



**El Colegio  
de la Frontera  
Norte**

ENFOQUE METABÓLICO URBANO EN EL ANÁLISIS DE LOS FLUJOS  
DE AGUA RESIDUAL EN REYNOSA, TAMAULIPAS.

Tesis presentada por

**Priscila Leija McDonald.**

Para obtener el grado de

MAESTRA EN GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

Monterrey, N.L., México

2018

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Director de Tesis: Dr. Ismael Aguilar Benítez

Codirector de Tesis: M. Eng., M.Sc., P. Eng. Daniel A. Nolasco

Aprobada por el Jurado Examinador

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

## **Dedicatoria**

*A mi madre Elva McDonald, mis hermanos Rubén y Eliasid Leija McDonald, a mi alma gemela Edgar Carbajal por el inmenso amor, fortaleza y gran apoyo en todo este proceso de formación y sobre todo a Dios, por darme la valentía y la sabiduría de seguir adelante a pesar de las fuertes adversidades.*

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y mi director de tesis, Dr. Ismael Aguilar Benítez, por darme la oportunidad de formar parte y recibir apoyo económico del proyecto “Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrográfica: Un análisis de disponibilidad y usos”, Fondo Problemas Nacionales (Proyecto PDCPN-2014-248719). A su vez, me encuentro infinitamente agradecida por las asesorías y valiosas observaciones realizadas con el propósito de hacer el presente trabajo de tesis, una investigación de calidad.

A mi codirector, Ing. Daniel A. Nolasco por compartir su gran experiencia profesional y conocimientos, además de gestionar la oportunidad de realizar la estancia de investigación en la Universidad de California, Irvine. Al Dr. Diego Rosso, por su gran apoyo durante mi estancia de investigación y darme la oportunidad de asistir y aprender grandemente en sus clases.

A mi lectora interna, Dra. Gabriela Muñoz Meléndez por aportar grandes ideas y enriquecer grandemente mi trabajo de tesis, además de compartir su gran experiencia profesional.

Al mi lector externo, Dr. Daury García por sus observaciones y apoyo.

A la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Reynosa por recibirme y brindarme toda la información solicitada durante mi trabajo de campo.

Al personal de El COLEF, por facilitar cada una de las herramientas y recursos académicos a fin de facilitar la adquisición de conocimientos y habilidades.

A mi familia por apoyar mis decisiones profesionales y recorrer a mi lado todos los cambios que implicó mi cambio de residencia, mi nuevo estilo de vida, formación y principalmente; por hacerme sentir siempre cerca de casa. A mi alma gemela, por su incondicional apoyo y comprensión ante tantos retos académicos que por supuesto, fue participe y colaborador en muchos de ellos. Y finalmente pero no menos importante, a mis compañeros de generación por permitirme aprender con ellos y darme cuenta que la amistad no sólo es estar siempre en las buenas, sino también que a pesar de los momentos amargos y diferencia de ideas, se darán el tiempo de brindarte su apoyo incondicionalmente.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se expone como referente empírico la problemática local de los flujos de agua residual en Reynosa, Tamaulipas durante el periodo 2005-2017. El Ciclo Urbano del Agua es el modelo conceptual empleado para respaldar el estudio de metabolismo urbano en la ciudad fronteriza; se considera que abordarlo desde esta perspectiva permitirá identificar las deficiencias que provocan la alteración lineal del ciclo desde sus etapas iniciales y cómo estas repercuten negativamente en el sistema urbano. Las etapas de alcantarillado y saneamiento, denominadas para los propósitos de este trabajo como Ciclo Urbano del Agua Residual, son la unidad de análisis y observación en las que se concentrará la estimación, exploración y evaluación del sistema integral de saneamiento de agua y su *nexus*<sup>1</sup> energético en Reynosa. La aplicación de un balance hídrico local como estrategia de investigación cuantitativa y la integración de análisis geoespacial terrestre a través de Sistemas de Información Geográfica enriquecen y potencializan el estudio de metabolismo urbano como herramienta de insumo eficaz para la planeación de agua urbana. Asimismo, se pretende aportar conocimiento sobre el uso de este tipo de herramientas y metodologías, a fin de adaptarlas a ciudades o centros urbanos con problemáticas similares. Las fuentes de información empleadas en el presente estudio son datos operativos del organismo operador e informes de Instituciones gubernamentales nacionales e internacionales (CFE, CONAGUA, INEGI, COCEF, BDAN).

- Palabras Clave: agua residual, saneamiento, metabolismo urbano, ciclo urbano del agua, planeación de agua urbana.

---

<sup>1</sup> Conexión importante entre las partes de un sistema o un grupo de cosas (traducción propia). Cambridge Dictionary Online. Véase en: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/nexus>

## **ABSTRACT**

The present thesis project expose, as an empirical reference, the local problematic of wastewater flows in Reynosa, Tamaulipas during the period 2005-2017. The Urban Water Cycle is the conceptual model used to support the study of urban metabolism in the border city; it is considered that approaching it from this perspective will identify the deficiencies that cause the linear alteration in the cycle from its initial stages and how these have a negative impact on the urban system. The sewage and sanitation stages, named for this work as Residual Water Urban Cycle, are the unit of analysis and observation in which the estimation, exploration and evaluation of the integral water sanitation system in Reynosa will be concentrated. The application of a local water balance as a quantitative research strategy and the integration of terrestrial geospatial analysis through Geographic Information Systems enrich and improve the study of urban metabolism as an efficient tool for urban water planning. Likewise, it is intended to provide knowledge on the use of this type of tools and methodologies, in order to adapt them to cities or urban centers with similar problematic. The information sources used in this study are operating data of the Reynosa's water district and reports of national and international government institutions (CFE, CONAGUA, INEGI, BECC, and NADB).

- **Keywords:** wastewater flows, sanitation, urban metabolism, urban water cycle, urban water planning.

