25 de Septiembre de 2019). *HIDROTEC*. Obtenido de HIDROTEC: https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/

INEGI Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Modulo ambiental de agua potable y saneamiento. (16 de Junio de 2015). *INEGI*. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/temas/agua/

Marín Ocampo, A., & Osés Pérez, M. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Poceso de Lodos Activados.* Jalisco: CEA Jalisco .

Marquez, B. F. (23 de Agosto de 2016). *iagua*. Obtenido de iagua: https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/que-son-aguas-negras-0

Noyola, A., Morgan, M., & Güereca, P. (2013). *SELECCIÓN DE TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.* Ciudad de México: INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM.

Peñuela, G., & Morató, J. (2016). *MANUAL DE TECNOLOGIAS SOSTENIBLES EN TRATAMIENTO DE AGUAS.* San Luis Potosi: TECSPAR.

SCHÖNBORN, W. (1986). *Biotechnology: Microbial Degraadation, vol.8.* Weinheim, Germany: VCH Verlagsgesellschaft.

Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado. (24 de Septiembre de 2019). *SMAPA*. Obtenido de SMAPA: http://smapa.gob.mx/index.php/informacion-publica/historico

Tecnologia Intercontinental. (2013). *Arreglo general de tuberias planta.* Tuxtla Gutierrez : Tecnologia Intercontinental.

Tecnologia Intercontinental. (2013). *MEMORIADESCRIPTIVA Y EQUIPOSELECTROMECANICOS PROPUESTOS.* Tuxtla Gutiérrez: Tecnologia Intercontinental.

Torres, A. (2018). *ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES.* Granada.

WIKIPEDIA. (22 de 08 de 2019). *WIKIPEDIA*. Obtenido de WIKIPEDIA: https://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_residuales

WIKIPEDIA. (20 de Octubre de 2019). *WIKIPEDIA*. Obtenido de WIKIPEDIA: https://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_grises

WIKIPEDIA. (19 de Noviembre de 2019). *WIKIPEDIA*. Obtenido de WIKIPEDIA: https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_química_de_oxígeno

World Bank Open Data. (14 de Enero de 2018). *World Bank Open Data*. Obtenido de World Bank Open Data: https://data.worldbank.org/

