



UNIVERSIDAD MICHUACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



Facultad de Ingeniería Química

Palmira Navarro Téllez presenta

Tema de Tesis:

“EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE DOS SISTEMAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UBICADOS EN
LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO”

Para obtener el Título como Ingeniero Químico

Asesor: M. C Gabriel Martínez Herrera

Coasesor: Ing. Juan Camacho Orozco

Morelia, Mich. A Febrero del 2020

DEDICATORIA:

Con todo mi amor dedico este trabajo de tesis a mis queridos padres Virginia Téllez C. y José F. Navarro, a mi hermana Semiranis Navarro T., y a mi mejor amigo y compañero de esta aventura Guillermo Zavala P.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios, por permitirme llegar hasta este día y vivir esta experiencia que sin duda es la más significativa en mi vida hasta ahora.

A mí amada mamá Virginia Téllez C., porque siempre ha estado conmigo para alentarme en ánimo y moral, ¡Gracias mamá! porque siempre me has escuchado.

A mi querida hermana Semiranis Navarro T., quien nunca me ha dado la espalda aunque no esté de acuerdo en muchas de mis decisiones, gracias porque eres quien me da su mano cuando siento que ya no puedo más y me motiva a seguir adelante.

A mi mejor amigo, confidente y sin duda un hombre al cual le confío un gran amor Guillermo Zavala P., quién todo el tiempo me ayudo a no dejar de creer en mí durante la carrera y lo sigue haciendo, gracias porque eres quien me da fuerzas y me ayuda a replantearme cuando me siento sin rumbo.

A mi padre J. Francisco Navarro, gracias pues sin tú apoyo este momento se vería muy lejano todavía.

A la familia Vergara Téllez, gracias por todos ustedes siempre creer en mi persona y en lo que hago, gracias por motivarme todo el tiempo a superarme, los quiero mucho a todos.

A mi gran amigo Elizandro Nava, a quién le estoy sumamente agradecida por darme la confianza de hacer lo que para mí era desconocido en un mundo real, ¡Gracias! por darme una de las oportunidades laborales más bonita.

Al Ingeniero Juan Camacho y al M.C Gabriel Martínez H., muchas gracias por todo el apoyo y confianza brindada para realizar este trabajo, y poder darme la experiencia de relacionarme con la carrera en uno de los sectores más interesantes, que para muchos nos resulta desconocido pero sin duda es un lugar que deja un gran aprendizaje profesional y donde creces en sentido humano.

A todos los amigos que formé en la carrera, en especial a los que aún permanecen en mi vida, gracias por regalarme momentos inolvidables.

A la CONAGUA por brindarme la oportunidad de desenvolverme en esta área y adquirir nuevos conocimientos y experiencia.

A DUMAC de México por todo su apoyo para poder realizar y concretar este proyecto, pues sin duda alguna fue fundamental en todo aspecto.

A los profesores como al maestro Juan Ramón, la Dra. Maricela, la Dra. Ana Ma. G., al Dr. Jaime, a la Dra. Ma. Elena G., a la maestra Lupita, al Dr. José Ma., al Dr. Reginaldo, al maestro German, al Dr. Agustín, al Dr. Julián, quienes seguramente no lo saben pero marcaron significativamente este camino para mí, sin que lo supieran me retaban en cada clase y trabajo, ¡Gracias! Porque ustedes terminaron de enamorarme de la carrera y me convencieron de que mi decisión fue la correcta, les reconozco que ustedes son el claro ejemplo de lo que es un buen profesor y les debo mucho, ¡Muchas gracias!

INDICE:

RESUMEN: 8

ABSTRACT: 9

INTRODUCCION: 10

 CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO. 10

JUSTIFICACION: 13

OBJETIVOS: 14

 • Objetivo General: 14

 • Objetivos Particulares: 14

HIPOTESIS: 15

GENERALIDADES:..... 16

 LAGO DE CUITZEO. 16

 AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO. 16

 AGUAS RESIDUALES..... 19

 AGUAS RESIDUALES URBANAS..... 19

 AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS. 19

 AGUAS RESIDUALES AGRÍCOLAS..... 20

 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES..... 20

 PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES. 22

 PARAMETROS PARA CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES..... 23

 PRINCIPALES ELEMENTOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES. 26

 TECNOLOGIAS NO CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. 28

 TIPOS DE HUMEDALES..... 28

 • HUMEDALES NATURALES. 28

 • HUMEDALES ARTIFICIALES..... 29

 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES. ... 32

 ANALISIS DE POBLACION. 34

 LOCALIDAD DE CUARACURIO..... 35

LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.....	36
DESARROLLO DEL TRABAJO:	38
1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	38
2. UBICACION GEOGRAFICA DE LAS PTAR.....	38
3. VISITA A CAMPO.....	39
4. TRABAJO DE GABINETE.....	40
5. ANALISIS DEL PROBLEMA.....	40
• PTAR DE LA LOCALIDAD DE CUARACURIO.....	40
• PTAR DE LA LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.....	47
RESULTADOS:.....	53
• LOCALIDAD DE CUARACURIO.....	53
ANALISIS DE POBLACION.....	53
AFOROS.....	54
GASTO DE DISEÑO.....	55
PROYECCION DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE (CAUDALES DE DISEÑO).....	56
IDENTIFICACION DE LA PROBLEMÁTICA DE LA PTAR.....	57
REDISEÑO DE LA PTAR DE LA LOCALIDAD DE CUARACURIO.....	58
DISEÑO ACTUAL DE LA PTAR DE CUARACURIO Y DESCRIPCION DEL PROCESO.....	58
• LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.....	64
ANALISIS DE POBLACION.....	64
AFOROS.....	65
GASTO DE DISEÑO.....	66
PROYECCION DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE (CAUDALES DE DISEÑO).....	67
IDENTIFICACION DE LA PROBLEMÁTICA DE LA PTAR.....	68
REDISEÑO DE LA PTAR DE LA LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.....	69
DISEÑO ACTUAL DE LA PTAR DR. MIGUEL SILVA Y DESCRIPCION DEL PROCESO.....	69
CONCLUSIONES:.....	75
LOGROS DEL PROYECTO:.....	76
RECOMENDACIONES:	77

GLOSARIO ABREVIATURAS:	78
INDICE DE IMAGENES:	80
INDICE DE TABLAS:	82
INDICE DE ESQUEMAS:	82
ANEXO 1:	83
RESUMEN EJECUTIVO DE LOS MANUALES DE OPERACIÓN DE LAS PTAR DE CUARACURIO Y DR. MIGUEL SILVA.....	83
BIBLIOGRAFÍAS:	85

RESUMEN:

Para el presente trabajo se realizó una investigación que comenzó en el mes de Noviembre del año 2018, cuyo soporte principal fue analizar y diagnosticar la operación de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales, ubicados en las localidades de Cuaracurio y Dr. Miguel Silva, ambas pertenecientes al municipio de Cuitzeo, ya que presentaban deficiencias en la operación y mantenimiento, esto dio pie a considerar modificaciones para operar de manera más eficiente y permitir con ello el saneamiento de las aguas residuales generadas en las mencionadas localidades ya que actualmente son vertidas al Lago de Cuitzeo sin ningún tipo de tratamiento y es necesario el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. La finalidad principal es impactar de manera positiva la salud de los pobladores de estas localidades y de la cuenca del Lago de Cuitzeo, así como del ecosistema rivereño.

Como parte del seguimiento a la realización y aprobación del presente trabajo, así como el financiamiento de las acciones propuestas a implementar, se coordinó con personal técnico de las Subdirecciones de Consejos de Cuenca, Atención Social y Atención a Emergencias y Agua Potable de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el director del Organismo Operador de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento del Municipio de Cuitzeo (OOAPAS), con el Director Nacional Ejecutivo y la Gerente General de la Asociación Civil Ducks Unlimited de México (DUMAC) ya que es de suma importancia atender la problemática y comenzar con acciones inmediatas para el saneamiento de las aguas residuales. Las acciones emprendidas en el presente trabajo, consistieron en la realización de un levantamiento físico y topográfico de la infraestructura de tratamiento en ambas Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR), esto con el apoyo de DUMAC, con el fin de proponer modificaciones técnicas, y a base de esto se plantearon soluciones precisas a los diversos problemas que las plantas enfrentan actualmente, principalmente en cuestión de operación.

Palabras Clave: Plantas Tratadoras de Aguas Residuales, Humedales, Lago de Cuitzeo, Contaminantes de Aguas Residuales Urbanas, NOM-001-ECO-1996.

ABSTRACT:

This work was do for an investigation that beginning in the month of November of the year 2018, the first support was to do an analysis and a diagnostic of the operation of two systems of treatment of residual water. This systems are located in Cuaracurio and Dr. Miguel Silva, both belong to the township of Cuitzeo, as the systems have problems in their efficiencies of operation and maintenance, be thought that is necessary to modify the process for the depuration of residual water. It would increase the efficiencies and let it a best treatment to these type of water that at present are spills anything type of treatment to the lake of Cuitzeo.

These modify are necessaries for be in fulfillment with the NOM-001-SEMARNAT-1996. The first finality is to impact in a positive manner in the health of the people that live in this places, so to the riparian ecosystem.

As part of the process to do and the approving of this work, so of the financing to this actions and approaches. I am in coordination with technical people belonged to the Subadress of Committee of Hollow, Social Attention and Emergencies Attention and Potable Water of the National Commission of Water (CONAGUA), the director of OOAPAS of Cuitzeo and the National Executive director and the General Gerent of the Civil Association Ducks Unlimited of Mexico (DUMAC). It is a big problem of very importance that is necessary attended and start with actions immediately for the treatment of Residual Water.

The actions in this work, consisted in to do a physic and topographic uprising in both Treatment Plant Residual Water. It was possible thanks to the help of DUMAC, with the finality that these problems can have techniques modify and in base to it is precis approaches solutions principally in remotion efficiencies.

INTRODUCCION:

CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO.

El impacto que como seres humanos hemos generado a nuestro ecosistema, en zonas urbanas y zonas rurales, va en potencial crecimiento. La cuenca del Lago de Cuitzeo, más específicamente se localiza dentro de la depresión lacustre Cuitzeo Chapala, donde se encuentran los lagos más importantes de México: Chapala y Cuitzeo. Por el tipo de geometría y fallamiento se han separado las regiones de Chapala y Cuitzeo.

La cuenca del Lago de Cuitzeo forma parte del conjunto del sistema endorreico del sistema volcánico transmexicano, perteneciente a la Región Hidrológica No.12 Lerma Santiago. Colinda al norte con las cuencas Río Lerma 4 y Laguna de Yuriria, al sur con la Región Hidrológica No.18 Balsas, al oriente con la Cuenca Río Lerma 4 y al poniente con las Cuencas Lago de Pátzcuaro y Río Angulo.

La extensión de la cuenca es de 3,675 km², incluyendo la superficie del lago. En la cuenca predomina el clima es subhúmedo, mientras que la precipitación media anual tiene un rango que puede variar entre los 600 y 1,200 mm/año, el 89% de la lluvia entre los meses de Julio a Octubre, el escurrimiento medio anual generado es por el orden de 485.26 millones de m³ en época de lluvias y los retornos son de 44.28 millones de m³, los usos de agua superficiales alcanzan los 120.12 millones de m³ y la evaporación media en el embalse suma 443.29 millones de m³ anuales, es decir, hidrológicamente la cuenca tiene un déficit de 33.87 millones de m³ anuales.

La circulación del agua en la cuenca es la responsable del modelado de la corteza y su influencia se manifiesta en función de la distribución de las masas de rocas, deformaciones que las afectan y son fundamentales en la definición de los diferentes relieves, lo que se traduce en que la red hidrológica se define en función

de la geología de la superficie. En la cuenca del Lago de Cuitzeo, los ríos como corrientes de agua que fluyen por un cauce desde las zonas altas a las bajas y vierten hacia una región endorreica (río colector) o a otro río (afluente) son de caudales importantes y de gran longitud; siendo la estructura geológica la que actúa en el dominio de las redes determinando su evolución y configuración estructural. Es importante señalar que se trata de una cuenca de tipo endorreico, por lo que la dinámica hidrológica superficial no afecta o influye en la dinámica regional.

Las corrientes principales del Lago de Cuitzeo son, el río grande de Morelia tributario más importante, con 1,577 km², que se forma por los ríos Tiripetío y Tirio, a los cuales se les une el río chiquito de Morelia, Queréndaro y Zinapécuaro. En la cuenca se localizan las presas Cointzio, Malpaís, El Tecolote y Laguna Larga, como las más importantes, con una capacidad total de 110 millones de m³, equivalente al 23% del escurrimiento medio anual que se genera en la cuenca.

Los registros del comportamiento del ciclo hidrológico en la cuenca reportan periodos de 5 años de abundancia, seguidos de otros 10 años de escasez, lo cual se refleja en la variación de niveles máximos y mínimos que ha presentado el lago a través del tiempo. Además, el área de aportación en el lago oriente es del 87.6%, en tanto que al lago poniente solamente drena el 12.4% del área total de la cuenca, lo que se ve reflejado directamente de manera proporcional en los volúmenes de escurrimiento que concurren a los lagos oriente y poniente, respectivamente. Por esta razón, y por el obstáculo que representa para el flujo del agua el cuerpo de la carretera federal libre Morelia – Salamanca tramo La Palma – Cuitzeo, el lago oriente siempre registra niveles de agua mayores en promedio de 25 cm con respecto al lago poniente.

El Lago de Cuitzeo, además de ser un cuerpo hídrico de gran importancia a nivel Nacional, es receptor de diversas especies de aves (pato canadiense, pato coture, pelicano borregon, entre otros) y alberga vida en especies acuáticas y vegetales de gran importancia, y es contribuyente a la economía de miles de familias.

Actualmente el Lago de Cuitzeo, está considerado como una zona de alta fragilidad ecológica y ambiental. Se resiente una gran problemática, ya que durante la última década la cuenca ha presentado un incremento considerable de su población, que ha pasado de 885,883 a 1,090,769 habitantes; lo que ha propiciado a un creciente aumento en el consumo de los recursos naturales para satisfacer sus necesidades, lo cual, ha causado el deterioro de la cuenca y una producción de desechos orgánicos cada vez más altos, que son vertidos en los diferentes ecosistemas y alrededor del perímetro de la cuenca.

El espacio físico delimitado por el parteaguas natural de la cuenca del Lago de Cuitzeo, lo integran superficies de 26 municipios parcial o totalmente. En la siguiente imagen se muestra el porcentaje que representa la cobertura de cada municipio sobre la cuenca del Lago de Cuitzeo.