## **CONTENIDO GENERAL**

<b>I.-INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO</b> .....	<b>13</b>
<b>II.-ANTECEDENTES</b> .....	<b>15</b>
<b>III.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>16</b>
3.1 Identificación del problema .....	16
3.1.1 Reynosa, ubicación geográfica y la problemática de las aguas residuales .....	16
3.1.2 El desempeño de los servicios públicos de agua, drenaje y saneamiento en Reynosa .....	22
3.1.3 Acuíferos: condición y naturaleza del agua subterránea .....	25
3.1.4 Panorama del tratamiento de agua residual en Reynosa, Tamaulipas .....	27
3.2 Delimitación de la problemática .....	34
3.3 Pregunta de investigación .....	36
3.3.1 Pregunta secundaria .....	36
<b>IV.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>37</b>
<b>V.- JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>38</b>
<b>VI.- MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	<b>39</b>
6.1 Teoría General de Sistemas .....	39
6.2 Metabolismo Urbano: la simbiosis entre lo natural y lo artificial .....	42
6.3 Principios de conservación de materia y energía: el estudio de sus flujos .....	47
6.4 Ciclo Urbano del Agua en Reynosa, Tamaulipas .....	48
6.5 Nexus agua-energía en el Ciclo Urbano del Agua .....	53
6.5.1 El nexa agua-energía-carbono .....	57
<b>VII.- HIPÓTESIS</b> .....	<b>61</b>
<b>VIII.- ESTRATEGIA METODOLÓGICA</b> .....	<b>62</b>
8.1 Balance hídrico local .....	64
8.1.1 Producción de agua potable en el sistema urbano .....	65
8.1.2 Distribución .....	66
8.1.3 Consumo .....	68
8.1.4 Alcantarillado .....	69
8.1.4.1. Precipitación media anual .....	71
8.1.4.2. Escorrentía superficial .....	73
8.1.4.2.1 Relieve (k1) .....	74
8.1.4.2.2 Permeabilidad (k2) y Retención (k4) .....	75

8.1.4.2.3 Uso del Suelo y Cobertura de Vegetación (k3).....	76
8.1.4.3. Retorno de aguas residual al sistema de alcantarillado.....	80
8.1.5 Saneamiento.....	82
8.2 Ciclo Urbano del Agua Residual y su nexus energético .....	85
8.3 Planta Tratadora de Aguas Residuales No.1 .....	90
8.3.1 Pretratamiento.....	92
8.3.2 Tratamiento secundario.....	92
8.3.3 Desinfección .....	97
8.3.4 Tratamiento de lodos residuales .....	97
8.3.5 Calidad del agua y lodos residuales de la PTAR No.1 .....	99
8.3.6 Prácticas operativas de la PTAR No.1.....	101
8.4 Planta Tratadora de Aguas Residuales No.2. ....	103
8.4.1 Pretratamiento.....	103
8.4.2 Tratamiento primario.....	104
8.4.3 Tratamiento biológico.....	105
8.4.4 Tratamiento secundario.....	106
8.4.5 Desinfección .....	106
8.4.6 Tratamiento de lodos residuales .....	107
8.4.7 Calidad del agua y lodo residual de la PTAR No.2.....	107
8.4.8 Prácticas operativas de la PTAR No.2.....	108
8.4.9 Exploración del potencial energético de los lodos residuales en la PTAR 1 y 2	109
<b>XI.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>113</b>
9.1 Recomendaciones .....	117
A. Anexo: Directorio de Unidades Económicas.....	127
B. Anexo: Sectorización de la red de distribución de agua potable .....	136
C. Anexo: Biorremediación de lagunas de estabilización .....	137
D. Anexo: Memoria de cálculo del Balance de Agua Urbano en Reynosa, Tamps.....	140
E. Anexo: Tabla de área superficial del suelo Reynosense (2017) .....	144
F. Anexo: Fórmula de interpolación del método de Peñuelas.....	146
G. Anexo: Estimaciones de retorno de agua residual.....	147
H. Anexo: Infraestructura de la PTAR No.2 .....	148
I. Anexo: Volumen tratado (efluente) de la PTAR No.1 y No.2, 2017 .....	151
J. Anexo: Volumen de llegada (influyente) de la PTAR No.2, 2017 .....	153

K. Anexo: Cálculos de agua residual sin tratamiento.....	154
L. Anexo: Consumo energético en el CUAR de Reynosa (2017).....	155
M. Anexo: Cálculo de emisiones directas; factor CEC, 2004.....	158
N. Anexo: Cálculo de emisiones indirectas; herramienta WaCCliM, 2017.....	160
O. Anexo: Cálculo de capacidad de tratamiento de las PTAR´s de Reynosa .....	162
P. Anexo: Infraestructura de la PTAR No.1 .....	163
Q. Anexo: Calidad química del agua tratada en la PTAR No.1, 2017 .....	166
R. Anexo: Calidad del lodo residual de la PTAR No.1 y No.2, 2017.....	167
S. Anexo: Calidad química del agua tratada en la PTAR No.2, 2017.....	168
T. Anexo: Infraestructura de las PTAR´s “Hyperion” y “No.1” de California, E.U.....	173
U. Anexo: Infraestructura de las PTAR “No.4 ” Rancho Cucamonga, CA .....	177
<b>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>119</b>

### **Índice de cuadros:**

Cuadro 1 Población clasificada por grupos de edad para el año 2000, 2005 y 2010. Proyecciones 2020 y 2030 .....	16
Cuadro 2. Producción de agua potable (l/s) por fuente de abastecimiento (2017).....	24
Cuadro 3. Análisis de laboratorio: calidad química del agua residual (PTAR No.1).....	30
Cuadro 4. Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales en Reynosa, Tamps .....	33
Cuadro 5. Revisión cronológica de los estudios de metabolismo urbano .....	46
Cuadro 6. Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica de la CFE.....	54
Cuadro 7. Principales GEI, fuentes de emisión y potencial de calentamiento expresados en unidades de CO <sub>2eq</sub> .....	58
Cuadro 8. Volumen de agua residual colectada por el sistema de alcantarillado (05-17) .....	70
Cuadro 9. Parámetros y categorías para la estimación del factor “C” del método de Peñuelas	73
Cuadro 10. Factor de escorrentía superficial en la zona urbana de Reynosa, Tamps .....	78
Cuadro 11. Escorrentía superficial (2017).....	78
Cuadro 12. Porcentaje de retorno para cada sector establecido por la AWWA, 2012.....	81
Cuadro 13. Costo del nexo agua-energía en el CUAR, 2017.....	88
Cuadro 14. Volumen estimado de agua residual colectada y vertida en el año 2017 .....	90

### **Índice de figuras**

Figura 1. Ciclo Urbano del Agua en Reynosa, Tamaulipas .....	35
Figura 2. Teoría General de Sistemas.....	40