Anexos

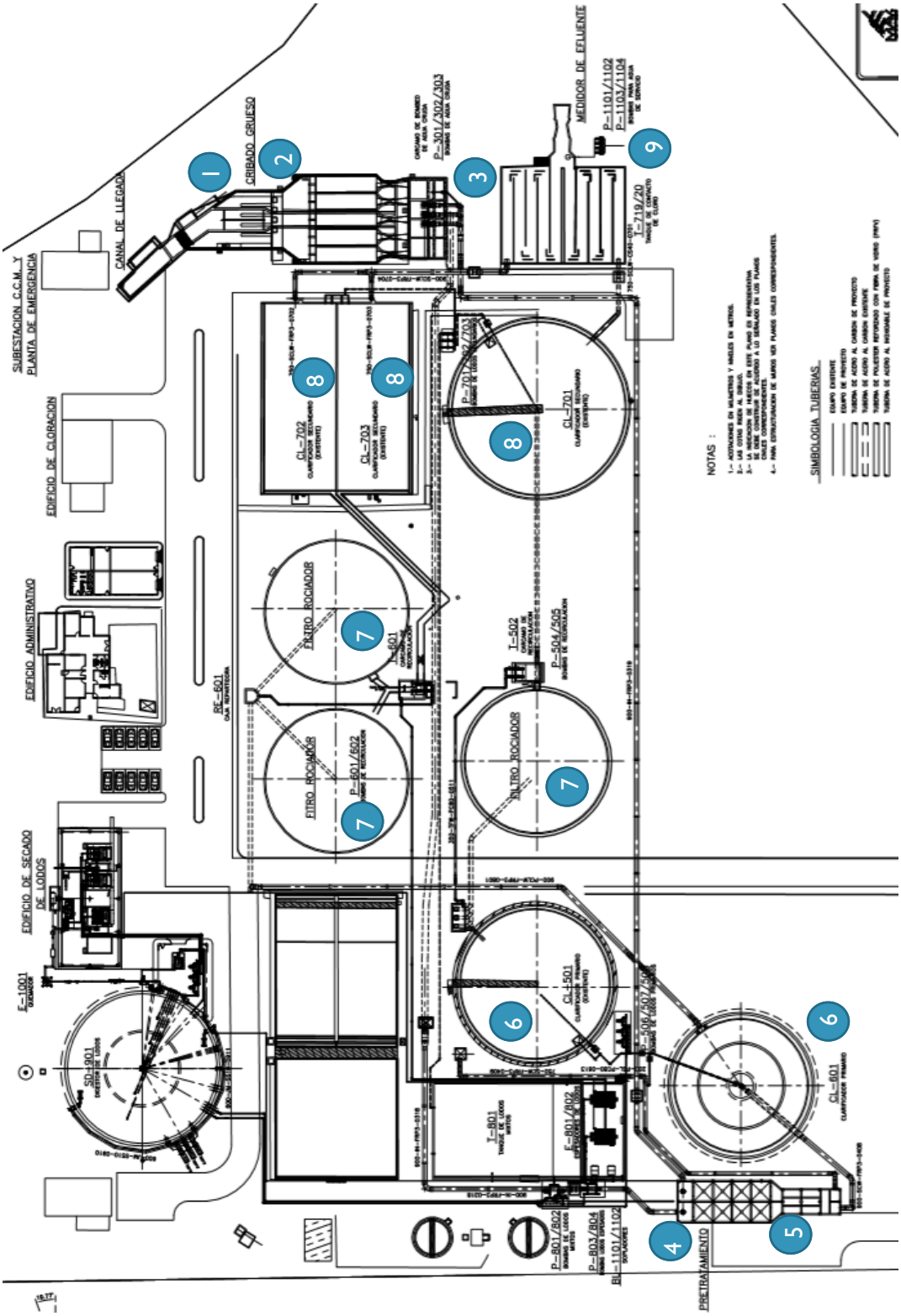


Figura 48 Arreglo general de la PTAR Paso Limón (Tecnologia Intercontinental, 2013)

Tabla 39 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos (Diario Oficial de la Federación , 1996)

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Uso en 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)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	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)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
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$_5$	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.
Fósforo 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 Ponderado
(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable
(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