% SUPERFICIE CUENCA LAGO DE CUITZEO

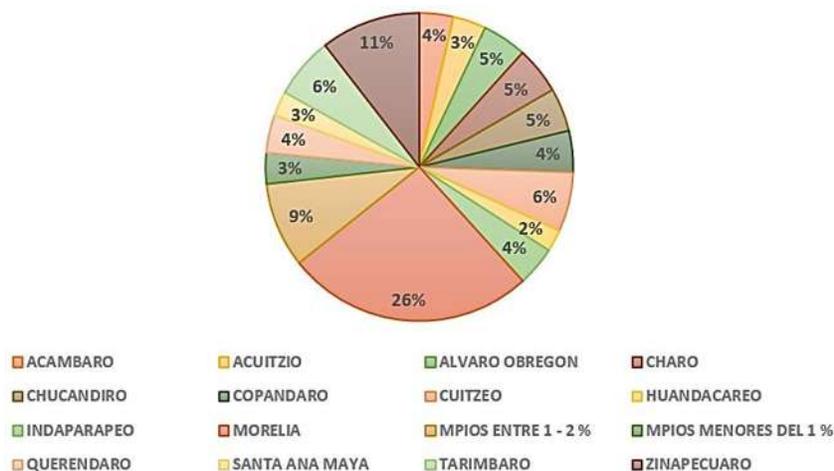


Imagen 1. % Superficie Cuenca Lago de Cuitzeo.

Los municipios que pertenecen en su totalidad a la cuenca son: Huandacareo, Copándaro, Chucándiro, Cuitzeo, Santa Ana Maya, Tarímbaro, Álvaro Obregón, Indaparapeo; casi en su totalidad los municipios de Zinapécuaro, Queréndaro, Morelia, Acuitzio, Charo.

JUSTIFICACION:

Se encontró una problemática en ambos sistemas de manera recurrente en la operación de las etapas de tratamiento además del incumplimiento a la normativa.

Sabemos que el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de Aguas Residuales (AR) debe ser regido conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, la Ley del Agua y Gestión de Cuencas para el Estado de Michoacán de Ocampo y de acuerdo a la fracción III al Artículo 115 Constitucional que señala expresamente una serie de funciones y servicios públicos que los municipios deberán asumir, entre ellos se encuentra el otorgar los servicios de agua potable, el drenaje, el alcantarillado, y el tratamiento y disposición de las AR.

Por lo que es fundamental realizar estudios de la operación y funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las localidades de Cuaracurio y Dr. Miguel Silva ya que estas localidades actualmente vierten sus aguas residuales al Lago de Cuitzeo sin ningún tratamiento, por lo que es necesario proponer soluciones puntuales a los diversos problemas que las PTAR enfrentan y con estas mejoras evaluar el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

OBJETIVOS:

- **Objetivo General:**

Realizar un diagnóstico de la operación y funcionamiento de las PTAR, de las comunidades Cuaracurio y Dr. Miguel Silva, ubicadas en el municipio de Cuitzeo, que permita proponer acciones que contribuyan a incrementar las eficiencias de remoción y operar de manera adecuada los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

- **Objetivos Particulares:**

- 1- Evaluar el estado actual de la infraestructura, así como la operación de los sistemas de tratamiento.
- 2- Proponer soluciones generales a cada sistema que permitan operar de manera más eficiente.
- 3- Aportar información acerca de la operación - mantenimiento y tipologías constructivas, para este tipo de PTAR existentes.

HIPOTESIS:

Se considera que existen deficiencias en los sistemas de operación de las PTAR ya que es evidente que los conceptos de simplicidad de mantenimiento y explotación en Tecnologías No Convencionales (TNC), son confundidos con simplicidad de diseño y de construcción, por lo que no se ha prestado la suficiente atención a la fase de dimensionamiento de los sistemas de tratamiento no convencionales, ni a la posterior etapa constructiva, por lo que se requiere elaborar una síntesis de soluciones a la problemática que actualmente enfrentan estas dos PTAR y hacer un análisis comparativo de las caracterizaciones antes y después, de las modificaciones a implementar.

GENERALIDADES:

LAGO DE CUITZEO.

El lago tiene una forma alargada, presentando su mayor longitud de Este a Oeste con una distancia de 51 Km y un ancho de 12 Km de Norte a Sur aproximadamente, y está situado a una altitud de 1,820 msnm. En términos de limnología tiene las siguientes características: Cuerpo de agua polimíctico, con una conductividad promedio de 3,050 mmho/cm, la temperatura se registra entre los 20°C - 30°C; sus aguas tienen un pH que oscila entre los 8-11.5, visibilidad máxima de 15 cm, Salinidad 1.75%. Las sales predominantes son: Carbonatos y Bicarbonatos, asociados sobre todo al Sodio (61.5%) que es muy abundante en la región, el Calcio (8.2%) y el Magnesio (13.2%), que se consideran elementos responsables de la dureza del agua, los cuales no son abundantes en el lago, de manera que éste se caracteriza como lago de agua blanda y al mismo tiempo salada.

AGUAS SUBTERRANEAS Y SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO.

Las aguas subterráneas son la mayor fuente de abastecimiento de agua dulce para la mayoría de las localidades litorales y los usuarios se encuentran organizados y constituidos en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) "Acámbaro-Cuitzeo" que fue instalado el 25 de Agosto de 1999. La disponibilidad de aguas subterráneas, constituyen el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Para el cálculo de la disponibilidad de estas aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la NOM-011-CONAGUA-2015, conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, en su fracción relativa a las aguas

subterráneas se menciona que la disponibilidad ha sido determinada por la siguiente expresión:

$$DMA = R - DNC - VEAS$$

Donde:

DMA = Disponibilidad Media Anual de Agua del Subsuelo en un Acuífero.

R = Recarga Total Media Anual.

DNC = Descarga Natural Comprometida.

VEAS = Volumen de Extracción de Aguas Subterráneas.

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la CONAGUA mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

En la cuenca del Lago de Cuitzeo, se tiene un registro de un total de 575 fuentes de abastecimiento superficial, distribuidas de la siguiente forma: 15 aprovechamientos destinados para acuacultura, con un volumen de 4,722,443 m³ anuales, 242 aprovechamientos para uso agrícola, explotando 59,715,015 m³ anualmente, estableciéndose como el segundo uso superficial de mayor demanda por debajo del público urbano, 8 aprovechamientos industriales (agroindustrial, generación de energía eléctrica e industrial) con 28,197,166 m³ por año, en los cuales de forma general se encuentran sobre explotados de manera alarmante; 44 fuentes domésticas, con un superávit de explotación del orden del 8.69% al presentar mayores volúmenes concesionados que los aprovechados; 15 de uso múltiple, siendo además el único que se encuentra en equilibrio en cuanto a volúmenes concesionados y aprovechados; 8 para el consumo pecuario, siendo el de menor demanda presentando un volumen anual del orden de los 8,588 m³, representando apenas el 0.005% del total del volumen superficial de la cuenca registrado; 212 fuentes destinadas para uso público urbano, con un volumen anual de 60,576,363 m³, representando con ello el 34.58% del volumen de recurso aprovechado y el uso

de mayor demanda a pesar de ser menos las fuentes destinadas para tal consumo que el uso agrícola, presenta además este uso, un 25.38% de sobre explotación; y el uso de servicios con un total de 31 aprovechamientos y volumen de 18,573,300 m³ por año, presentando un 86.80% de déficit en la explotación en relación a los volúmenes concesionados.



Imagen 2. Comparación de % Vol. Registrado Vs. Concesionado.

SECTOR	VOL. CONCESIONADO (m ³)
1. Acuícola	4,735,452
2. Agrícola	60,899,156
3. Industrial	34,566
4. Doméstico	1,233,037
5. Múltiples	2,243,638
6. Pecuario	9,177
7. Público Urbano	48,314,210
8. Servicios	9,943,050
TOTAL	127,412,286

Tabla 1. Volumen concesionado de acuerdo a cada sector.

El mayor consumo de agua de origen superficial en la cuenca, es el destinado al público urbano, seguido por el agrícola y el industrial; al contar estos tres usos con aproximadamente el 85% del total de volúmenes utilizados, quedando el uso de servicios, con el 10% del total; mientras que los usos de acuicultura, pecuario, doméstico y múltiples representan el 5% únicamente.

La dotación de agua potable es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando el análisis del consumo, que involucra a las pérdidas físicas en el sistema, en un día medio anual. Por otro lado, el consumo es el porcentaje del suministro de agua potable que utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. El consumo por tipo de usuarios se define de acuerdo a la Tabla 1 que

establece el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), la cual indica el promedio del consumo de agua potable estimado por clima predominante.

AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales pueden definirse como un residuo líquido recogido mediante la red de alcantarillado para su envío a una PTAR.

Cada agua residual es única en sus características, si bien en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado colocado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos.

Las AR vertidas al Lago de Cuizeo por los 13 municipios que conforman la cuenca del Lago de Cuitzeo, cumplen con las características para la clasificación de aguas residuales urbanas, que tienen origen doméstico y de escurrimiento pluvial, estas son consecuencias inevitables de las actividades humanas.

AGUAS RESIDUALES URBANAS.

Son las AR domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.

AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.

Son aquellas AR procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

AGUAS RESIDUALES AGRÍCOLAS.

Las AR agrícolas son generadas al reusarse una cantidad de agua tratada para el riego de algunos cultivos, y estas al pasar por los mismos arrastran consigo restos de fertilizantes, plaguicidas, metales etc.

AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

Las aguas residuales industriales son las que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el recurso agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje. Los líquidos residuales derivan directamente de la fabricación de todo tipo de productos.

La cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana esta en proporción directa con el consumo de agua de abastecimiento, y este consumo viene relacionado con el grado de desarrollo económico social, puesto que un mayor desarrollo trae consigo un mayor y más diverso uso del agua en las actividades humanas.

Los caudales de aguas residuales siguen una variación diaria, que es fiel reflejo de la actividad de la población del lugar. Durante la noche y las primeras horas del día, en las que los consumos de agua son mínimos, también son mínimos los caudales de aguas residuales, estando estos caudales compuestos fundamentalmente por aguas infiltradas y por pequeñas cantidades de aguas residuales domésticas.

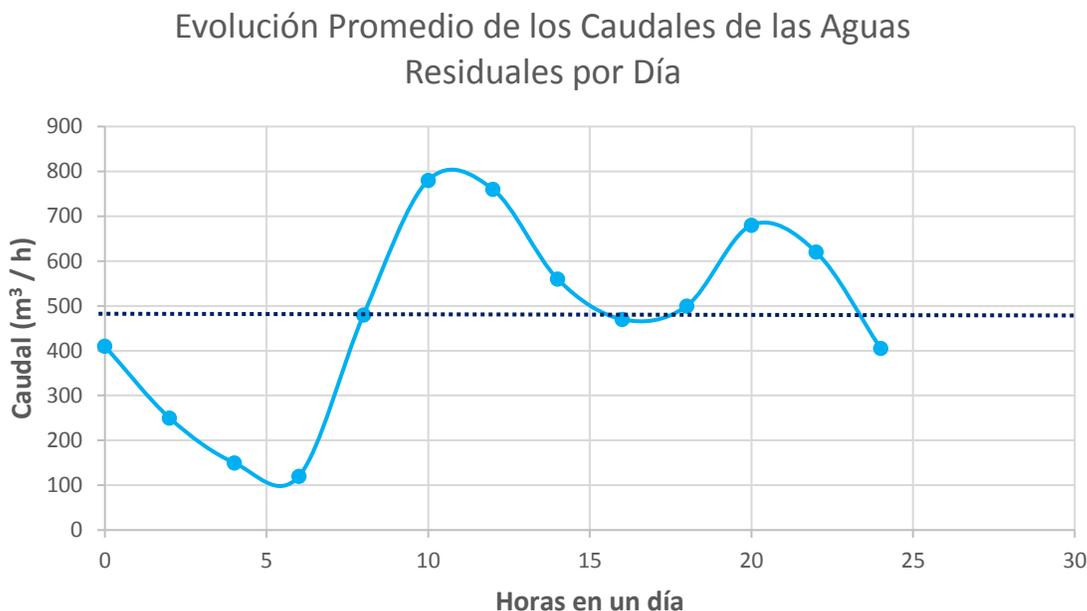


Imagen 3. Evolución Promedio de los Caudales de las Aguas Residuales por Día.

En la imagen anterior se observa que la primera punta de caudal se alcanza cuando llega a la estación depuradora el agua correspondiente al consumo punta, aproximadamente a media mañana. La segunda punta de caudal suele tener lugar a últimas horas de la tarde, entre las 19 y las 21 horas.

Para las grandes y medianas aglomeraciones urbanas, los caudales mínimos de aguas residuales pueden estimarse en torno al del 50% del caudal medio diario.

Los caudales punta pueden estimarse a partir de los caudales medios haciendo uso de la siguiente expresión empírica:

$$Q_P = Q_{med} * \left(1.15 + \frac{2.575}{Q_{med}^{0.25}} \right)$$

Donde:

Q_P = Caudal Punta (m³/h).

Q_{med} = Caudal Medio (m³/h).

PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES.

Los principales contaminantes que aparecen en las aguas residuales urbanas son:

- Objetos gruesos: Trozos de madera, trapos, plásticos, etc., que son arrojados a la red de alcantarillado.
- Arenas: Se engloban las arenas, propiamente dichas, las gravas y las partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.
- Grasas y Aceites: Todas aquellas sustancias que al no mezclarse con el agua permanecen en su superficie dando lugar a natas. Su procedencia puede ser tanto doméstica como industrial.
- Sólidos en Suspensión: Partículas de pequeño tamaño y procedencia muy variada.
- Sustancias con Requerimientos de Oxígeno: Compuestos orgánicos e inorgánicos que se oxidan fácilmente, lo que provoca un consumo del oxígeno presente en el medio al que se vierten.
- Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo): Su presencia en las aguas es debida principalmente a detergentes y fertilizantes. Igualmente las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico.
- Agentes Patógenos: Organismos (bacterias, protozoos, helmintos y virus), presentes en mayor o menor cantidad en las aguas residuales.
- Contaminantes Emergentes o Prioritarios: Estas sustancias aparecen principalmente añadidas a productos de cuidado personal, productos de limpieza doméstica, productos farmacéuticos, etc. Se les conoce bajo la denominación genérica de contaminantes emergentes o prioritarios.

PARAMETROS PARA CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES.

Para determinar las características de las aguas residuales se emplea un conjunto de parámetros que sirven para cuantificar los contaminantes ya mencionados basados en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

- Grasas y Aceites: Se determinan estos contenidos mediante la extracción de estas, con un disolvente apropiado y la posterior evaporación del disolvente.
- Sólidos en Suspensión: Sólidos que no pasan a través de una membrana filtrante de un tamaño determinado (0.45 micras). Dentro de las características de este grupo se encuentra que existen los sólidos sedimentables (que decantan por su propio peso) y los no sedimentables.
- Sustancias con Requerimiento de Oxígeno: Se encuentran dos parámetros usualmente:

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅).

Cantidad de oxígeno (mg/l), necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales.

2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Cantidad de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas.

La relación DBO₅ / DQO indica la biodegradabilidad de las AR urbanas.

1. $\frac{DBO_5}{DQO} \geq 0.4$ Aguas residuales muy biodegradables
2. $\frac{DBO_5}{DQO} 0.2 - 0.4$ Aguas residuales biodegradables
3. $\frac{DBO_5}{DQO} \leq 0.2$ Aguas residuales poco biodegradables

- Nitrógeno: Se presenta en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos y nitratos en las aguas residuales. Para su determinación se recurre generalmente a métodos espectrofotométricos.
- Fósforo: Se encuentran en forma de fosfatos orgánicos y polifosfatos. Para su determinación se emplean de mismo modo métodos espectrofotométricos.
- Organismos Patógenos: Virus, bacterias, protozoos y helmintos. Al ser muy difícil su aislamiento se emplean, habitualmente, los coliformes como organismo indicador.