Figura 3. Sistema metabólico urbano lineal (A) y cíclico (B).....	45
Figura 4. Flujos metabólicos urbanos asociados al CUAR en Reynosa, Tamaulipas .....	89
Figura 5. Diagrama de flujo de la Planta Tratadora de Aguas Residuales No.1 .....	91
Figura 6. Diagrama esquemático de la configuración Luzdak-Ettinger Modificada .....	93
Figura 7. Diagrama de flujo de la Planta Tratadora de Aguas Residuales No.2 .....	103
Figura 8. Diagrama esquemático del sistema de filtros percoladores del tipo soporte sólido no sumergido para la remoción de carga orgánica (DBO <sub>5</sub> ) .....	106
Figura 9. Proceso de desnitrificación en sistemas de crecimiento adherido .....	109

### **Índice de fórmulas**

Fórmula 1. Método de Peñuelas .....	73
Fórmula 2. Interpolación del método de Peñuelas .....	146
Fórmula 3. Cálculo de emisiones directas, factor CEC 2004.....	158
Fórmula 4. Cálculo de volumen de operación diario por sistema de tratamiento .....	162

### **Índice de mapas**

Mapa 1. Localización geográfica de Reynosa, Tamaulipas; México .....	17
Mapa 2. Distribución del sector industrial que afecta al sector hídrico en Reynosa.....	19
Mapa 3. Sectores hidráulicos de Reynosa, Tamaulipas.....	23
Mapa 4. Acuíferos en Tamaulipas.....	27
Mapa 5. Sistema de agua potable y saneamiento en Reynosa, Tamaulipas (2017) .....	34
Mapa 6. Relieve, sistema de topofomas y pendientes (2015) .....	74
Mapa 7. Estructura edafológica y litológica del suelo Reynosense (2013).....	76
Mapa 8. Uso del suelo y cobertura de vegetación (2015) .....	77

### **Índice de gráficas**

Gráfica 1. Volumen de agua concesionado a la industria autoabastecida para usos consuntivos en Reynosa, Tamaulipas .....	20
Gráfica 2. Producción de agua potable por fuente de abastecimiento 2017 (m <sup>3</sup> /anuales).....	25
Gráfica 3. Emisiones de GEI en Tamaulipas y proyecciones de casos de referencia 1990-2005 .....	56
Gráfica 4. Contribución de emisiones de GEI por gas (2010) .....	59
Gráfica 5. Evolución de los servicios públicos urbanos en Reynosa (2005-2017) .....	64
Gráfica 6. Producción de agua potable (m <sup>3</sup> /anuales) del 2005 al 2017 .....	65

Gráfica 7. Producción final de agua potable para el sistema urbano y facturación final de usuarios del 2005 al 2017 .....	67
Gráfica 8. Volumen de agua potable facturada desglosada por sectores (05-17).....	68
Gráfica 9. Facturación final, capacidad de colección del sistema de alcantarillado y volumen facturado sin colección del 2005 al 2017 .....	71
Gráfica 10. Precipitación pluvial (media anual) de Hidalgo, TX.....	72
Gráfica 11. Uso de suelo urbano y vegetación periférica de la zona urbana (2015) .....	77
Gráfica 12. Volumen de agua de escorrentía que se integra al sistema de alcantarillado (2005-2017).....	79
Gráfica 13. Volumen real colectado por el sistema de alcantarillado aplicando el porcentaje de retorno para cada sector establecido por la AWWWS (2005-2017).....	81
Gráfica 14. Evaluación de los sistemas de colección, saneamiento y estimación del volumen de retorno del agua residual colectada del 2005 al 2017.....	83
Gráfica 15. Volumen estimado de agua residual sin tratamiento (2005-2017).....	84
Gráfica 16. Consumo energético (kWh) y económico (\$kWh) en el CUAR (2017) .....	86
Gráfica 17. Porcentaje equivalente de consumo energético en el CUAR en el 2017.....	87
Gráfica 18. Porcentaje equivalente de emisiones de GEI en el agua residual 2017.....	88
Gráfica 19. Calidad del agua (influyente-efluente) de la PTAR No.1, 2017 .....	99
Gráfica 20. Calidad del lodo residual (biosólidos) de las PTAR´s No.1 y No.2, 2017 .....	100
Gráfica 21. Calidad del agua (influyente-efluente) de la PTAR No.2, 2017 .....	108

## **Índice de imágenes**

Imagen 1. Planta Tratadora de Aguas Residuales Reynosa No.3.....	32
--	----

## LISTADO DE SIGLAS Y SIMBOLOS

---

<i>Abreviatura</i>	<i>Término</i>
BDAN	Banco de Desarrollo de América del Norte
CILA	Comisión Internacional de Límites y Aguas
CUAR	Ciclo Urbano del Agua Residual
COCEF	Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza
COMAPA	Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EBAR	Estación de Bombeo de Agua Residual
EBAT	Estación de Bombeo de Agua Tratada
GEI	Gases de Efecto Invernadero
hm <sup>3</sup>	Hectómetro cúbico (1,000 litros de agua)
l/s o lps	Litros por segundo
MU	Metabolismo Urbano
M.S.N.M	Metros Sobre el Nivel del Mar
mg/L	Miligramo por Litro
NTK	Nitrógeno Total Kjeldahl
N <sub>Total</sub>	Nitrógeno Total Disuelto
OD	Oxígeno Disuelto
PP	Planta Potabilizadora
P <sub>Total</sub>	Fósforo Total
pH	Medida de la acidez de una solución acuosa
PTAR	Planta Tratadora de Aguas Residuales
Q <sub>inf</sub>	Caudal en el influente o afluente
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSTLM	Sólidos Suspendidos Totales del Licor Mezcla.
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
TGS	Teoría General de Sistemas.

## I.- INTRODUCCIÓN AL TEMA DE ESTUDIO

Desde el siglo pasado, las ciudades han experimentado fenómenos expansivos asociados a la urbanización, el crecimiento poblacional y la migración, situación que ha generado gran preocupación entre la comunidad científica debido a la presión que se ejerce sobre los recursos naturales con el propósito de suplir las necesidades de la sociedad asociadas a la demanda de agua y energía. Adicionalmente, las actividades productivas de diversos sectores económicos (energético, industrial, minero y de servicios) contribuyen en mayor medida a un estado de estrés hídrico en el que el abatimiento de las aguas subterráneas y la disminución de cauces naturales (ríos, lagunas, esteros, etc) generan dificultades al momento de garantizar el abasto de tan preciado líquido.

Por otro lado, los contaminantes vertidos a cauces naturales –producto de la descarga de agua residual por parte de la industria y el comercio -conllevan al declive y deficiencia de los sistemas de depuración de aguas residuales- y con ello, a la disminución en la calidad química del agua tratada y emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI); sucesos que evidenciaran problemas de sostenibilidad urbana y disminución en la calidad de vida (Newman, 1999; Kennedy et al., 2007). Novotny atribuye que el nexo entre estos factores afectan a la circulación del metabolismo urbano, convirtiendo así a los sistemas urbanos, en mecanismos lineales (Novotny, 2013). El término metabolismo urbano se adapta como modelo conceptual para describir y analizar los flujos de materiales, incluyendo el agua y la energía dentro de las ciudades (Newman 1999, Wolman 1965 & Decker et al., 2000).