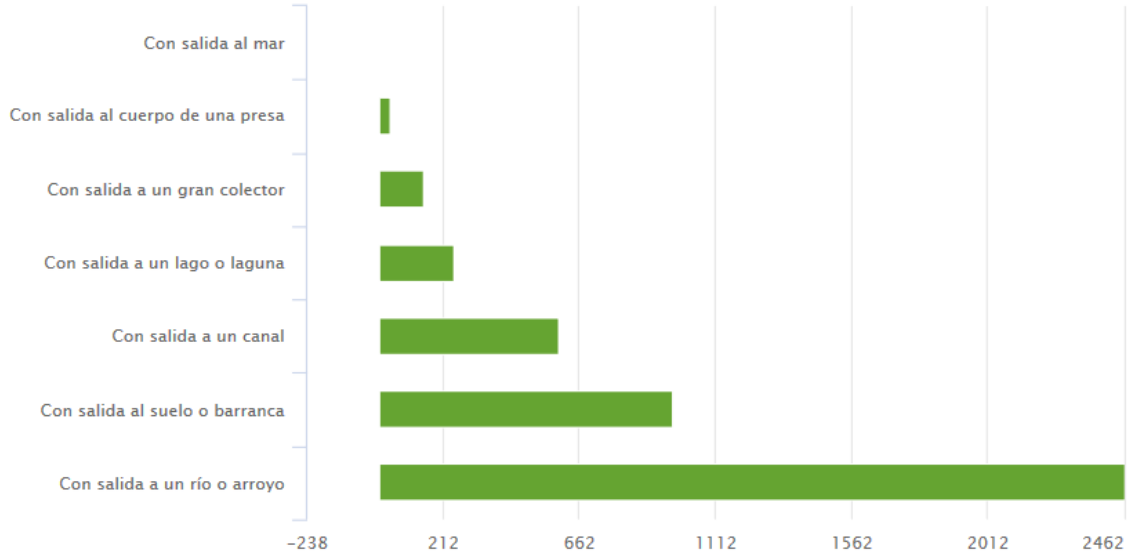


Figura 49 Cantidad de puntos de descarga de aguas residuales municipales sin tratamiento (INEGI Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Modulo ambiental de agua potable y saneamiento, 2015)

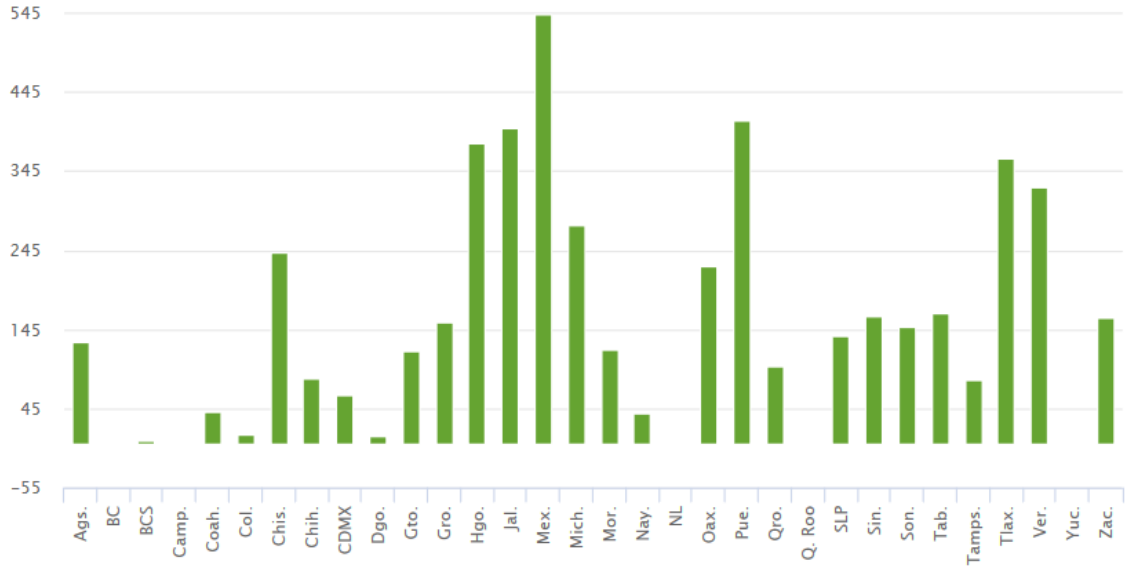


Figura 50 Puntos de descarga de aguas residuales municipales sin tratamiento (INEGI Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Modulo ambiental de agua potable y saneamiento, 2015)