Parámetro	Rango
Sólidos en Suspensión (mg/l)	150 – 300
DBO ₅ (mg/l)	200 – 300
DQO (mg/l)	300 – 600
Nitrógeno (mg N/l)	50 – 75
Fósforo (mg P/l)	15 – 20
Grasas (mg/l)	50 – 100
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	10 ⁶ – 10 ⁷

Tabla 2. Valores típicos de los principales contaminantes de las Aguas Residuales Urbanas.

- Potencial de Hidrógeno (pH): Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno (H₃O⁺) presentes en determinadas sustancias. Para medidas que no necesiten ser muy precisas utilizan unas sustancias llamadas indicadores que varían reversiblemente de color en función del pH del medio en el que están disueltos. Para realizar medidas exactas se utiliza un pH-metro, que mide el pH por un método potenciométrico. Como el valor del pH se expresa en forma logarítmica, un pH de 6 es 10 veces más ácido que un pH de 7, y un pH de 5 es 100 veces más ácido que un pH de 7. El pH tiene efecto en muchas fases del tratamiento del agua tales como, coagulación, cloración y ablandamiento del agua.

- Sólidos Disueltos Totales (SDT): Son la cantidad de sales o sólidos que existen en una disolución concreta. Se miden en partes por millón (ppm). La forma teórica e intuitiva de medir los SDT sería tomar una disolución de 1 L y evaporar toda el agua y pesar los sólidos resultantes en miligramos (mg), otra manera es tener en cuenta que la conductividad de una disolución es proporcional a su contenido en sales, y por ello se utiliza para medir los SDT mediante un factor de corrección entre la conductividad CE y los sólidos disueltos.
- Conductividad Eléctrica (CE): Midiendo la CE podemos conocer el contenido en sales de una disolución, puesto que cuantas más sales tenga mejor capacidad de transportar energía eléctrica. En el sistema de medición SI, las unidades son Siemens por centímetro (S/cm) o Milisiemens por centímetro (ms/cm). La conductividad del agua se mide a través de un sistema amperimétrico (midiendo la corriente) o potenciómetro (midiendo la potencia). Dado que las medidas no nos dicen nada, el medidor SDT convierte la conductividad a ppm utilizando un factor de conversión. Los factores cambian en función del fabricante:

Factores de Conversión de CE a SDT por Fabricantes

EEUU	$1 \frac{ms}{cm} = 500 ppm$
Europa	$1 \frac{ms}{cm} = 640 ppm$
Australia	$1 \frac{ms}{cm} = 700 ppm$

Tabla 3. Factores de Conversión de CE a SDT por fabricantes.

Sin embargo hay una solución parcial para esto, si el medidor proporciona CE y ppm, se puede calcular el factor de conversión:

$$\text{Factor de Conversión} = \frac{\text{ppm}}{\text{CE}}$$

La CE debe estar en Microsiemens (μS) y no en Milisiemens (mS), para ello se multiplicara $\text{mS} \times 1,000$.

Cuanta mayor intensidad pase o mayor potencia se genere (más sales disueltas), mayor será la conductividad.

PRINCIPALES ELEMENTOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las instalaciones constan de tres elementos principales:

1. Recogida y Conducción de las Aguas Residuales.

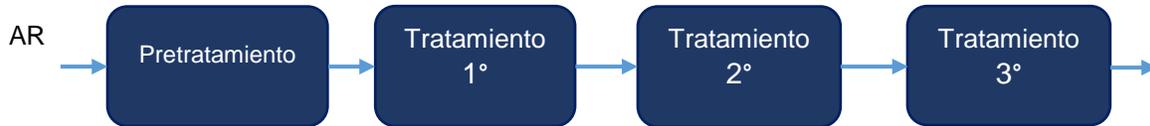
La recogida y conducción de las aguas residuales desde donde se generan hasta la estación depuradora, se realiza a través de una compleja red de tuberías (alcantarillado, colectores). Dependiendo de la topografía, las aguas discurrirán por gravedad o será necesario recurrir a su bombeo.

2. Tratamiento, de las Aguas Residuales.

El tratamiento de las AR consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los causes receptores.

En las estaciones depuradoras convencionales de AR se distinguen dos líneas de tratamiento:

- Línea de Agua: Incluye los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales.



Esquema 1. Tratamiento de Línea de Agua.

- Línea de Lodos: En ella se tratan la mayor parte de los subproductos que se originan en la línea de agua.



Esquema 2. Tratamiento de Línea de Lodos.

3. Evacuación.

Como consecuencia de los procesos de tratamiento a los que se ve sometido el flujo de las AR, se transforma en dos corrientes salientes (efluentes depurados y lodos). Con la evacuación de ambas corrientes se da por finalizado el tratamiento de las AR.

TECNOLOGIAS NO CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Se presentan como una alternativa real, dado que su versatilidad y adaptabilidad, su integración en el entorno y su menor costo de implantación y explotación, las hacen especialmente indicadas para la depuración de los vertidos urbanos del medio rural, en el que las limitaciones técnicas y económicas pueden comprometer seriamente la viabilidad y eficacia del tratamiento de las AR.

Son considerados tres factores básicos que condicionan la posible aplicación de estas TNC:

1. La distribución por tamaños de la población.
2. La climatología.
3. Grado de industrialización de los Municipios.

TIPOS DE HUMEDALES.

- HUMEDALES NATURALES.

Son zonas de transición entre el medio ambiente terrestre y acuático, además sirven como enlace dinámico entre los dos medios. Poseen un elevado grado de humedad y una numerosa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confiere un elevado potencial Auto-Depurador. Entre los humedales naturales se encuentran los pantanos, marismas, ciénagas, manglares, etc. En los últimos años se han reconocido las múltiples funciones y valores de los humedales naturales. Estos sistemas debido a la gran cantidad de luz, agua y nutrientes, conjuntamente con la presencia de plantas que han desarrollado adaptaciones morfológicas y bioquímicas se encuentran entre los sistemas más productivos del mundo. La alta productividad de estos sistemas da como resultado una alta productividad microbiana y en consecuencia una alta capacidad para descomponer la materia orgánica.



Imagen 4. Ilustración de un Humedal Natural.

- HUMEDALES ARTIFICIALES.

El tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante la tecnología de Humedales Artificiales se basa en la reproducción artificial de las condiciones propias de las zonas húmedas naturales.



Imagen 5. Ilustración de un Humedal Artificial.

Existen dos tipos básicos de Humedales Artificiales:

1. Humedal Artificial de Flujo Superficial (HAFS):

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera, circula preferentemente a través de los tallos de las plantas. Los HAFS suelen ser instalaciones de varias hectáreas, que principalmente tratan efluentes procedentes de tratamientos secundarios y que también se emplean para crear y restaurar ecosistemas acuáticos. La alimentación a estos humedales se efectúa de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y raíces de la vegetación. Tallos, raíces y hojas caídas sirven de soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación, mientras que las hojas que están por encima de la superficie del agua dan sombra a la masa de agua, limitando el crecimiento de micro algas.

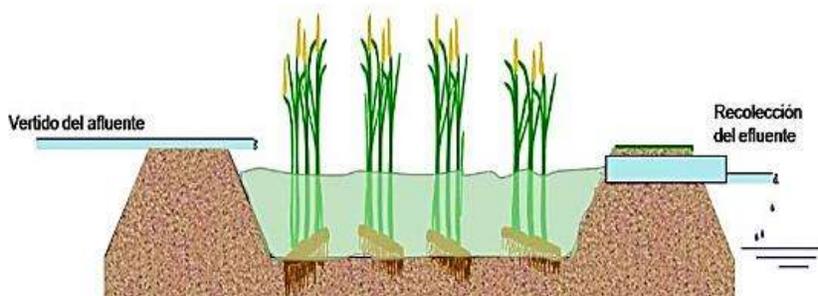


Imagen 6. Ilustración de funcionamiento de un Humedal de Flujo Superficial.

2. Humedal Artificial de Flujo Sub-Superficial (HAFSs):

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación, que habitualmente suele ser carrizo.

Los HAFSs son usualmente de menor dimensión que los HAFS, ya que en la mayoría de los casos se emplean para el tratamiento de las AR generadas en núcleos de población de menos de 2,000 hab.

En este tipo de humedales se presentan ciertas ventajas con respecto a los HAFS, al necesitar menos superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos al circular el agua sub-superficialmente. Igualmente, presentan una mejor respuesta ante los descensos de la temperatura ambiente.

Como desventaja es necesario mencionar, que el coste constructivo es mayor, esto principalmente por el coste de adquisición y colocación del sustrato filtrante y los mayores riesgos de colmatación de dicho sustrato.

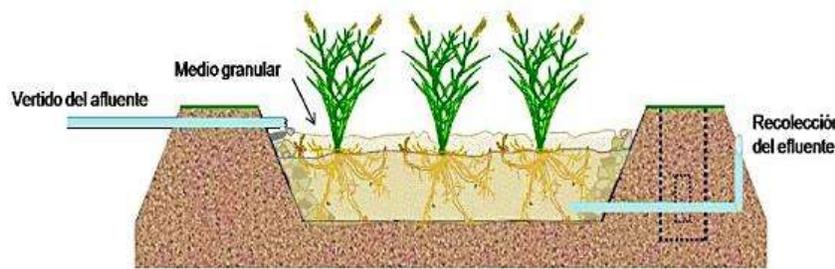


Imagen 7. Ilustración de funcionamiento de un Humedal de Flujo Sub – Superficial, arreglo Horizontal.

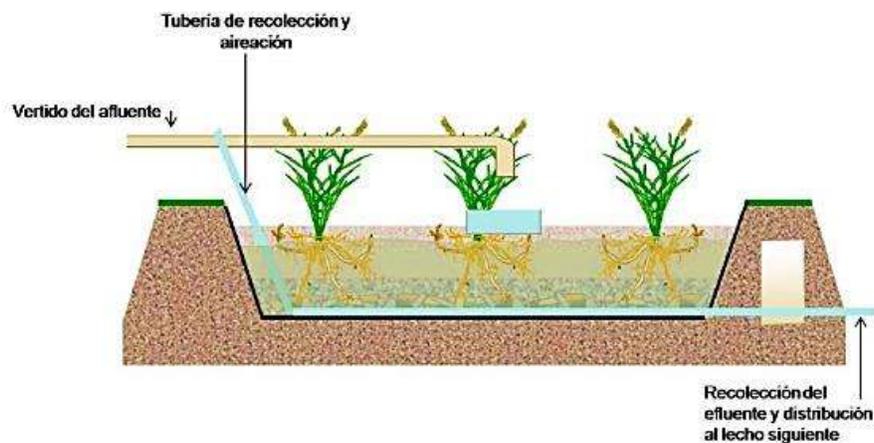


Imagen 8. Ilustración de funcionamiento de un Humedal de Flujo Sub – Superficial, arreglo Vertical.

Este método puede considerarse como un complejo ecosistema en el que son 3 los aspectos principales:

1. El sustrato, que sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula), que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.
2. La vegetación, que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y en la que también tiene lugar el desarrollo de biopelícula.
3. El agua a tratar, que circula a través del sustrato y de la vegetación.

La vegetación que se utiliza en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales, plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.) especies anfibas que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.

- HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL (HAFS):

Estos humedales suelen ubicarse a continuación de estaciones de depuración que alcanzan niveles de tratamiento secundario.

- HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL (HAFSS):

El esquema de proceso es, en esencia, semejante al de un tratamiento convencional, constando de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y opcionalmente tratamiento terciario.

1. **Pretratamiento:** El objetivo es eliminar los objetos gruesos, grasas y flotantes que se encuentran en las AR a tratar, el estar presentes en etapas posteriores provocarían problemas de obstrucción en las líneas o equipos. Para este tipo de humedales en la etapa de pretratamiento está constituida por el desbaste de gruesos exclusivamente. El desbaste de gruesos, es la eliminación de sólidos gruesos, haciendo pasar las AR a través de rejillas de desbaste, de 2 – 3 cm de separación entre barrotes y de limpieza manual.

2. **Tratamiento Primario:** Para conseguir una mayor eliminación de los sólidos en suspensión presentes en las AR a tratar, y minimizar por tanto los riesgos de colmatación del sustrato filtrante, se recurre a la implantación de fosas sépticas o tanques Imhoff, como paso previo a la alimentación a los humedales.
 - *Fosas Sépticas*, dispositivos enterrados en los que decanta la materia sedimentable presente en las AR, esta fracción sedimentada experimenta reacciones de degradación anaerobia mineralizándose paulatinamente. Estos dispositivos se encuentran compartimentados, siendo la disposición más común la de dos compartimientos dispuestos en serie. Al llegar el agua al primer compartimiento, la materia más densa sedimenta y se deposita en el fondo en forma de lodo, mientras que la materia particulada más ligera forma una costra en la superficie. El agua clarificada pasa al segundo compartimiento a través de un orificio practicado en la pared de separación y situado por debajo del nivel líquido. En este segundo compartimiento tiene lugar también una sedimentación de sólidos y formación de costra, como consecuencia de los materiales que escapan de la etapa anterior, pero en menor cantidad. Los lodos retenidos en el fondo de los distintos compartimientos experimentan reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose y reduciendo su volumen, lo que permite que las

fosas funcionen durante largos períodos de tiempo, sin necesidad de purgar el excedente de lodos.

- *Tanques Imhoff*, constan de un único depósito en el que separan la zona de sedimentación, que se sitúa en la parte superior, de la de digestión de los sólidos decantados, que se ubica en la zona inferior del depósito. La configuración de la apertura que comunica ambas zonas impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la de decantación, de esta forma se evita que los gases que se generan en la digestión afecten a la decantación de los sólidos en suspensión sedimentables.

3. **Tratamiento Secundario:** Está constituido por los propios HA, que se alimentan con los efluentes procedentes de las fosas sépticas o de los tanques Imhoff.

4. **Tratamiento Terciario:** En ocasiones, se someten a los efluentes de los HAFSs a una etapa de afino en lagunas de maduración para mejorar, principalmente, el grado de abatimiento de los organismos patógenos. Esta eliminación se produce, fundamentalmente, por la acción de la radiación ultravioleta de la luz solar.

ANALISIS DE POBLACION.

En el MAPAS que emitió la CONAGUA en el año 2015, en su libro: Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado menciona dos conceptos a considerar para la determinación de los datos de proyecto iniciales:

- **Población de Proyecto:** Cantidad de personas que se espera tener en una localidad al final del período de diseño del sistema de agua potable y alcantarillado. La dinámica de la población es compleja, en ella intervienen las tasas de fecundidad, mortalidad y la esperanza de vida, así como la migración internacional (entre los Estados Unidos de Norteamérica y México principalmente) y la migración nacional entre estados y municipios de un mismo estado.
- **Proyección de la Población:** Para la proyección de la población se deben emplear datos oficiales del Consejo Nacional de Población (CONAPO). La tasa de crecimiento por lo general es variable en el tiempo, ya que en cuestiones de población es altamente improbable que se mantenga constante esa tasa. Sin embargo, el mismo MAPAS de la CONAGUA nos hace otra referencia respecto a la población: "Para la proyección, deben utilizarse los datos de fuentes oficiales, que son los publicados por la CONAPO, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE)".