Por tal motivo, al abordar el estudio de los flujos o rutas metabólicas implica que estos deben ser visualizados y entendidos a partir de un enfoque subsistémico, es decir, de los procesos internos. De manera que al describir a los sistemas de abastecimiento de agua, a la red de drenaje y a las Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR)<sup>2</sup>, nos referimos a unidades de intercambio capaces de recibir, procesar y desechar flujos de materiales (agua, energía, nutrientes y gases) procedentes de centros urbanos. En este sentido, adaptar el enfoque de

---

<sup>2</sup> PTAR: es una construcción con equipamiento especializado el cual consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua producto de la actividad humana, generados por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Estas aguas son colectadas y enviadas a las plantas de tratamiento, para su saneamiento. Véase en: <http://www.fmt.gob.mx/es/servicios/index.asp?pg=C&sec=4>.

metabolismo urbano permitirá proporcionar información sobre la sostenibilidad del sistema y conocer la severidad de los problemas urbanos en escalas que varían de lo global a lo local (Zhang, Yang, & Yu, 2015).

El estudio que se presenta busca entender el Ciclo Urbano del Agua (CUA)<sup>3</sup> a través de un enfoque de metabolismo urbano. La propuesta permitirá identificar las deficiencias que provocan la alteración lineal del ciclo desde sus etapas iniciales y cómo estas repercuten negativamente en el sistema urbano. Para ello, se propone un diagnóstico local que integre la identificación y estimación del volumen total de agua urbana producida y desechada procedente del sector doméstico, comercial, industrial, servicio público urbano e industria autoabastecida. Conjuntamente, se desea evaluar la funcionalidad de la tecnología de tratamiento de agua residual a fin de conocer la capacidad de remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos procedentes de la industria y el comercio.

Para hacer efectivas ambas propuestas será necesario realizar un análisis geoespacial terrestre que permita identificar las zonas de mayor afluencia industrial. Posteriormente, la descripción edafológica y topográfica del suelo Reynosense permitirá estimar con mayor precisión las variables que conforman el balance hídrico local.

---

<sup>3</sup> Se le llama Ciclo Urbano del Agua a la alteración que sufre el Ciclo Hidrológico en las ciudades con el propósito de satisfacer las necesidades humanas.

## II.- ANTECEDENTES

Después de una revisión metodológica de estudios enfocados al análisis de los flujos de agua, agua residual y energía en las ciudades (Cuadro 5) el presente trabajo de investigación toma como base metodológica el estudio realizado en la ciudad de Oslo, Noruega (Venkatesh et al; 2014) por cuatro razones. La primera es su densidad de población, la cual es similar a la de Reynosa -más de 600, 000 habitantes-, la segunda; es el enfoque local del estudio. Algunos investigadores han aplicado el enfoque de metabolismo urbano en áreas metropolitanas mayores a 6 millones de habitantes por lo que ubicar estudios en el ámbito local es complicado y poco común. La tercera, es que son ciudades cercanas a la costa, en ambos casos la distancia al mar es menor a 100km y a 27 M.S.N.M promedio y finalmente; la aplicación del enfoque metabólico urbano está dirigido al análisis e impacto ambiental de los flujos urbanos de agua y agua residual en la ciudad de Oslo.

El interés de elegir a Reynosa como unidad de estudio se debe a que es considerada como la tercera ciudad con mayor crecimiento poblacional de México después de Puerto Vallarta y Cancún<sup>4</sup>. Por otro lado, su ubicación geográfica y localización la hace parte de las ciudades que conforman la franja fronteriza, por lo que plantear proyectos de mejora y desarrollo para el sector hídrico implica la regulación y financiamiento de entes nacionales e internacionales (BDAN, COCEF, CONAGUA, CILA). Finalmente, la urbe tamaulipeca comparte cuerpos naturales de agua con Texas razón por la cual un mal manejo del recurso conllevaría a problemas que dañen la relación entre México y Estados Unidos.

---

<sup>4</sup> Véase en: [http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Zonas\\_metropolitanas\\_2010](http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010). Año 2000.

### III.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 3.1. Identificación del problema

##### 3.1.1. Reynosa, ubicación geográfica y la problemática de las aguas residuales.

A más de dos siglos de su fundación, la ciudad de Reynosa se ha convertido en una de las más pobladas del estado de Tamaulipas, con el mayor crecimiento industrial, empresarial y energético de la región. A lo largo de sus 268 años, esta ciudad fronteriza se ha colocado como una de las más importantes a nivel estatal gracias a su ubicación geográfica, infraestructura y recursos naturales que promovieron en gran medida los procesos de urbanización y movimientos de masas poblacionales<sup>5</sup>. Según datos de la Encuesta Intercensal 2015 (INEGI, 2015), la ciudad cuenta con un total 646, 202 habitantes<sup>6</sup>. Se estima que para el año 2030 la población incremente en un 43.22 por ciento equivalente a 1, 117, 391 habitantes<sup>7</sup> (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Población clasificada por grupos de edad para el año 2000, 2005 y 2010 y proyecciones 2020 y 2030

GRUPOS DE EDAD	2000	2005 25.31%	2010 5.66%	2020 15.485%	2030 10.57%
Total	420,463	526,888	556,715	729,130	1,117,391
0-14	133,500	150,691	169,308	221,743	339,821
14-65	276,000	358,340	365,597	478,822	733,795
65 y más	10,963	17,857	21,810	28,565	43,775

Fuente: Consejo Estatal de Población, Tamaulipas

Fuente: Periódico Oficial. Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Reynosa, Tamaulipas, 2013

Reynosa se encuentra ubicada en la parte norte de Tamaulipas y pertenece a la subregión 2, específicamente a 26°05' de latitud norte y a los 98°18' de longitud oeste, a una altitud de 40 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con Estados Unidos de Norteamérica, a través del río Bravo; al sur con el Municipio de Méndez, al este con Río Bravo, al oeste con Díaz Ordaz