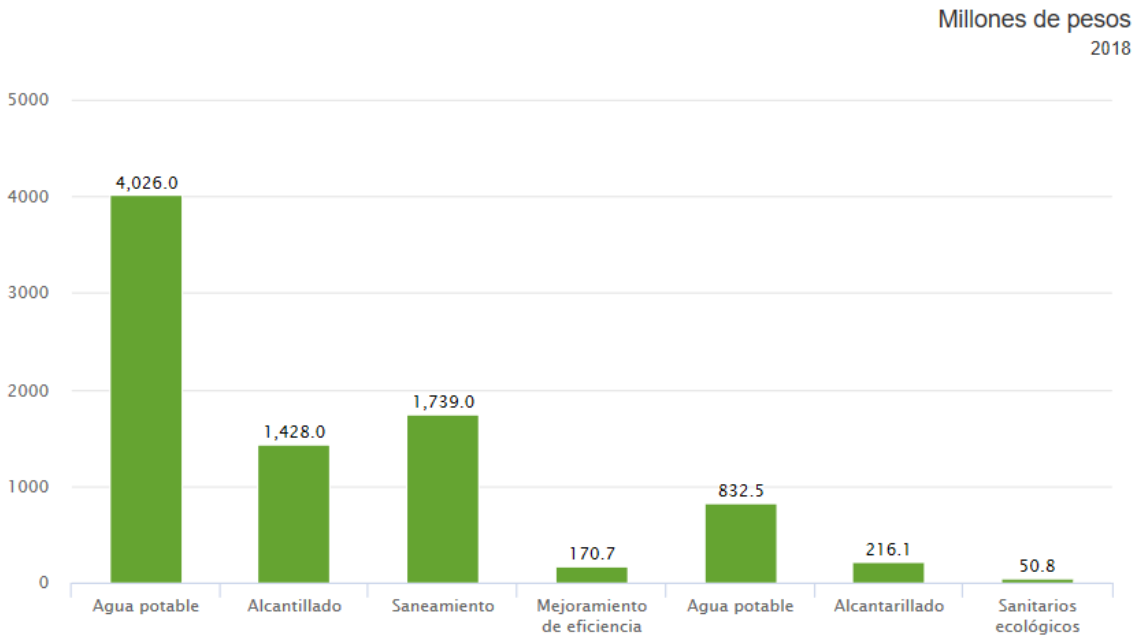


Figura 51 Destino de la inversión en infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento en México (CONAGUA Comisión Nacional del Agua, 2018)