LOCALIDAD DE CUARACURIO.

La localidad de Cuaracurio está situada en el Municipio de Cuitzeo (en el estado de Michoacán de Ocampo). La localidad está en la zona 14 en 2,219,706 m latitud Norte, 275,558 m longitud Oeste, a 1,840 m de altitud sobre el nivel del mar.

Según el conteo de población y vivienda 2010 del INEGI, en la localidad, la proporción de mujeres - hombres es de 1.18, y el índice de fecundidad es de 3.04 hijos por mujer. Del total de la población, el 30.34% proviene de fuera del estado de Michoacán de Ocampo. El 14.52% de la población es analfabeta (el 9.09% de los hombres y el 19.12% de las mujeres). El grado de escolaridad es del 4.80 (5.37 en hombres y 4.33 en mujeres).

El 27.66% de la población mayor de 12 años está ocupada laboralmente (el 47.49% de los hombres y el 10.83% de las mujeres). En Cuaracurio hay 563 viviendas, de ellas, el 98.61% cuentan con electricidad, el 99.17% tienen agua entubada, el 91.14% tiene excusado o sanitario, el 82.55% radio, el 93.63% televisión, el 79.78% refrigerador, el 47.65% lavadora, el 27.15% automóvil, el 3.32% una computadora personal, el 45.43% teléfono fijo, el 29.09% teléfono celular, y el 0.55% Internet.

La localidad de Cuaracurio se encuentra prácticamente en la ribera del Lago de Cuitzeo, por lo que, se vuelve de suma importancia el balance hídrico, entendiéndose, como el análisis del suministro de agua limpia, su potabilización, distribución y posterior uso, ya sea doméstico, agrícola o industrial, el desecho de las aguas aprovechadas a través de las redes de alcantarillado, el tratamiento de las aguas negras y su posible reúso, así como la recarga de agua a través de los mantos acuíferos o bien reincorporándose a los cuerpos de agua.

LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.

La localidad de Dr. Miguel Silva, (también conocida como San Guillermo) está situada en el Municipio de Cuitzeo, en el Estado de Michoacán de Ocampo. Había una población de 1,014 habitantes en el año 2010, según el conteo del INEGI, esta localidad se encuentra a 1,855 m de altitud sobre el nivel del mar. En la localidad hay 485 hombres y 529 mujeres. La proporción mujeres - hombres es de 1.09, y el índice de fecundidad es de 2.57 hijos por mujer. Del total de la población, el 5.72% proviene de fuera del estado de Michoacán de Ocampo. El 6.21% de la población es analfabeta (el 5.15% de los hombres y el 7.18% de las mujeres). El grado de escolaridad es del 6.28 (6.46 en hombres y 6.11 en mujeres).

El 27.22% de la población mayor de 12 años está ocupada laboralmente (el 43.71% de los hombres y el 12.10% de las mujeres). En esta localidad hay 341 viviendas. De ellas, el 98.35% cuentan con electricidad, el 98.77% tienen agua entubada, el 96.71% tiene excusado o sanitario, el 90.95% radio, el 95.06% televisión, el 91.36%

refrigerador, el 52.26% lavadora, el 26.34% automóvil, el 11.52% una computadora personal, el 31.28% teléfono fijo, el 51.03% teléfono celular, y el 2.88% Internet.

La localidad de Dr. Miguel Silva se encuentra en la ribera del Lago de Cuitzeo, por lo que, se vuelve de suma importancia el balance hídrico, entendiéndose como el análisis del suministro de agua limpia, su potabilización, su distribución y posterior uso, ya sea doméstico, agrícola o industrial, el desecho de las aguas servidas a través de las redes de alcantarillado, el tratamiento de las aguas negras y su posible reúso, así como la recarga de agua a través de los mantos acuíferos o bien reincorporándose a los cuerpos de agua.

El desecho de las AR con un inadecuado tratamiento de depuración por parte de estas dos localidades hacia el Lago de Cuitzeo, así como el de las comunidades ribereñas que por su grado de marginación, sus escurrimientos e infiltraciones al manto freático son AR sin ningún tipo de tratamiento; lo que contribuye a que las sustancias presentes en estas aguas de desecho, sean capaces de químicamente combinarse y agruparse en compuestos orgánicos (Amidas, Ácidos Grasos, Ésteres, Detergentes, entre otros) e inorgánicos (Sulfatos, Nitratos, Calcio, Sodio, entre otras sales disueltas en forma de iones). Es por esto que las sustancias rebasan la capacidad de depuración de la propia agua del Lago de Cuitzeo debido a las bacterias, por lo que la calidad del agua ha provocado que la vida de este ecosistema se encuentre en desequilibrio y ha afectado y seguirá teniendo un impacto en los sectores económicos, ambientales y de salud pública.

DESARROLLO DEL TRABAJO:

1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.

Se identificaron las PTAR “Cuaracurio” y “Dr. Miguel Silva”, ambas pertenecientes al municipio de Cuitzeo, con fallas en sus sistemas de operación, estos problemas fueron evidenciados a través de las visitas de campo realizadas a las instalaciones, así como por medio de los reportes del OOAPAS de Cuitzeo, donde se pudo percibir que no se estaba realizando el tratamiento esperado a los flujos de AR, así como tampoco se estaban realizando los mantenimientos preventivos y correctivos en las diferentes etapas del proceso de depuración, propiciando bajas eficiencias de remoción en el sistema en general.

2. UBICACION GEOGRAFICA DE LAS PTAR.

- Coordenadas Geográficas de la PTAR “Cuaracurio”:

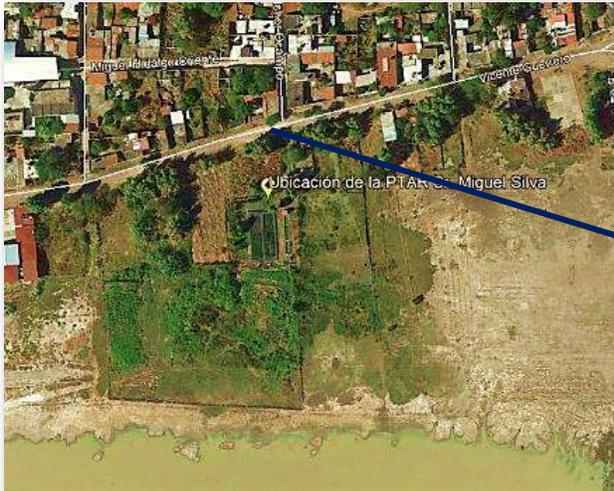


20° 03'40.31" N
101°08'27.82" O
Elevación de 1839 msnm.



Imagen 9. Ilustración de la ubicación de la PTAR de la Localidad Cuaracurio.

- Coordenadas Geográficas de la PTAR “Dr. Miguel Silva”:



19° 57'52.95"
 101°10'23.54"
 Elevación de 1838 msnm.



Imagen 10. Ilustración de la ubicación de la PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

3. VISITA A CAMPO.

- Medición de Parámetros de Campo.

Para una mejor organización y generar una base datos, se desarrolló una ficha de llenado rápida, con el siguiente formato:

Ficha Técnica para las PTAR de la Cuenca del Lago de Cuitzeo				
Nombre del Municipio:		Fecha:		
Nombre de la Localidad:				
Puntos de Muestreo				
Influente	Salida previa al Humedal	Efluente	Otros	
Parámetros Analizados				
	Unidades			
Temperatura Ambiente				
Temperatura del Agua				
pH				
Conductividad Eléctrica				
Sólidos Disueltos Totales				
Observaciones Generales del Proceso en las Diferentes Etapas				
Observaciones:				
Realizó:				

Imagen 11. Ilustración de formato implementado para control y registro de datos.

4. TRABAJO DE GABINETE.

En esta parte del desarrollo se realizaron reuniones de trabajo con personal técnico de las Subdirecciones de Consejos de Cuenca Atención Social y Atención a Emergencias y Agua Potable de la CONAGUA, el Director del OOAPAS del municipio de Cuitzeo y con el Supervisor de Proyectos de DUMAC para la recopilación de información de ambos sistemas y comenzar a gestionar los recursos para dar solución a los problemas presentados.

5. ANALISIS DEL PROBLEMA.

Habitualmente las obras de drenaje sanitario y saneamiento se proyectan a 20 años, sin embargo, estas son PTAR existentes, se puede pensar que después de la rehabilitación, a las plantas, podrían operar sin problemas durante 10 años, en ese momento se deberán revisar nuevamente las condiciones de operación, funcionamiento y la situación poblacional, esto será necesario para realizar un análisis de la población actual y futura para poder determinar el gasto de operación el cual es uno de los parámetros más importantes ya que permite conocer la cantidad de agua que ingresa a las infraestructuras existentes.

- PTAR DE LA LOCALIDAD DE CUARACURIO.

ANALISIS DE POBLACION.

La localidad de Cuaracurio es de las localidades que cuenta con una población flotante, dado que muchos habitantes van y vienen a Estados Unidos, o bien, por la naturaleza del comercio textil y de ropa que se da en la localidad, se reciben muchos visitantes compradores y vendedores que de manera habitual y por temporadas, hacen una estancia en la localidad, a veces corta y a veces permanente.

Por ello deben tomarse con cierta flexibilidad, y dentro de un rango aceptable, las estimaciones de población y posteriormente la determinación del gasto de operación de la PTAR.

AFOROS.

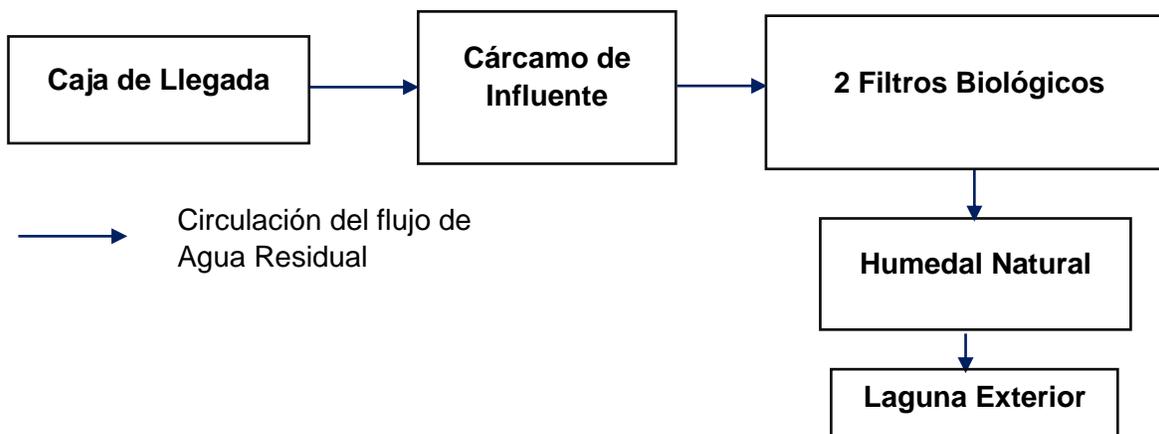
Los aforos de AR son complemento a la información a analizar para la determinación de los datos de proyecto como son la población de proyecto y los gastos de diseño.

GASTO DE DISEÑO.

De acuerdo a información del Libro “Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado” y del MAPAS que publicó la CONAGUA para el año 2015, los gastos de diseño que se consideran en los proyectos de alcantarillado son: Medio, Mínimo, Máximo Instantáneo y Máximo Extraordinario. Los cuales se determinan a partir del primero, es decir, el gasto medio.

INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE LA PTAR CUARACURIO.

Las estructuras que componen al sistema de tratamiento son las siguientes:



Esquema 3. Infraestructura de Tratamiento de la PTAR en la Localidad Cuaracurio.

- Caja de Llegada: Estructura conformada con losa tapa de concreto, sus dimensiones son 3.95 x 1.95 m y cuenta con una profundidad de 3.04 m. A esta caja solo llega una tubería que viene de la red general de alcantarillado sanitario, en la losa tapa tiene una zona descubierta de 1.05 x 1.95 m. Finalmente tiene una tubería de salida la cual lleva el agua hacia un cárcamo de influente. La única función que tiene esta caja es desarenar, aunque de alguna manera regula el flujo. Aparentemente la parte superior es de concreto y la parte inferior pareciera ser de tabique con castillos y trabes. No se pudieron obtener los diámetros de las tuberías de entrada y de salida.



Imagen 12. Ilustración de la Caja de Llegada, PTAR de la localidad Cuaracurio.

- Cárcamo de Influyente: A este cárcamo llega la tubería que viene de la caja de llegada, cuenta con una caseta en la parte superior, en la cual se encuentran los interruptores eléctricos para iluminación y el sistema de bombeo, aquí se encuentra una bomba sumergible que lleva el agua a la parte superior hasta el pretratamiento. La bomba de este cárcamo no funciona y no cuenta con datos para determinar el gasto, la carga o la potencia con la que trabaja. No se logró determinar el nivel exacto de la tubería de entrada ni su diámetro. Por otro lado, la tubería de la columna de bombeo es de PVC de 2" de diámetro, aparentemente es pequeño tomando

en cuenta el tamaño de planta de tratamiento. La tubería pasa del cárcamo hacía el pretratamiento por un hueco en el muro de la caseta.



Imagen 13 - 14. Ilustración de Carcamo de Bombeo del Influyente, PTAR de la localidad Cuaracurio.

- **Pretratamiento:** Está etapa consta de dos canales seccionados, con una compuerta cada uno, cada canal tiene rejillas de desbaste para contener solidos con una separación de 1 cm, además cada canal cuenta con un desarenador, el cual tiene 8 cm de profundidad, un ancho de 35 cm y una longitud de 2 m, lo cual le da la capacidad de 0.05 m³ de volumen para desarenar, finalmente el agua sale por una placa vertedor rectangular y cae a una caja de entrada hacía el proceso. En el pretratamiento inicia un tren de tratamiento que finaliza después de los tanques de filtrado. Cabe resaltar que en el pretratamiento si se incluyen rejillas de limpieza, no se incluyen rejillas en ninguna zona antes del bombeo, por lo cual es fácil que basura puedan ingresar a la bomba del cárcamo de bombeo y dañe el equipo.



Imagen 15. Ilustración de Etapa de Pretratamiento, PTAR de la localidad Cuaracurio.

- Caja de Entrada al Proceso: Esta es una caja de dimensiones 1.25 x 0.85 m y por 55 cm de profundidad, de esta caja pasa el agua hacia el tanque de filtrado 1 a través de un hueco vertedor de 8 x 120 cm. Esta caja es solamente una estructura de paso entre el pretratamiento y los tanques de filtración, por su configuración podría funcionar también como caja desarenadora en caso de que hayan llegado arenas en esta parte del proceso, lo cual puede suceder cuando se tenga circulando un gasto superior al de diseño de las estructuras.



Imagen 16. Ilustración de Caja de entrada al proceso, PTAR de la localidad Cuaracurio.