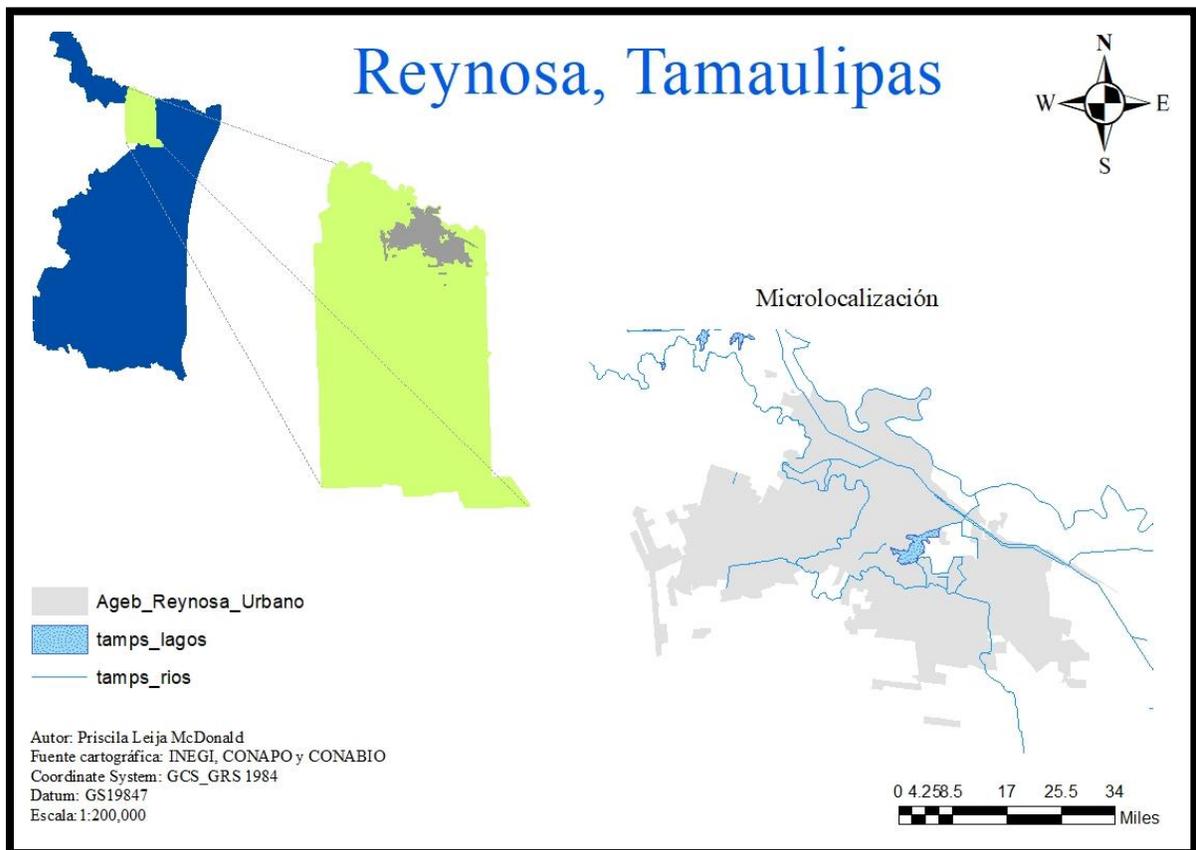
<sup>5</sup> Periódico Oficial. Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Reynosa, Tamaulipas, 2013. Pág.19 Véase en el sitio: <http://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2013/09/cxxxviii-110-110913F-ANEXO1.pdf>

<sup>6</sup> 1° lugar, Censo Población y Vivienda INEGI, 2015. Estado de Tamaulipas. 2015. Véase en el sitio: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Tam/Poblacion/default.aspx?tema=ME&e=28>

<sup>7</sup> Periódico Oficial. Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Reynosa, Tamaulipas, 2013. Véase en el sitio: <http://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2013/09/cxxxviii-110-110913F-ANEXO1.pdf>

y Nuevo León (Mapa 1). Posee una extensión territorial de 3,156.34 km<sup>2</sup> que representan el 3.7% de la extensión del Estado.

**Mapa 1.** Localización geográfica de Reynosa, Tamaulipas; México



Durante el verano la temperatura es de 40-45°C y la precipitación pluvial promedio registrada en la última década osciló entre los 400 a 500mm<sup>8</sup>. De acuerdo con la regionalización de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el municipio fronterizo forma parte de la Región VI Río Bravo y está situado en la parte baja del Bajo Bravo. Las principales fuentes tributarias de abastecimiento de agua superficial son el Río Bravo y los canales “Guillermo Rhode” y “Anzaldúas”. Debido a las descargas de agua residual tratada (la cual debe cumplir obligatoriamente con la NOM-001-SEMARNAT-1966<sup>9</sup>), el Canal “Rhode” proporciona una

<sup>8</sup> Véase Municipios de México, 2017: <http://www.municipios.mx/tamaulipas/reynosa/>.

<sup>9</sup> Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

dotación de agua al sector agrícola, es decir, a los distritos de riego 025 y 026<sup>10</sup>. Este canal se origina en la toma sur de la presa Marte R. Gómez y tiene una longitud de 194 km. Por otro lado, el “Anzaldúas” tiene una longitud de 112 km y nace en la margen derecha de la presa Internacional Anzaldúas<sup>11</sup>. Económicamente, la urbe tamaulipeca ocupa el doceavo en la aportación de Producto Interno Bruto (PIB)<sup>12</sup>. El 57.2 por ciento está comprendido por actividades terciarias (comercio y servicios).

En el rubro de infraestructura productiva el municipio cuenta con 14 parques industriales (Maquilpark, Reynosa, Del Norte, Colonial, Stiva Alcalá, Villa Florida, El Puente, Prologis Pharr, Reynosa Industrial Center, Puente Pharr, Kimco Reynosa, Landus y el Mall Internacional); los cuales en conjunto son utilizados por 1,645 empresas maquiladoras<sup>13</sup> registradas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2017) (**Anexo A**). Los giros industriales de mayor afluencia en la ciudad son el automotriz, minero, metalúrgico, eléctrico, alimenticio y el químico. En menor proporción la industria papelera, maderera, del plástico y el hule.