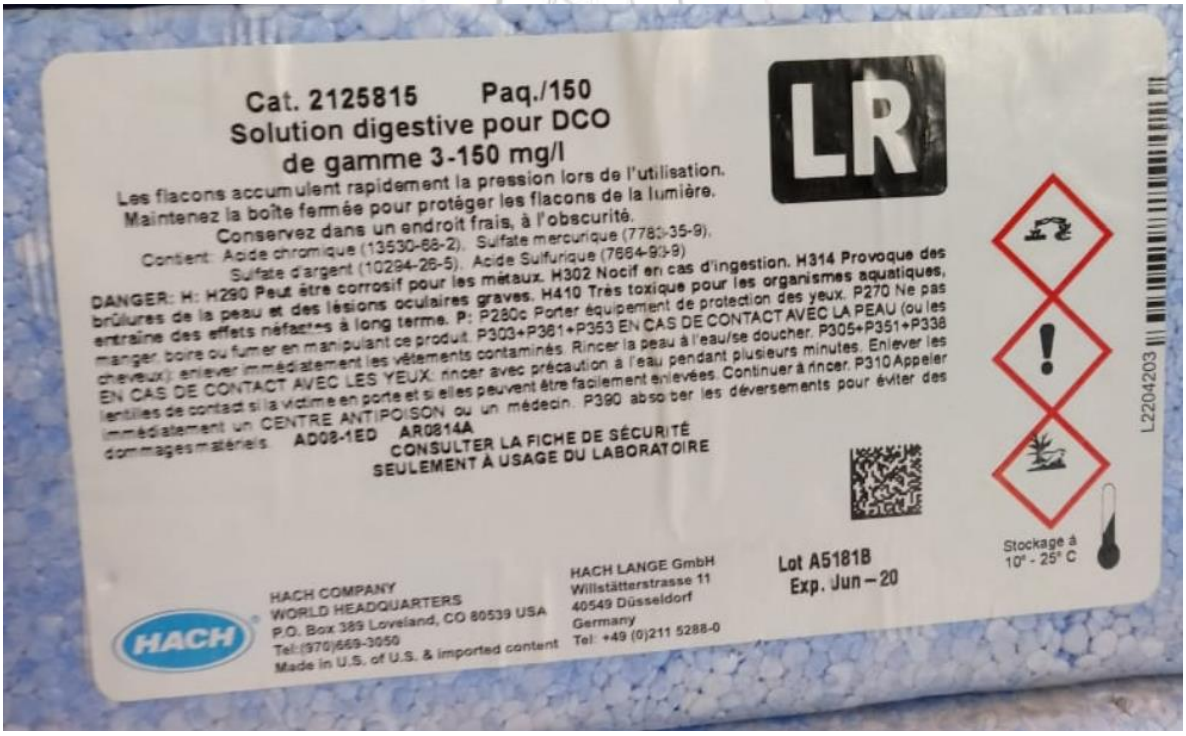


Figura 52 Especificaciones de viales para DQO rango bajo

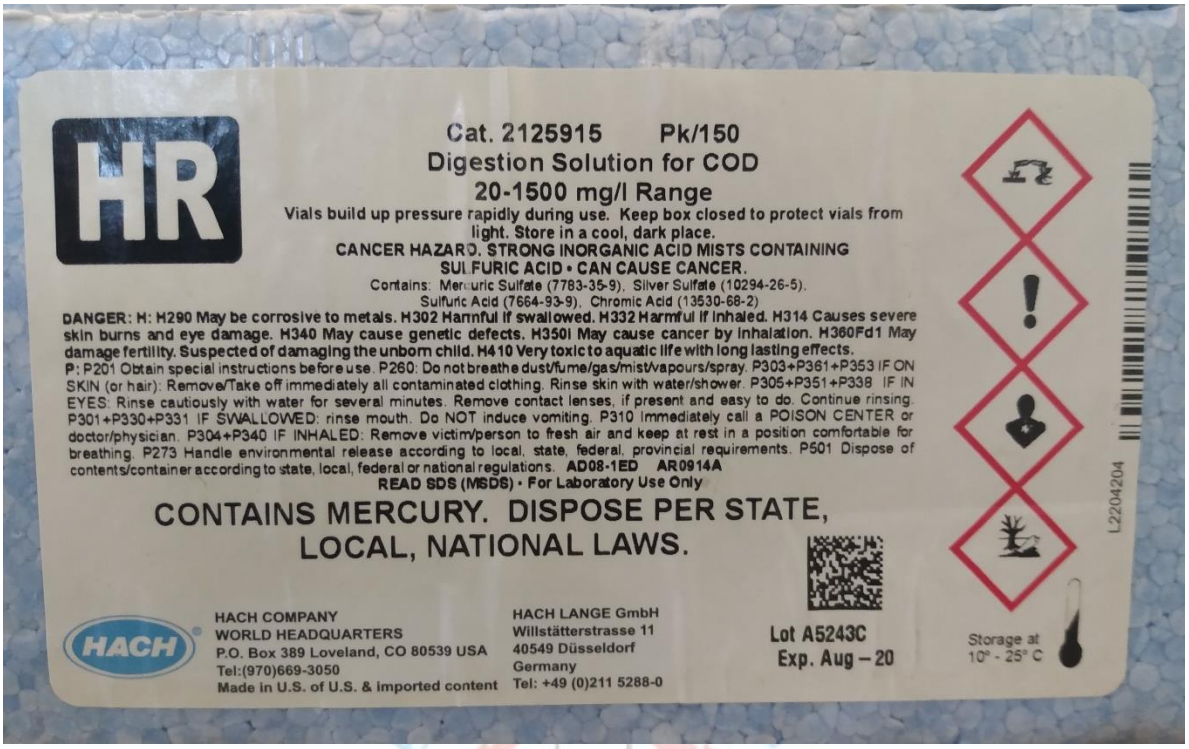


Figura 53 Especificaciones de viales para DQO rango alto

TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.