- Tanque de Filtrado 1: Es un tanque de dimensiones de 5.10 x 2.50 m y de 1.85 m de profundidad total, el cual tendría que contener piedra volcánica gruesa (con diámetros entre 2 in y 8 in) con un espesor de 1.55 m, posteriormente el agua pasa al tanque de filtrado 2 a través de un hueco de 15 x 250 cm en la parte inferior del muro de colindancia. A este tanque ingresa el agua por un vertedor superior y sale por un hueco inferior, es decir, el agua atraviesa verticalmente el filtrado, en forma descendente. En esta parte el problema operativo se da por que no se cuenta con ningún proceso de depuración previo a este paso (excepto retención de solidos grandes y arenas).



Imagen 17. Ilustración del Tanque de Filtrado 1, PTAR de la localidad Cuaracurio.

- Tanque de Filtrado 2: Este es un tanque con dimensiones de 5.21 x 2.50 m, con una profundidad total de 1.85 m, el cual idealmente tendría piedra volcánica gruesa (de entre 2 in y 8 in de diámetro) con un espesor de 1.55 m, posteriormente el agua pasa al registro 1 a través de un hueco de 12 x 60 cm en la parte superior del muro final. El agua pasa por varios registros y llega al canal de ingreso al humedal.



Imagen 18. Ilustración del Tanque de Filtrado 2, PTAR de la localidad Cuaracurio.

- Canal de Ingreso al Humedal por Excedencias: Es un canal rectangular de 50 x 250 cm y de 60 cm de alto, al cual llega el agua del proceso de filtrado y además es un canal que sirve para evitar que el agua pase por el tren de tratamiento haciéndola pasar directamente hacía el humedal, es decir, es un canal de aguas de excedencias el cual entra en operación automática cuando el agua que llega a la planta supera la capacidad del bombeo del cárcamo de influente.



Imagen 19. Ilustración de Canal de Ingreso por excedencias, PTAR de la localidad Cuaracurio.

- Humedal Subsuperficial: Esta laguna se encuentra llena de material filtrante y abunda la vegetación común de lagunas de poca profundidad, tal como juncos y jaras. El humedal tiene una forma aproximadamente rectangular y mide 41 x 27 m, el agua pasa a través de él, donde el material filtrante, los tallos y las raíces realizan una labor de depuración biológica del agua. El agua que finalmente sale a través de 2 tuberías de 10 in de diámetro descargan al Lago de Cuitzeo que se encuentra al exterior del predio de la planta.



Imagen 20. Ilustración del Humedal tipo Sub-superficial, PTAR de la localidad Cuarcuro.

- PTAR DE LA LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.

ANALISIS DE POBLACION.

La localidad de Dr. Miguel Silva es de las localidades que cuenta con una buena cantidad de población flotante dado que muchos habitantes van y vienen a los Estados Unidos. Por ello deben tomarse con cierta flexibilidad, y dentro de un rango aceptable, las estimaciones de población y posteriormente la determinación del gasto de operación de la PTAR.

AFOROS.

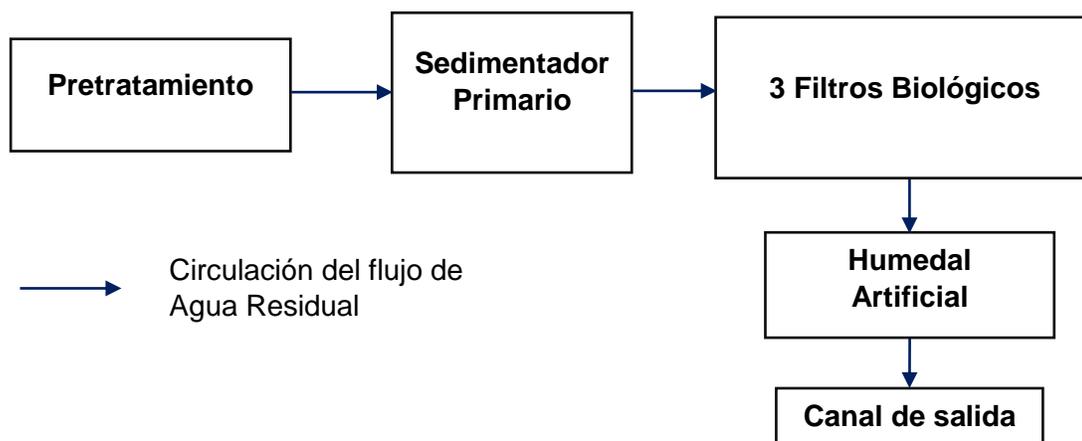
Los aforos de AR son complemento a la información a analizar para la determinación de los datos de proyecto, como son la población de proyecto y los gastos de diseño.

GASTO DE DISEÑO.

De acuerdo a información del Libro “Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado” y del MAPAS que publicó la CONAGUA para el año 2015, los gastos de diseño que se consideran en los proyectos de alcantarillado son: Medio, Mínimo, Máximo Instantáneo y Máximo Extraordinario. Los cuales se determinan a partir del primero, es decir, el gasto medio.

INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE LA PTAR DR. MIGUEL SILVA.

Las estructuras que componen al sistema de tratamiento son las siguientes:



Esquema 4. Infraestructura de Tratamiento de la PTAR en la localidad Dr. Miguel Silva.

- Pretratamiento: Esta etapa consta de un canal de llegada con una compuerta para clausurar el paso y enviar el agua hacia un registro de excedencias. El canal cuenta con una rejilla de desbaste para contener sólidos con separación de 1 cm, además cuenta con una especie de mampara con perforaciones para aparentemente desgrasar y además hacer que el flujo pierda turbulencia, ya que cuenta con orificios de 0.5 cm, a escasos cm cuenta con un vertedor y una caída hacia un desarenador (caja desarenadora) el cual tiene unos 45 cm de profundidad, un ancho de 120 cm y una longitud de 145 cm, lo cual le da la capacidad de 0.78 m³ de volumen para desarenar, finalmente el agua pasa por un paso de tubo circular de 30 cm de diámetro y cae a una caja de entrada hacia el proceso. En el pretratamiento inicia un tren de tratamiento que finaliza después de los tanques de filtrado.



Imagen 21. Ilustración de Etapa de Pretratamiento, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

- Caja de Entrada al Proceso: Es una caja con dimensiones de 2 x 2 y por 110 cm de profundidad útil, el agua después de esta caja pasa hacia el tanque de filtrado 1 a través de dos pasos cuadrados de 15 x 15 cm. Se encuentra debajo de una caseta para guardar herramienta, además tiene una zona descubierta de 30 x 200 cm, la cual tiene rejilla Irving como tapa. Esta caja es solamente una estructura de paso entre el pretratamiento y los tanques de filtración, por su configuración podría funcionar también como caja desarenadora en caso de que hayan llegado arenas en esta parte del

proceso, lo cual puede suceder cuando se tenga circulando un gasto superior al de diseño de las estructuras.



Imagen 22. Ilustración de Caja de Entrada al Proceso, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

- Tanque de Filtrado 1: Este es un tanque cuyas dimensiones son 4.75 x 2 m y cuenta con una profundidad total de 1.78 m, idealmente este tanque debería contener piedra volcánica gruesa (con diámetros entre 2 in y 8 in) con un espesor de 1.25 m, posteriormente el agua pasa al tanque de filtrado 2, a través de dos huecos de 20 x 55 cm en la parte inferior del muro de colindancia. A este tanque ingresa el agua por dos pasos superiores cuadrados de 15 x 15 cm y sale por dos huecos inferiores del siguiente muro, es decir, el agua atraviesa verticalmente el filtrado, en forma descendente.



Imagen 23. Ilustración del Tanque de Filtrado 1, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

- Tanque de Filtrado 2: Tanque con dimensiones de 6.75 x 2.00 m, y profundidad total de 1.78 m, este debe ir relleno con piedra volcánica gruesa (con diámetros entre 2 in y 8 in) con un espesor de 1.25 m, el ingreso del agua al tanque de filtrado 2 es inferior y la salida al tanque de filtrado 3 es superior a través de 5 pasos de tubo de 15 cm de diámetro por la parte superior del muro por lo que el filtrado en esta etapa es vertical ascendente.



Imagen 24. Ilustración del Tanque de Filtrado 2, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

- Tanque de Filtrado 3: Este es un tanque de 6.65 x 2.00 m, cuya profundidad total es de 1.78 m, el cual debe contener piedra volcánica gruesa (con diámetros entre 2 in y 8 in) con un espesor de 1.25 m, posteriormente el agua pasa hacia el humedal por una tubería de 4 in de diámetro.



Imagen 25. Ilustración del Tanque de Filtrado 3, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

- Humedal Subsuperficial: Esta laguna se encuentra llena de material filtrante y donde abunda la vegetación común de lagunas de poca profundidad, tal como juncos y jaras. El humedal tiene una forma rectangular, dividida en 2 secciones, mide 11 x 22 m, el agua pasa a través de este, donde el material filtrante, los tallos y las raíces realizan una labor de depuración biológica de las aguas. El agua pasa de la zona 1 hacia la zona 2, y sale finalmente a través de 1 tubería de 4 in de diámetro que descarga hacia un canal de salida que lleva el agua hacia afuera del predio de la planta. El humedal está conformado con bordos que sobresalen del nivel de terreno, y están recubiertos con geomembrana plástica para impermeabilización.



Imagen 26 y 27. Ilustración del Humedal Subsuperficial, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

- Canal de Salida: En la zona sur se encuentra un canal de salida que lleva el agua de los humedales hacia afuera de las instalaciones; en esta misma zona está la descarga de la tubería de excedencias que viene desde el pretratamiento, la cual descarga al mismo canal de salida. Este canal está hecho de concreto tiene 50 cm de ancho y aproximadamente 30 cm de altura, el canal inicia en la zona de salida del humedal y recorre aproximadamente 15 m hacia el oriente para salir directamente al Lago de Cuitzeo.



Imagen 28. Ilustración del Canal de Salida, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

RESULTADOS:

- LOCALIDAD DE CUARACURIO.

ANALISIS DE POBLACION.

En la CONAPO se cuenta con información disponible para la localidad de Cuaracurio hasta el año 2030, se requieren proyecciones hasta el año 2028 (10 años de horizonte de proyecto), sin embargo, con el fin de ampliar el panorama estadístico y hacerlo más integral, se analizó más información del universo disponible.

Así pues se analizó información de CONAPO, INEGI y CFE, con dicha información disponible se pudieron realizar proyecciones, se presentan a continuación los resultados a los que se llegó:

FUENTE DE DATOS / POBLACIÓN DE HABITANTES

AÑO	CONAPO	INEGI	CFE
2010	* <i>PRC</i> 1,629	* <i>CEI</i> 1,605	<i>SIN DATOS</i>
2018	* <i>PRC</i> 2,173	* <i>PRP</i> 1,549	* <i>PCF</i> 2,434
2028	* <i>PRP</i> 3,062	* <i>PRP</i> 1,482	<i>SIN DATOS</i>

Donde:

PRC = Proyección Realizada por CONAPO en el año 2010.

PRP = Proyección Realizada por Practicante en el año 2018.

CEI = Censo Realizado por el INEGI.

PFC = Población inferida con información de Comisión Federal de Electricidad (el índice de nacimiento usado para inferir la población con datos de CFE fue emitido por el INEGI en su encuesta Nacional de Hogares del año 2017, que es igual a 3.6 hab./viv.).

AFOROS.

Se realizó el cálculo del caudal de manera aritmética con la ecuación establecida en el MAPAS, en base a los datos registrados de los aforos de un día jueves 22 de Noviembre del 2018 a la descarga de AR en la entrada a la PTAR de la cual se reportan los siguientes resultados:

Cd = Coeficiente de descarga.

L = Longitud de área de estudio (m).

H = Altura del flujo en el desarenador (m).

$$\text{AFOROS } Q = Cd * L * H^{3/2}$$

Hora	Cd	L (m)	H (m)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
7:00 am	1.7	0.54	0.020	0.00260	2.60
8:00 am	1.7	0.54	0.022	0.00300	3.00
9:00 am	1.7	0.54	0.025	0.00363	3.63
10:00 am	1.7	0.54	0.026	0.00385	3.85
11:00 am	1.7	0.54	0.025	0.00363	3.63
12:00 pm	1.7	0.54	0.028	0.00430	4.30
1:00 pm	1.7	0.54	0.028	0.00430	4.30
2:00 pm	1.7	0.54	0.03	0.00477	4.77
3:00 pm	1.7	0.54	0.03	0.00477	4.77
4:00 pm	1.7	0.54	0.03	0.00477	4.77
5:00 pm	1.7	0.54	0.028	0.00430	4.30
6:00 pm	1.7	0.54	0.025	0.00363	3.63
7:00 pm	1.7	0.54	0.025	0.00363	3.63

GASTO DE DISEÑO.

No. De Hab. (CONAPO)	Aportación de AR (L/hab./d)	$Q_{Max.}$ (L/s)	$Q_{Min.}$ (L/s)	Q_m (L/s)	$Q_{Trat.}$ (L/s)
2,173	152.14	4.77	2.60	3.83	0

El caudal medio es calculado con la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{AP * P}{86,400}$$

Donde:

Q_m = Gasto medio de aguas residuales (L/s).

AP = Aportación de AR por día (L/hab./d).

P = Población (hab.).

Los litros por habitante por día (L/hab./d), es un dato registrado de acuerdo al consumo y dotación por clima según el MAPAS de CONAGUA y éste considera un 30% de pérdidas de agua potable y residual. El consumo es el porcentaje del suministro de agua potable que utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. El consumo por tipo de usuarios se define de acuerdo a lo que establece de misma manera el MAPAS, el cual indica el promedio del consumo de agua potable estimado por clima predominante.

PROYECCION DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE (CAUDALES DE DISEÑO).

DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO				
Concepto	2018	2020	2025	2028
Población Total	2,173	2,331	2,768	3,062
Pérdidas (%)	30	30	30	30
Consumos de Agua				
Consumo Doméstico Total (m³/d)	308.6	331	393.1	434.8
Consumo de Servicio Público (m³/d)	0	0	0	0
Suma de los Consumos (m³/d)	308.6	331	393	434.8
Suma de los Consumos (L/hab/d)	142	142	142	142
Demanda de Agua y Dotación (m³/d)				
Demanda Doméstica Total	440.8	472.9	561.5	621.1
Demanda de Servicio Público	0	0	0	0
Suma de las Demandas (m³/d)	440.8	472.9	561.5	621.1
Pérdidas (m³/d)	132.2	141.9	168.5	186.3
Dotación de Agua Potable (L/hab/d)	202.9	202.9	202.9	202.9
Datos de Proyecto de Agua Potable				
Gasto Medio Diario (L/s)	5.1	5.47	6.5	7.2
Gasto Máximo Diario (L/s)	7.14	7.66	9.10	10.06
Gasto Máximo Horario (L/s)	11.07	11.88	14.10	15.6
Cap. De Regularización (m³)	64.28	68.96	81.89	90.58
Datos de Proyecto de Alcantarillado Sanitario				
Gasto Medio de Aguas Negras (L/s)	3.83	4.10	4.87	5.39

Los datos de proyecto para la operación de la PTAR serán:

Datos para el Proyecto

Dotación	202.9	L/hab./d.
Coeficiente de Aportación	75	%
Aportación de Aguas Residuales	152.14	L/hab./d.
Población de Proyecto	3,062	L/s
Caudal Mínimo	2.70	L/s
Caudal Medio de Diseño	5.39	L/s
Caudal Máximo Instantáneo	18.52	L/s
Horizonte del Proyecto	2028	Año

IDENTIFICACION DE LA PROBLEMATICA DE LA PTAR.