De acuerdo con datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) manifiestan que las industrias que más afectan al ambiente, principalmente al recurso hídrico, son la petroquímica básica, la química, la industria metalúrgica, la automotriz, la eléctrica y de los alimentos (SEMARNAT, 2010) . Esto se debe a la generación de agua residual con altas concentraciones de contaminantes y residuos peligrosos (descargas con alta temperatura y gran contenido de materia orgánica tales como el bagazo, cachaza y vinazas, aumento de pH, sales, descargas ácidas, metales, cianuros de sodio, materiales reactivos, aceites lubricantes usados, sólidos suspendidos, entre otros) que se vierten al alcantarillado municipal; de las 1, 645 industrias, 432 corresponden a estos rubros. En el siguiente mapa (Mapa 2), se exhibe la

---

<sup>10</sup> Periódico Oficial. Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Reynosa, Tamaulipas, 2013. Véase en el sitio: <http://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2013/09/cxxxviii-110-110913F-ANEXO1.pdf>

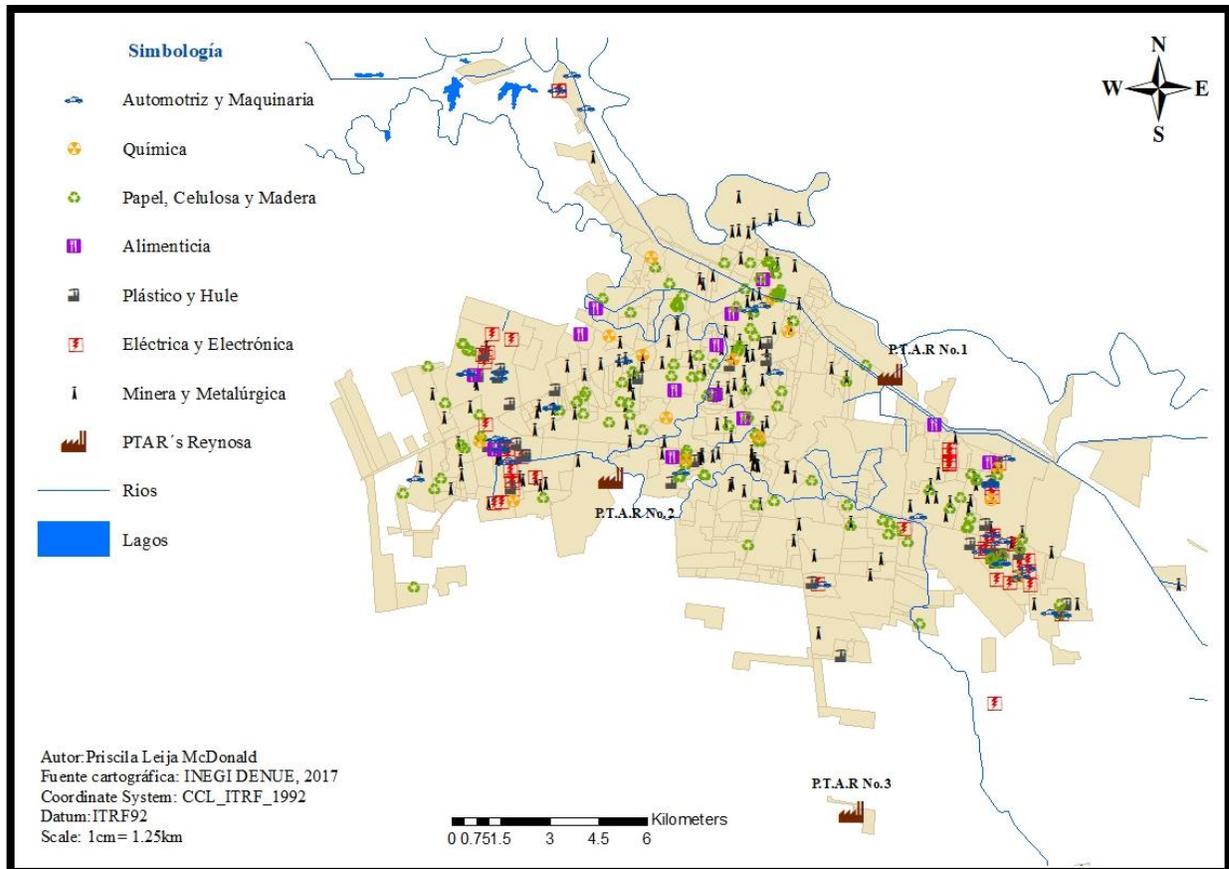
<sup>11</sup> Véase en: [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/manejo-dadr/files/assets/basic-html/page14.html](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manejo-dadr/files/assets/basic-html/page14.html). <http://multicosas.com.mx/2015/09/10/la-historia-del-canal-anzalduas/>

<sup>12</sup> 3.0% PIB en Tamaulipas, véase en: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tam/economia/pib.aspx?tema=me&e=28>,

<sup>13</sup> Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2017). Véase: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/#>.

distribución espacial de la industria manufacturera en la ciudad, así como la georreferenciación de las unidades de tratamiento de agua residual.

**Mapa 2.** Distribución del sector industrial que afecta al sector hídrico en Reynosa.

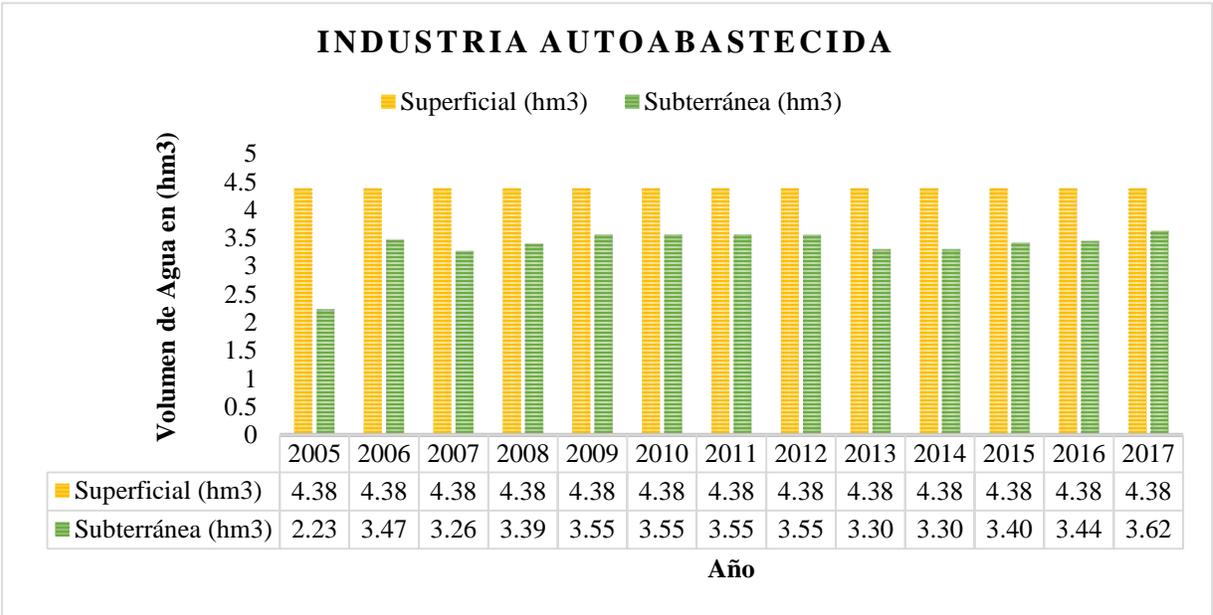


Datos proporcionados por la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Reynosa en el año 2017, señalan que de las 1,645 industrias manufactureras, 904 forman parte de su padrón de usuarios, es decir que el 54.95 por ciento cuenta con conexión directa a la red de suministro de agua potable. El resto, se ve en la necesidad de recurrir a permisos de extracción llamados concesiones o asignaciones<sup>14</sup> otorgados y autorizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con el propósito de obtener agua (de fuentes

<sup>14</sup>Una \*concesión de aprovechamiento de aguas subterráneas o superficiales es el permiso otorgado a los Industriales o comercios por parte de la CONAGUA, también son llamadas industrias autoabastecidas. Por lo regular estos tienen una vigencia de 5 años o hasta agotarse la cantidad de agua comprada en bloque (1 bloque equivale a 1,000m<sup>3</sup> de agua). Al mismo permiso se le llama \*asignación cuando esta es solicitada para usos domésticos o de uso público urbano. Es importante mencionar que el agua es mucho más barata cuando es solicitada para usos residenciales debido a que se considera Derecho Humano.

superficiales o subterráneas) para los distintos fines y usos. Esta solicitud se lleva a cabo cuando los industriales demandan grandes cantidades de agua para sus procesos y la COMAPA no puede brindar el servicio, debido a las limitaciones de sus redes de distribución y producción de agua. Es sumamente importante detallar que el agua potable se distribuye a través de redes o tuberías que el organismo operador, es decir, que las Comisiones Municipales de Agua Potable y Alcantarillado o Juntas de Agua y Drenaje (JAD) instalan en las ciudades y en algunas zonas rurales. En la siguiente gráfica se presenta el volumen de agua concesionado a la industria autoabastecida<sup>15</sup> para usos consuntivos en Reynosa (Gráfica 1).

**Gráfica 1.** Volumen de agua concesionado a la industria autoabastecida para usos consuntivos en Reynosa, Tamaulipas (2005-2017)



Fuente: Elaboración propia con base a CONAGUA, Subdirección General de Planeación, Gerencia de Coordinación Interinstitucional. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

Desafortunadamente en Reynosa así como en muchas otras ciudades, se desconoce el volumen real descargado de aguas residuales de proceso por parte de la industria autoabastecida y comercios. Aunque los gobiernos locales se han dado la tarea de reparar e instalar medidores de

<sup>15</sup>Agroindustrial, servicios, industria y comercios.

flujo<sup>16</sup> en los pozos de agua y eliminar tarifas o cuotas de cobro fijo<sup>17</sup> a industriales y comercios; todavía existen fallas en el sistema que imposibilitan conocer datos legítimos y precisos que permitan contabilizar el volumen de agua residual vertida al sistema de alcantarillado y que posteriormente las plantas tratadoras deben sanear.

Respecto a la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento, la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Reynosa (COMAPA), es el organismo operador responsable de brindar dichos accesos. Actualmente la ciudad cuenta con una cobertura del 95, 92 y 76 por ciento<sup>18</sup> respectivamente. Las principales fuentes tributarias de abastecimiento superficial y subterráneo son por un lado, el río Bravo y Canal “Rhode”, por el otro, 13 pozos de agua.

En materia de saneamiento, la ciudad cuenta con tres Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR). La PTAR *Reynosa 1* (zona noreste) posee una capacidad de diseño de 1,000 lps sin embargo, trata un caudal medio anual de 900 lps. *Reynosa 2* (zona suroeste) cuenta con un diseño para tratar 750 lps, no obstante trata 196 lps y finalmente; *Reynosa 3* (zona sureste) opera con 2 lps. Estas tres unidades depuradoras son las responsables de sanear el agua utilizada por los distintos sectores: Doméstico (91.5%), comercial (3.3 %), industrial (0.37 %) y Servicio Público Urbano (0.13 %)<sup>19</sup> de la ciudad; en conjunto tratan en promedio anual 1,098 l/s<sup>20</sup>.

---

<sup>16</sup> Es un artefacto que se instala en la tubería con el propósito de contabilizar la cantidad de agua (m<sup>3</sup>/h) que pasa a través de ella. Se instala en domicilios, comercios e industrias para realizar los cobros pertinentes a los usuarios.

<sup>17</sup> La tarifa es la cantidad de dinero que deben pagar los usuarios por el suministro de un servicio público (en este caso de agua) a los Organismos Municipales de Agua. El monto a pagar lo establece el Consejo de Administración de las Comisiones Municipales de Agua. Se le llama fijo debido a que el usuario no cuenta con medidor o bien, este presenta fallas en la lectura y por ende, el organismo operador opta por cobrar el volumen facturado consumido el mes anterior. Adicionalmente, si la COMAPA no cuenta con medidores para el oportuno reemplazo del medidor dañado, establece un cobro fijo mensual al usuario.

<sup>18</sup> Cantidad de tomas registradas por sector cada sector: doméstico 226,933., comercial 8, 265, industrial 904 y servicio público 304. Tablero y Evaluación de la COMAPA de Reynosa, 2017

<sup>19</sup> Estimación realizada con base a la cobertura de agua potable (95.36 %) y la cantidad de tomas registradas por sector: doméstico 226,933., comercial 8, 265, industrial 904 y servicio público 304. Tablero y Evaluación de la COMAPA de Reynosa, 2017.

<sup>20</sup> Tablero y Evaluación de COMAPA de Reynosa, 2017.

### *3.1.2. El desempeño de los servicios públicos de agua y saneamiento*

En esta sección se presenta el estatus actual de los servicios públicos de agua y saneamiento así como los mecanismos y acciones operativas que ha tomado el organismo operador como institución pública local prestadora de dichos servicios para su cumplimiento. “El acceso al agua potable y al saneamiento son considerados como derechos inherentes a los seres humanos y sólidamente anclados a la teoría de los derechos humanos” (Domínguez, 2010: 312). Razón por la cual, abordar estos dos grandes ejes temáticos implica no sólo conocer la infraestructura y operación de las unidades de tratamiento de agua y sus deficiencias sino también, incluir la participación social organizada y a la sociedad civil en general en la toma de decisiones que conlleven a proyectar medidas orientadas al uso eficiente de agua, el aprovechamiento sustentable de subproductos y la reutilización de aguas residuales. Una sociedad informada es una sociedad consciente de sus derechos, más responsable y participativa.