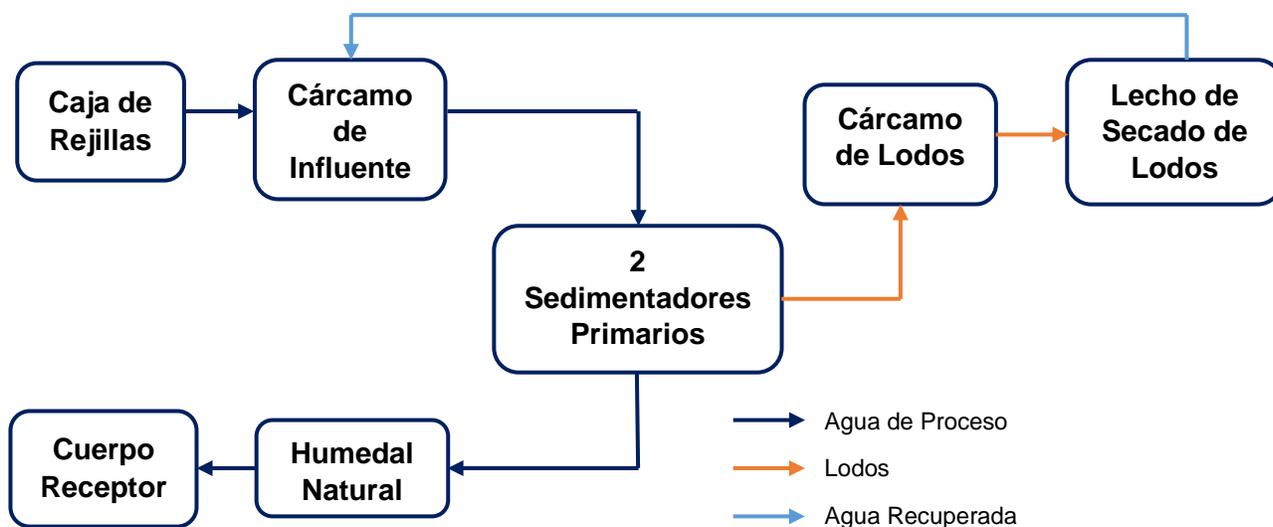
- El cárcamo de influente tiene una bomba que no funciona, esto posiblemente a la basura de gran tamaño que es succionada en el cuerpo de la bomba, lo que provoca su deterioro y un daño. Además, aparentemente el diámetro de la tubería de descarga es muy pequeño (2 in) para el gasto que debe de tratarse.
- La estructura de pretratamiento es muy pequeña, desarenadores de 0.06 m³ de capacidad, la rejilla de desbaste tiene una separación de 1 cm.
- Los tanques de filtrado 1 y 2 contienen material filtrante (roca volcánica), y debido a que no se tiene un proceso de depuración previo, se va acumulando biopelícula y se desprende a manera de lodo, el cual se acumula en el medio y lo satura evitando la circulación del agua. La limpieza de este material es compleja, implica retirarlo y lavarlo, o reemplazarlo cada cierto tiempo.
- Las canalizaciones entre estructuras, así como el ingreso al humedal es con tuberías de 4 in de diámetro, el cual parece suficiente para contener el gasto de tratamiento, pero aumentarlo puede incrementar la eficiencia del paso del agua en las estructuras.

REDISEÑO DE LA PTAR DE LA LOCALIDAD DE CUARACURIO.

Una vez analizada la información y como parte de las acciones para la mejora de la operación y funcionamiento de la PTAR se plantearon las siguientes modificaciones técnicas y operativas de la planta.

DISEÑO ACTUAL DE LA PTAR DE CUARACURIO Y DESCRIPCION DEL PROCESO.

Se presenta el Diagrama de Proceso realizado para la rehabilitación de la PTAR:



Esquema 5. Infraestructura de Tratamiento propuesta para el Proceso de la PTAR en la localidad Cuaracurio.

La calidad del efluente después del tratamiento debe ser conforme a la NOM-001-SEMARNAT1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de AR en aguas y bienes nacionales, en este caso se toma como descarga al Lago de Cuitzeo, cuerpo receptor tipo C.

Se presentan los argumentos por las acciones tomadas para el proyecto hidráulico, lo cuales fueron las siguientes:

1. Ya que el flujo de agua llega por un colector por gravedad a la PTAR, con un nivel insuficiente para llegar de este modo a todas las estructuras del proceso, se cuenta con un cárcamo de influente, pero a este se le consideró necesario implementar modificaciones, que en los puntos siguientes se comentan.
2. El flujo de AR ingresa a la caja de llegada la cual es modificada de acuerdo a lo siguiente, se sugirió el suministrar e instalar una bomba nueva con todo y tubería de descarga de un diámetro de 3 in y además se sugirió instalar una estructura de retención de basura de mayor tamaño antes de este punto, a fin de evitar paso de basura al cuerpo de la bomba. Se removió la losa tapa de concreto, y además se instaló una escalera para descender por la caja, y de mismo modo en esta zona se instaló una rejilla Irving a media altura, además de construir muretes para una sección de 1x1 m para el paso del agua, se colocó una rejilla de limpieza de sólidos con separación de $\frac{3}{4}$ in (19mm), la cual debe limpiarse cada que se obstruya más del 30% del paso del agua. Debido a que las tuberías de llegada y salida se encontraban aproximadamente 50 cm por encima de la losa de fondo, esta caja también se estima pueda funcionar como desarenador, por lo cual se considera que deberá desarenarse con una bomba portátil cada que se tenga un espesor de 30 cm de arena.
3. Otra acción en beneficio, fue el clausurar la salida por excedencias en el canal de ingreso hacía el humedal, por lo que fue colocada está salida de excedencias por una tubería de 10 in de diámetro, para llevar el agua de exceso directamente hacía el cuerpo receptor y evitar el paso del agua sin tratar por el humedal.

4. El pretratamiento constaba de dos canales seccionados con una compuerta cada uno, cada canal contaba con rejillas para contener sólidos con separación de 1 cm además de desarenadores de 0.06 m³ de capacidad para desarenar, finalmente el agua pasaba por una placa vertedor rectangular y a una caja de entrada hacía el proceso. En esta parte del proceso se presentaban dos problemas grandes, la rejilla fina de 1 cm era muy pequeña y se observaba que se rebasaba por atascamiento incluso de lodos flotantes. Por otro lado, el desarenador prácticamente no tenía la capacidad de retener arenas, es por esto es que se rehabilitó la caja de llegada como se mencionó en los puntos anteriores. Al dismantelar este pretratamiento se deja el paso libre del agua y así tiene la función solo como estructura de paso.
5. La caja de entrada al proceso, tiene las siguientes dimensiones 1.25 x 0.85 m, con una profundidad de 55 cm, de esta caja circulaba el agua hacía el tanque de filtrado uno, a través de un hueco vertedor de 8 x 120 cm, la cual solamente es una estructura de paso, pero se observó que por su configuración puede funcionar, como una caja desarenadora en caso de que se hayan arrastrado arenas a esta parte del proceso.
6. Los tanques de filtrado 1 y 2, están colocados en secuencia después del pretratamiento y de la caja de entrada a proceso, componen la primera parte del tratamiento central de AR (la segunda parte es el paso por el humedal). Actualmente estos tanques de filtrado, son de poco más de 5.15 x 2.50 m (largo por ancho) y de 1.85 m de profundidad total; deben contener una capa de piedra volcánica de entre 2 y 8 in de diámetro, con un espesor de 1.55 in. El problema operativo se presentaba porque no se tenía ningún proceso de depuración previo a este paso, por lo que, al llegar el agua a este punto, se generaban capas de lama (biopelícula), la cual se saturaba y desprendía, al no haber modo de retirarse del proceso, el material filtrante se saturaba por completo y finalmente el agua dejaba de fluir. Por lo anterior, se propuso el retirar el material filtrante en ambos tanques y convertirlos en sedimentadores

primarios con módulos de sedimentación, del tipo “Alta Tasa” mediante módulos tubulares. En cada tanque se tendrá un tramo inicial de alrededor de 3 m de longitud en el que no se tendrán ningún elemento, esta será una zona de sedimentación horizontal, se diseñó una mampara de concreto, después de esta se pasa a la zona de módulos por la parte baja de la mampara. Se construyó un fondo atolvado de concreto ciclópeo con acabado pulido con el objeto de que los lodos tiendan a irse por la parte baja del tanque y se extraigan más fácilmente hacia el “Cárcamo de Lodos” que fue construido. El paso hueco en la parte baja del muro del tanque 1 al tanque 2, se clausuró, y la parte superior se demolió para construir el vertedor para paso superior, en el tanque 2 se fue construida una segunda mampara de concreto para que el agua pase por la parte baja y ascienda por los módulos de sedimentación y finalmente salga por el hueco vertedor hacia el registro.

7. El canal de ingreso al humedal y para excedencias, tenía dimensiones de 50 x 250 cm y de 60 cm de alto, era un canal de aguas de excedencias el cual entraba en operación automática cuando el agua que llega a la planta superaba la capacidad del bombeo del cárcamo de influente. Este canal fue clausurado, las excedencias serán enviadas por una tubería nueva que fue instalada en la caja de rejillas y desarenadora. La llegada al humedal es ahora por una tubería de descarga directa al mismo, en la misma zona del canal.
8. El humedal subsuperficial, es una laguna llena de material filtrante y donde abunda la vegetación común de lagunas de poca profundidad, tal como juncos y jaras. El humedal tiene una forma aproximadamente rectangular y mide 41 x 27 m, el agua pasa a través de este, donde el material filtrante, los tallos y las raíces realizan una labor de depuración biológica de las aguas. El agua sale finalmente a través de 2 tuberías de 10 in de diámetro que descargan hacia el Lago de Cuitzeo, dado que el humedal no cuenta con una forma rectangular, ha provocado que no sea tan claro el apreciar la configuración del humedal a simple vista.

9. El Cárcamo de bombeo de lodos, es ahora una estructura que quedó adosada a los nuevos sedimentadores 1 y 2. Tiene dimensiones de 1.50 x 2.50 m y una profundidad de 1.85 m, de los cuales será sólo 1 m de profundidad útil, se espera captar un volumen de lodos de 3.75 m³, que es aproximadamente el volumen de lodos estimados en cada sedimentador al abatir un tirante de 0.30 m. Este cárcamo fue construido de concreto reforzado, en el cual quedaron ahogadas las tuberías de salida de lodos, cuenta con una salida de 4 in de diámetro con una válvula compuerta para control para cada tanque. Se estima que el volumen de lodos pueda ser retirado hacia el lecho de secado de lodos una vez por semana de cada tanque, alternando la salida de estos, por ejemplo, la descarga de lodos del sedimentador 1 será el lunes por la mañana y la descarga de lodos del sedimentador 2 será el jueves a medio día. Se estima que la producción de lodos en el sedimentador 2 será menor que en el 1, por lo que el volumen de descarga de lodos de ambos tanques deberá ajustarse conforme a la experiencia de operación. Este cárcamo de bombeo de lodos cuenta con una bomba y una línea de descarga propuesta en tubería de 3 in de diámetro.
10. Lecho de secado de lodos, esta es una estructura que deshidrata el lodo sin mayor equipamiento y requerimientos. La tasa de acumulación de lodos primarios, sin un proceso biológico previo es difícil de cuantificar ya que depende del tipo de agua residual cruda que ingresará en la planta, y de acuerdo a la concentración de sólidos suspendidos. El lecho de secado puede funcionar como deshidratador de lodo cuando las condiciones de temperatura son altas, también se trabaja como desaguador al utilizar el filtrado para esta función. El lecho de secado fue proyectado estimando la producción de lodos, tomando en cuenta que se puede retirar el lodo producido una vez por semana para prevenir que se apelmace el lodo en la parte inferior de los sedimentadores. Sin embargo, la experiencia en la operación dictaminará los tiempos más precisos para realizar esta operación. Los lechos de secados convencionales son los más utilizados para plantas

pequeñas de agua residual doméstica. La parte inferior del lecho es una cama de grava de entre 0.20 a 0.46 m de altura con un diámetro de grava de 40 a 75 mm. Así mismo, la parte superior del lecho es una cama de arena de entre 0.20 a 0.30 m de altura con un diámetro de las partículas de arena de entre 0.3 a 0.75 mm. Se dice que la tasa de aplicación de purga en los lechos de lodo se recomienda entre 10 a 15 kg SST/m². Las dimensiones para el lecho se secado se establecieron en 5 m de ancho, 5 m de largo y un tirante de 30 cm de lodo fresco.

11. Proyecto Mecánico, este consistió en la selección de los equipos de bombeo utilizados en: Cárcamo de bombeo de influente y cárcamo de bombeo de lodos.

11.1. Cárcamo de Bombeo de Influyente: Este cárcamo contaba con una bomba la cual excedía los requerimientos y las características, como son, el caudal, la carga y/o la potencia, es por esta razón que fue reemplazada por la bomba propuesta. Para el presente proyecto se planteó la posibilidad de instalar un bombeo para el gasto medio o bien para el gasto máximo, pudiendo instalarse el bombeo para gasto medio y dejando la posibilidad de ampliarse en una siguiente etapa. Por ello se indican las características del equipo seleccionado.

Bombeo de Influyente – Gasto medio Caudal por bomba = 5.39 lts/seg Presión = 3.92 mca

Potencia Tentativa = 0.50 HP

Número en Operación = 1

Número en reserva = 0

Número total = 1

Bombeo de Influyente – Gasto máximo Caudal por bomba = 18.50 lts/seg Presión = 8.22 mca

Potencia Tentativa = 3.30 HP

Número en Operación = 1

Número en reserva = 0

Número total = 1

El nivel mínimo de operación está propuesto por 50 cm por encima de la losa de fondo del cárcamo, y el nivel máximo de operación se propone en 80 cm por encima del nivel mínimo.

- 11.2. Cárcamo de Bombeo de Lodos: Se planteó el instalar un equipo de bombeo utilizando el gasto medio de agua a tratar como parámetro de diseño, la producción de lodos dictará los tiempos de operación del bombeo y cada cuanto deberán enviarse los lodos hacia el lecho de secado de lodos, recordando que el lecho está diseñado para recibir 7.5 m³ de lodo máximo 1 vez por semana.

$$\text{Bombeo de Lodos Caudal por Bomba} = 5.39 \text{ lts/seg} \text{ Presión} = \mathbf{3.57 \text{ mca}}$$

Potencia Tentativa = 0.40 HP

Número en Operación = 1

Número en reserva = 0

Número total = 1

- LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.

ANALISIS DE POBLACION.

La CONAPO no tiene información disponible para la localidad de Dr. Miguel Silva. Por lo que se consideró útil analizar las consideraciones que hace la CONAGUA en su norma técnica NT-011-CNA-2001 "Métodos de proyección de población" donde explica los procedimientos a seguir para ese fin, en diferentes situaciones en cuanto a los datos disponibles. Se analizó información de INEGI y CFE. Cuando había información suficiente, se realizaron proyecciones y se analizaron los datos disponibles, se presentan los resultados a los que se llegó:

FUENTE DE DATOS / POBLACIÓN DE HABITANTES

AÑO	CONAPO	INEGI	CFE
2010	<i>SIN DATOS</i>	* <i>CEI</i> 1,014	<i>SIN DATOS</i>
2018	<i>SIN DATOS</i>	* <i>PRP</i> 976	* <i>PCF</i> 954
2028	<i>SIN DATOS</i>	* <i>PRP</i> 930	<i>SIN DATOS</i>

Donde:

CEI = Censo Realizado por el INEGI.

PRP = Proyección Realizada por Practicante en el año 2018.

PFC = Población inferida con información de Comisión Federal de Electricidad (el índice de nacimiento usado para inferir la población con datos de CFE fue emitido por el INEGI en su encuesta Nacional de Hogares del año 2017, que es igual a 3.6 hab./viv.).

Para el año 2018 las proyecciones con datos de INEGI y la población inferida mediante datos de CFE varía muy poco entre sí, teniendo una diferencia del 3%. La proyección hecha con datos INEGI representa una tasa de crecimiento a la baja, por lo anterior se decidió considerar una población de proyecto usando el dato de población que arroja INEGI y siguiendo la tendencia decreciente en la población.

AFOROS.

Se realizó el cálculo del caudal de manera aritmética con la ecuación establecida en el MAPAS, en base a los datos registrados de los aforos de un día viernes 23 de Noviembre del 2018 a la descarga de AR en la entrada a la PTAR de la cual se reportan los siguientes resultados:

Cd = Coeficiente de descarga.

L = Longitud de área de estudio (m).

H = Altura del flujo en el desarenador (m).

$$AFOROS \ Q = Cd * L * H^{3/2}$$

Hora	Cd	L (m)	H (m)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
7:00 am	1.7	0.305	0.008	0.00037	0.37
8:00 am	1.7	0.305	0.008	0.00037	0.37
9:00 am	1.7	0.305	0.010	0.00052	0.52
10:00 am	1.7	0.305	0.012	0.00068	0.68
11:00 am	1.7	0.305	0.012	0.00068	0.68
12:00 pm	1.7	0.305	0.015	0.00095	0.95
1:00 pm	1.7	0.305	0.018	0.00125	1.25
2:00 pm	1.7	0.305	0.018	0.00125	1.25
3:00 pm	1.7	0.305	0.019	0.00136	1.36
4:00 pm	1.7	0.305	0.018	0.00125	1.25
5:00 pm	1.7	0.305	0.013	0.00077	0.77
6:00 pm	1.7	0.305	0.010	0.00052	0.52
7:00 pm	1.7	0.305	0.009	0.00044	0.44

GASTO DE DISEÑO.

No. De Hab. (CONAPO)	Aportación de AR (L/hab./d)	Q _{Max.} (L/s)	Q _{Min.} (L/s)	Q _m (L/s)	Q _{Trat.} (L/s)
976	152.14	1.36	0.37	1.72	0

El caudal medio es calculado con la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{AP * P}{86,400}$$

Donde:

Q_m = Gasto medio de aguas residuales (L/s).

AP = Aportación de AR por día (L/hab. /d).

P = Población (hab.).

Los Litros por habitante por día (L/hab./d), es un dato registrado de acuerdo al consumo y dotación por clima según el MAPAS de CONAGUA y éste considera un 30% de pérdidas de agua potable y residual. El consumo es el porcentaje del suministro de agua potable que utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. El consumo por tipo de usuarios se define de acuerdo a lo que establece de misma manera el MAPAS, el cual indica el promedio del consumo de agua potable estimado por clima predominante.

PROYECCION DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE (CAUDALES DE DISEÑO).

DETERMINACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO				
Concepto	2018	2020	2025	2028
Población Total	976	966	943	930
Pérdidas (%)	30	30	30	30
Consumos de Agua				
Consumo Doméstico Total (m³/d)	138.6	137.2	133.9	132.1
Consumo de Servicio Público (m³/d)	0	0	0	0
Suma de los Consumos (m³/d)	138.6	137.2	133.9	132.1
Suma de los Consumos (L/hab./d)	142	142	142	142
Demanda de Agua y Dotación (m³/d)				
Demanda Doméstica Total	198	196	191.3	188.7
Demanda de Servicio Público	0	0	0	0
Suma de las Demandas (m³/d)	198	196	191.3	188.7
Pérdidas (m³/d)	59.4	58.8	57.4	56.6
Dotación de Agua Potable (L/hab./d)	202.9	202.9	202.9	202.9
Datos de Proyecto de Agua Potable				
Gasto Medio Diario (L/s)	2.29	2.27	2.21	2.18

Gasto Máximo Diario (L/s)	3.21	3.18	3.10	3.06
Gasto Máximo Horario (L/s)	4.97	4.92	4.8	4.74
Cap. De Regularización (m³)	28.87	28.58	27.9	27.51
Datos de Proyecto de Alcantarillado Sanitario				
Gasto Medio de Aguas Negras (L/s)	1.72	1.7	1.66	1.64

Los datos de proyecto para la operación de la PTAR serán:

Datos para el Proyecto

Dotación	202.9	L/hab./d
Coeficiente de Aportación	75	%
Aportación de Aguas Residuales	152.14	L/hab./d
Población de Proyecto	930	L/s
Caudal Mínimo	1.5	L/s
Caudal Medio de Diseño	2.18	L/s
Caudal Máximo Instantáneo	6.62	L/s
Horizonte del Proyecto	2028	Año

IDENTIFICACION DE LA PROBLEMATICA DE LA PTAR.

- Se observa que la estructura de pretratamiento es muy pequeña, su rejilla de desbaste tiene una separación de 1 cm, a unos escasos centímetros se encuentra una mampara metálica con orificios, que genera pérdida de carga y no aporta beneficios significativos, el vertedor de paso a la zona del desarenador coincide con el nivel de paso de tubo del desarenador a la caja de influente, por ello, tal vertedor queda ahogado.
- Los tanques de filtrado 1, 2 y 3 contienen material filtrante (roca volcánica), y debido a que no se tiene un proceso de depuración previo,

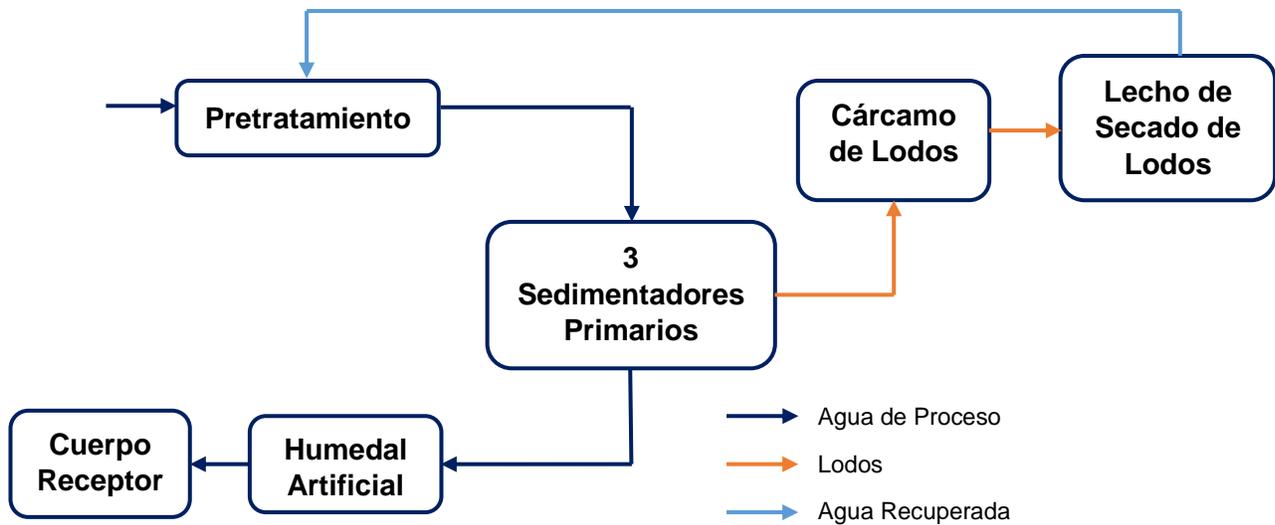
se va acumulando biopelícula y se desprende a manera de lodo, el cual se acumula en el medio y lo satura evitando la circulación del agua. La limpieza de este material es compleja, implica retirarlo, lavarlo y/o reemplazarlo en un periodo de tiempo.

REDISEÑO DE LA PTAR DE LA LOCALIDAD DR. MIGUEL SILVA.

De mismo modo una vez que fue analizada la información obtenida y como parte de las acciones para la mejora de la operación y funcionamiento de la PTAR se plantearon las siguientes modificaciones técnicas y operativas de la planta.

DISEÑO ACTUAL DE LA PTAR DR. MIGUEL SILVA Y DESCRIPCION DEL PROCESO.

Se presenta el Diagrama de Proceso propuesto para la rehabilitación de la PTAR:



Esquema 6. Infraestructura de Tratamiento propuesta para el Proceso de la PTAR en la localidad Dr. Miguel Silva.

La calidad del efluente después del tratamiento debe ser conforme a la NOM-001-SEMARNAT1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, en este caso se tomará como descarga el Lago de Cuitzeo, embalse natural, cuerpo receptor tipo C.

Se presentan los argumentos por las acciones tomadas para el proyecto hidráulico, lo cuales fueron las siguientes:

1. El agua llega por un colector por gravedad al sitio de la PTAR, con un nivel limitado pero suficiente para llegar por gravedad a todas las estructuras del proceso, es por ello se cuenta con un cárcamo de influente.
2. Pretratamiento existente, el pretratamiento consta de un canal de llegada con una compuerta para clausurar el paso y enviar el agua hacia un registro de excedencias. El canal cuenta con una rejilla para contener sólidos con separación de 1 cm, posteriormente hay un vertedor y una caída hacia un desarenador (caja desarenadora) el cual tiene unos 45 cm de profundidad, un ancho de 120 cm y una longitud de 145 cm, lo cual le da la capacidad de 0.78 m^3 de volumen para desarenar, finalmente el agua pasa por un paso de tubo circular de 30 cm de diámetro y cae a una caja de entrada hacia el proceso.
3. Caja de entrada al proceso, tiene características de $1.25 \times 0.85 \text{ m}$ y 55 cm de profundidad, de esta caja pasa el agua hacia el tanque de filtrado 1 a través de un hueco vertedor de $8 \times 120 \text{ cm}$, pero por su configuración se consideró el funcionar además de un estructura de paso como caja desarenadora en caso de que hayan llegado arenas en esta parte del proceso.
4. Tanques sedimentadores (antes llamados tanques de filtrado), existen 3 tanques y se dispuso el colocar un sistema de sedimentación en los dos

primeros y dejar el tercero solo como estructura de paso, en todo caso, podría pensarse en un tercer sedimentador si este fuera necesario, por lo pronto se dejó solo como estructura de paso. El anterior funcionamiento de la infraestructura era el siguiente, el tanque 1 es un tanque de 4.75 x 2 m y 1.78 m de profundidad total, el cual contenía piedra volcánica gruesa con un espesor de 1.25 m, posteriormente el agua pasaba del tanque de filtrado 1 al tanque de filtrado 2 a través de dos huecos de 20 x 55 cm en la parte inferior del muro de colindancia. A este tanque ingresaba el agua por dos pasos superiores cuadrados de 15 x 15 cm y salía por dos huecos inferiores del siguiente muro, es decir, el agua atraviesa verticalmente el filtrado, en forma descendente. El problema operativo se presentaba porque no se tenía ningún proceso de depuración previo a este paso (excepto retención de sólidos grandes y arenas), por lo que, al llegar el agua a este punto, se generaban capas de lama (biopelícula), la cual se saturaba y desprendía, al no haber modo de retirarse del proceso, el material filtrante se saturaba y finalmente el agua deja de fluir. El tanque de filtrado 2 es un tanque de 6.75 x 2.00 m y de 1.78 m de profundidad total, el cual contenía piedra volcánica gruesa con un espesor de 1.25 m, posteriormente el agua circulaba del tanque de filtrado 2 al tanque de filtrado 3 a través de cinco pasos de tubo de 15 cm de diámetro por la parte superior del muro. Este tanque de filtrado 2 va después del tanque de filtrado 1, el ingreso del agua era inferior y la salida es superior a través de los cinco pasos de tubo, por lo que el filtrado en esta etapa es vertical ascendente. Por lo comentado anteriormente, el tanque de filtrado 1 se saturaba y el agua ya no circulaba hacia este tanque 2. Por lo anterior, se retiró el material filtrante en ambos tanques y se convirtieron en sedimentadores primarios con módulos de sedimentación, del tipo “Alta Tasa” mediante módulos tubulares; el área de sedimentación es de 7 m³. En cada tanque se tiene un tramo inicial de alrededor de 3 m de longitud en el que no tiene ningún elemento, esta es una zona de sedimentación horizontal, posteriormente se construyó una mampara de concreto. En ambos tanques se construyó un fondo atollado de concreto ciclópeo con acabado pulido con

el objeto de que los lodos tiendan a irse por la parte baja del tanque y se extraigan más fácilmente hacia el cárcamo de lodos que fue construido. El paso hueco en la parte baja del muro de paso del tanque 1 al tanque 2, fue clausurado y se demolió la parte superior y se construyó un vertedor para paso superior, posteriormente en el tanque 2 igualmente se construyó una segunda mampara de concreto para hacer que el agua pase por la parte baja y ascienda por los módulos de sedimentación y pase al tanque 3 por el muro vertedor propuesto, finalmente el agua ahora circula por el tanque 3 libremente y sale por la tubería superior de 4 in de diámetro hacia el humedal.

5. Humedal Sub-Superficial, es una laguna llena de material filtrante y donde abunda la vegetación común de lagunas de poca profundidad, tal como juncos y jaras. El humedal tiene una forma rectangular, dividida en 2 secciones, mide 11 x 22 m, el agua pasa a través de este, donde el material filtrante, los tallos y las raíces realizan una labor de depuración biológica de las aguas. El agua pasa de la zona 1 hacia la zona 2, y sale finalmente a través de una tubería de 4 in de diámetro que descarga hacia un canal de salida que lleva el agua hacia lago. El humedal está conformado con bordos que sobresalen del nivel de terreno, y están recubiertos con geomembrana plástica para impermeabilización.
6. Cárcamo de Bombeo de Lodos, es una estructura nueva que quedó adosada a los nuevos sedimentadores 1 y 2 (antes tanques de filtrado 1 y 2). Tiene dimensiones de 1.50 x 2.50 m y una profundidad de 1.85 m, de los cuales sólo 0.80 m de profundidad será útil, ya que se espera captar un volumen de lodos de 3 m³ de lodos, que es aproximadamente el volumen de lodos estimados en cada sedimentador al abatir un tirante de 0.30 m. Este cárcamo fue construido de concreto reforzado, en el cual quedaron ahogadas las tuberías de salida de lodos, de las cuales habrá una salida de 4 in de diámetro con una válvula compuerta para control de cada tanque. Se estima que el volumen de lodos puede ser retirado hacia el lecho de secado de lodos una vez por semana de cada tanque, alternando la salida de estos. Se estima

que la producción de lodos en el sedimentador 2 será menor que en el 1, por lo que el volumen de descarga de lodos de ambos tanques deberá ajustarse conforme a la experiencia de operación. Este cárcamo de bombeo de lodos cuenta con una bomba y una línea de descarga en tubería de 3 in de diámetro.

7. La tasa de acumulación de lodos primarios, sin un proceso biológico previo es difícil de cuantificar ya que depende del tipo de agua residual cruda que ingresará en la planta, y de acuerdo a la concentración de sólidos suspendidos. El lecho de secado puede funcionar como deshidratador de lodo cuando las condiciones de temperatura son altas, también se trabaja como desaguador al utilizar el filtrado para esta función. Entonces el lecho de secado fue proyectado estimando la producción de lodos, tomando en cuenta que se puede retirar el lodo producido una vez por semana para prevenir que se apelmace el lodo en la parte inferior de los sedimentadores. Sin embargo, la experiencia en la operación dictaminará los tiempos más precisos para realizar esta operación. Los lechos de secados convencionales son los más utilizados para plantas pequeñas de agua residual doméstica. El lecho de secado de lodos está conformado en la parte inferior por una cama de grava de entre 0.20 a 0.46 m de altura con un diámetro de grava de 40 a 75 mm, en la parte superior por una cama de arena de entre 0.20 a 0.30 m de altura con un diámetro de las partículas de arena de entre 0.3 a 0.75 mm. El diseño del lecho de secado se debe adaptar a las condiciones del lugar. Se dice que la tasa de aplicación de purga en los lechos de lodo se recomienda entre 10 a 15 kg SST/m². Las dimensiones para el lecho de secado se establecieron en 5 m de ancho, 5 m de largo y un tirante de 30 cm de lodo fresco.

8. Proyecto Mecánico, este proyecto consistió en la selección del equipo de bombeo utilizado para el cárcamo de bombeo de lodos.

8.1. Cárcamo de Bombeo de Lodos: Para el presente proyecto se instaló un equipo de bombeo utilizando el gasto medio de agua a tratar como parámetro de diseño, sin embargo la producción de lodos dictará los tiempos de operación del bombeo y cada cuanto deberán enviarse los lodos hacia el lecho de secado de lodos, recordando que el lecho está diseñado para recibir 7.5 m^3 de lodo máximo una vez por semana.

Bombeo de Lodos Caudal por bomba = 1.64 L/s

Presión = 3.41 mca

Potencia Tentativa = 0.10 HP

Número en Operación = 1

Número en reserva = 0

Número total = 1

CONCLUSIONES:

1. Al modificar ambos sistemas, se logró incrementar los resultados de eficiencias de remoción del 40% aproximadamente al 90%, y con esto obtendríamos un vertido de las aguas residuales de estas dos localidades al cuerpo receptor (Lago de Cuitzeo), dentro de los límites permisibles, establecidos en las Normas y Reglamentos.
2. Se consiguió además de dar un beneficio medio ambiental al Lago de Cuitzeo a la sociedad en general, ya que se estas acciones están contribuyendo a la preservación de la salud de las poblaciones, del ecosistema (flora y fauna) y también el cumplir con las normas aplicables para el tratamiento y vertido de las AR.
3. Al haber realizado este estudio fue posible elaborar para cada planta tratadora de aguas residuales, “Manuales de Operación y Mantenimiento” (Anexo 1). Es importante mencionar que de las 42 plantas registradas en el Inventario de Infraestructura de la Subdirección de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA, actualmente solo 18 de estas se encuentran en operación, pero ninguna cuenta con un manual de este tipo, de mismo modo no cuentan con un registro de información que pueda ser de utilidad para los operadores, estas, son limitantes para que se pueda lograr un buen estado y funcionamiento de la estación depuradora, por lo que será un gran aporte y beneficio hacia estas.

LOGROS DEL PROYECTO:

1. Se hizo entrega del proyecto ejecutivo del rediseño de los sistemas de tratamiento de AR de las localidades Cuaracurio y Dr. Miguel Silva.
2. Se recibió la validación del proyecto por parte de la CONAGUA.
3. Se tuvo un financiamiento para realizar las modificaciones técnicas propuestas a los sistemas de tratamiento con recursos internacionales, con un monto de \$1.8 MDP.
4. Se tuvo anuencia por parte de las localidades y del municipio de Cuitzeo para la realizar las modificaciones de los sistemas de tratamiento.
5. Se obtuvo por parte de la Asociación Civil DUMAC México, el equipamiento para realizar los análisis en situ de los parámetros básicos.
6. Se elaboraron los Manuales de Operación y Mantenimiento.
7. Se dio capacitación al personal del OOAPAS del municipio de Cuitzeo y a los integrantes del Comité Local de Agua Potable de las localidades.
8. Se realizó la modificación de la infraestructura general de los sistemas de tratamiento.
9. Las PTAR están siendo monitoreadas y se encuentran cumpliendo con los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

RECOMENDACIONES:

1. Es importante no dejar de contribuir a la generación de conciencia social sobre los recursos naturales no renovables, ya que como se mencionó y es bien conocido, la demanda por estos recursos va en aumento y su disposición se ve cada vez más limitada.
2. Promover la capacitación permanente al personal operativo de las diferentes PTAR, así como del personal de los OOAPAS de los diferentes municipios que conforman la cuenca del Lago de Cuitzeo.
3. Respecto a los lodos generados en este tipo de proceso de depuración de AR, se sugiere el realizar un estudio y los análisis pertinentes para conocer sus composiciones y así aprovecharlos como un subproducto natural.
4. Gestionar recurso para equipos de laboratorio y así de manera permanente monitorear la calidad del agua, especialmente en tiempos de sequías y lluvias, que es, cuando se observan más variaciones en el comportamiento.
5. Seguir con la evaluación de las infraestructuras y contribuir al apoyo de este tipo de PTAR.
6. Contratación de personal adecuado para la operación y supervisión, de los diferentes sistemas de depuración, preferentemente con perfil de Ingenieros Químicos.
7. Fortalecer la prestación de servicios para análisis, ya que se buscó realizar estos por otros medios.
8. Que la Facultad de Ingeniería Química de la UMSNH, incremente el interés y la práctica, en estos temas sobre las AR.

GLOSARIO ABREVIATURAS:

NOM	Norma Oficial Mexicana.
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.
OOAPAS	Organismo Operador de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento.
DUMAC	Asociación Civil Ducks Unlimited de México.
CONAPO	Consejo Nacional de Población.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
COTAS	Comité Técnico de Aguas Subterráneas.
REDPA	Registro Público de Derechos de Agua.
MAPAS	Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
PTAR	Planta Tratadora de Aguas Residuales.
AR	Aguas Residuales.
TNC	Tecnologías No Convencionales.
HAFS	Humedales de Flujo Superficial.
HAFSs	Humedales de Flujo Sub-Superficial.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
pH	Potencial de Hidrógeno.
SDT	Sólidos Disueltos Totales.
SS	Sólidos Suspendidos.
CE	Conductividad Eléctrica.
Hab.	Habitantes.
SI	Sistema de medición Inglés.
ppm	Partes por millón.
d	Día.
Km	Kilómetros.
Km²	Kilómetros cuadrados.
m	Metros.

m³	Metros cúbicos.
cm	Centímetros.
in	Pulgadas.
mca	Metro de Columna de Agua.
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar.
mm/año	Milímetros por año.
mmho/cm	Micromhos por centímetro.
m³/h	Metro cúbico por hora.
mg/l	Miligramo por litro.
S/cm	Siemens por centímetro.
ms/cm	Milisiemens por centímetro.

INDICE DE IMAGENES:

Imagen 1. % Superficie Cuenca Lago de Cuitzeo.

Imagen 2. Comparación del % Vol. Registrado Vs. Concesionado.

Imagen 3. Evolución Promedio de los Caudales de las Aguas Residuales por Día.

Imagen 4. Ilustración de un Humedal Natural.

Imagen 5. Ilustración de un Humedal Artificial.

Imagen 6. Ilustración de funcionamiento de un Humedal de Flujo Superficial.

Imagen 7. Ilustración de funcionamiento de un Humedal de Flujo Sub – Superficial, arreglo Horizontal.

Imagen 8. Ilustración de funcionamiento de un Humedal de Flujo Sub – Superficial, arreglo Vertical.

Imagen 9. Ilustración de la ubicación de la PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 10. Ilustración de la ubicación de la PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

Imagen 11. Ilustración de formato implementado para control y registro de datos.

Imagen 12. Ilustración de la Caja de Llegada, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 13-14. Ilustración de Carcamo de Influyente, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 15. Ilustración de Etapa de Pretratamiento, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 16. Ilustración de Caja de entrada al Proceso, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 17. Ilustración del Tanque de Filtrado 1, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 18. Ilustración del Tanque de Filtrado 2, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 19. Ilustración de Canal de Ingreso por excedencias, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 20. Ilustración del Humedal tipo Sub-superficial, PTAR de la localidad Cuaracurio.

Imagen 21. Ilustración de Etapa de Pretratamiento, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

Imagen 22. Ilustración de Caja de Entrada al Proceso, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

Imagen 23. Ilustración del Tanque de Filtrado 1, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

Imagen 24. Ilustración del Tanque de Filtrado 2, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

Imagen 25. Ilustración del Tanque de Filtrado 3, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

Imagen 26 Y 27. Ilustración del Humedal Subsuperficial, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

Imagen 28. Ilustración del Canal de Salida, PTAR de la localidad Dr. Miguel Silva.

INDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Volumen concesionado de acuerdo a cada sector.

Tabla 2. Valores típicos de los principales contaminantes de las Aguas Residuales Urbanas.

Tabla 3. Factores de Conversión de CE a SDT por fabricantes.

INDICE DE ESQUEMAS:

Esquema 1. Tratamiento de Línea de Agua.

Esquema 2. Tratamiento de Línea de Lodos.

Esquema 3. Infraestructura de Tratamiento de la PTAR en la localidad Cuaracurio.

Esquema 4. Infraestructura de Tratamiento de la PTAR en la localidad Dr. Miguel Silva.

Esquema 5. Infraestructura de Tratamiento propuesta para el Proceso de la PTAR en la localidad Cuaracurio.

Esquema 6. Infraestructura de Tratamiento propuesta para el Proceso de la PTAR en la localidad Dr. Miguel Silva.

ANEXO 1:

RESUMEN EJECUTIVO DE LOS MANUALES DE OPERACIÓN DE LAS PTAR DE CUARACURIO Y DR. MIGUEL SILVA.

- MANUAL DE OPERACIÓN “Rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad de Cuaracurio, Municipio de Cuitzeo, Michoacán”
- MANUAL DE OPERACIÓN “Rehabilitación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Comunidad de Dr. Miguel Silva, Municipio de Cuitzeo, Michoacán”

Estos manuales tienen como objetivo principal el poder proporcionar a encargados y operadores, una herramienta de fácil consulta para la operación, control y mantenimiento de las unidades y equipos de la planta de tratamiento. Así como lograr el aprovechamiento máximo de las instalaciones mediante la implementación de políticas de operación adecuadas a sus características particulares y la sistematización de las actividades derivadas de ellas, además de hacer accesible la comprensión de los principios del proceso y las diferentes técnicas de operación y control del mismo. El poder contar con esta clase de material, es la mejor inversión para garantizar los resultados deseados.

En los documentos se puede encontrar información desde una breve introducción acerca de cada PTAR y de las diferentes etapas que las conforman, hasta apartados donde se explica cómo realizar la conservación de las instalaciones de las estaciones depuradoras, por ejemplo se esclarece cómo se lleva a cabo un mantenimiento general y como se puede contribuir a la conservación de los tanques y canales, las áreas verdes, además de cómo realizar el mantenimiento permanente de las estructuras desde las cajas de rejillas, desarenadores, los elementos metálicos, los humedales, etc.

Es importante mencionar que se cuenta con un apartado donde se incluyen los elementos de seguridad de cada PTAR, ya que la seguridad es un aspecto que no se debe descuidar en ningún sentido, pues los riesgos presentes van desde descuidos personales, hasta los que propiciamos al no conocer el área de trabajo.

Estos manuales se encuentran en físico en las instalaciones de cada PTAR, así como en el OOAPAS de Cuitzeo y en la Subdirección de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA.

BIBLIOGRAFÍAS:

- Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo. (2007). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. ARPIrelieve.
- Arzabal, M. (s.f.). *¿Que Porcentaje del Planeta Tierra es Agua?* Obtenido de VIX: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/7616/que-porcentaje-del-planeta-tierra-es-agua>
- Ascencio, M. M. (2018). *Tecnologías Convencionales de Tratamiento de Agua y sus Limitaciones*. Obtenido de IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua): https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/curso/dia_14/3.%20Teresa%20Leal.pdf
- Barrera, F. F. (2016 de 10 de 2016). *Arriban especies migratorias al Lago de Cuitzeo*. Obtenido de Cambio de Michoacán: <http://www.cambiodemichoacan.com.mx/nota-n12882>
- Borrero, P. D. (2006). *Tratamientos Naturales de Aguas Residuales*. Obtenido de Grupo de Investigación ISAD.: <https://es.slideshare.net/jalarab/introduccion-sistemas-naturales-presentation>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2009). *Plan de Gestión Integral de los Recursos Naturales de la Cuenca del Lago de Cuitzeo*. México 2009
- CONAGUA Subdirección General Técnica Gerencia de Aguas Subterráneas. (2018). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Lago de Cuitzeo (1121), Estado de Guanajuato*. Guanajuato: Diario Oficial de la Federación.
- Corral., M. S. (s.f.). *E.D.A.R (Estación Depuradora de Aguas Residuales)*. Obtenido de http://www.lis.edu.es/uploads/967d742f_455b_4bd0_a29f_438968130ea1.pdf
- Depuración Biológica de las Aguas Residuales Urbanas*. (s.f.). Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- DUMAC. (2019). *Plan de Manejo Inegral para la Cuenca del Lago de Cuitzeo*.
- Fernández., J. J. (2012). *Manual de Tecnologías No Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales*. México: E.B.O S.A de C.V.
- Gobierno de México. (2019). *CONAPO (Consejo Nacional de Población)*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conapo>

- Orozco, J. C. (2019). *Inventario y Evaluación de la Infraestructura de Tratamiento de las Aguas Residuales en la Rivera del Lago de Cuitzeo*. Morelia.
- P., A. (2004). *Mecanismos de eliminación de la materia orgánica y de los nutrientes en Humedales construidos de Flujo Susuperficial*. Barcelona: CPET.
- Poder Ejecutivo del Estado. (23 de 08 de 2007). *Ley del Agua y Gestión de Cuencas para el Estado de Michoacán. Periódico Oficial. Segunda Sección, Tomo. CXLII, Num. 11*. Obtenido de Poder Ejecutivo del Estado: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Michoacan/wo54304.pdf>
- Rosario, L. V. (08 de 2013). *Evaluación de la Calidad del Agua del Arroyo Panacule y el Establecimiento de Plantas Ornamentales en un Sistema de Humedales de Flujo Sub-Superficial para tratar Aguas Residuales en el Campamento de Pesca Arcoíris, Puebla*. Obtenido de U.N.A.M Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_lopez_valentin.pdf