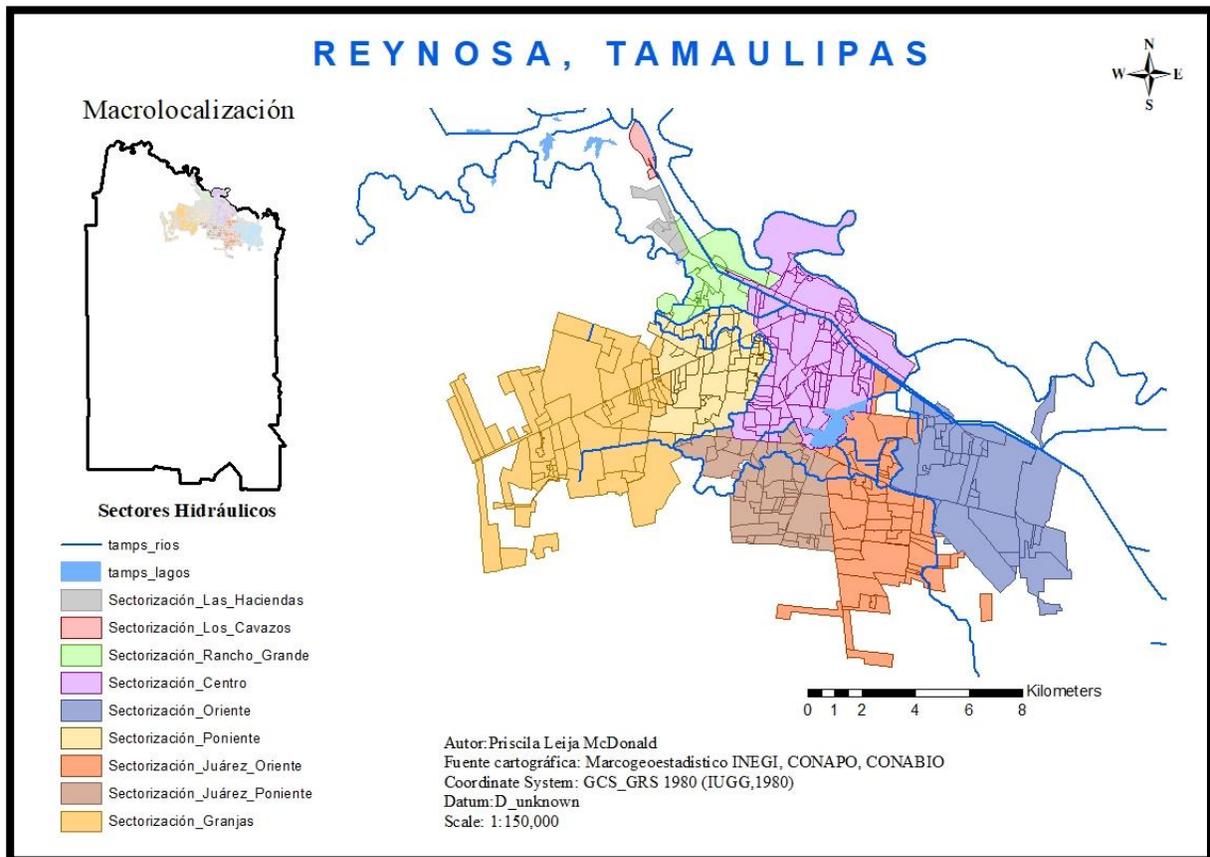
De acuerdo con el art. 115 constitucional, la prestación de los servicios relacionados con el agua: agua potable, drenaje, alcantarillado, disposición de las aguas residuales y biosólidos es de competencia municipal (Domínguez, 2010). En el caso de la ciudad de Reynosa, la COMAPA es el organismo operador responsable de brindar tales accesos. Motivo por el cual, en el año 2014 optó por implementar un programa de sectorización de redes de abastecimiento de agua potable (**Anexo B**) con el objetivo de mejorar la gestión y eficiencia hídrica. La finalidad de sectorizar o dividir una red es para regular las caídas de presión, detectar posibles fugas y contabilizar el caudal de entrada (demanda) y salida (consumo).

Para ello, la ciudad se dividió en nueve sectores hidráulicos independientes (Mapa 3) controlados por válvulas reguladoras, tuberías y con ello, la instalación de medidores de flujo en puntos estratégicos en cada una de las instalaciones técnico-operativas que conforman al organismo operador; tales como las dos obras de toma “Acueducto Anzaldúas” (ubicada en las periferias del río Bravo) y la planta de bombeo “Anzaldúas-Rhode” (localizada en el Canal “Guillermo Rhode”) así como en cada una de las Plantas Potabilizadoras (PP) y las Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR).

Como punto aclaratorio, la diferenciación entre el volumen teórico vs el volumen real de extracción se presenta por una baja eficiencia en los equipos de bombeo. No debemos olvidar su tiempo de vida útil (10 a 15 años), y aunque se realicen mantenimientos y reemplazo de

piezas dañadas en los equipos de bombeo, el desgaste por trabajo diario (24/7) es inevitable, además si el agua posee gran contenido de sales, estas deterioran rápidamente el mecanismo de la bomba.

**Mapa 3.** Sectores hidráulicos de Reynosa, Tamaulipas.



Es importante destacar que además de la dotación superficial competente al río Bravo y al canal Guillermo “Rhode”, en la cual ambas obras de toma cuentan con una capacidad de extracción de 3,000 l/s no obstante sólo extrae en promedio 2,500 l/s; la ciudad demanda la extracción de agua subterránea (acuíferos Bajo- Río Bravo y Méndez-San Fernando) a fin de complementar el volumen requerido para abastecer a la población, industria y comercio.

Estos 13 pozos profundos de agua (100 a 120 mts) también llamados operativamente “pozos de visita” no disponen de equipos de medición, pero se llevan a cabo aforaciones<sup>21</sup> mensuales en los tanques o cisternas de almacenamiento. En el siguiente cuadro (Cuadro 2) se detalla la producción de agua potable por fuente de abastecimiento, la capacidad instalada y el volumen real tratado.

**Cuadro 2.** -Producción de agua potable (l/s) por fuente de abastecimiento (2017).

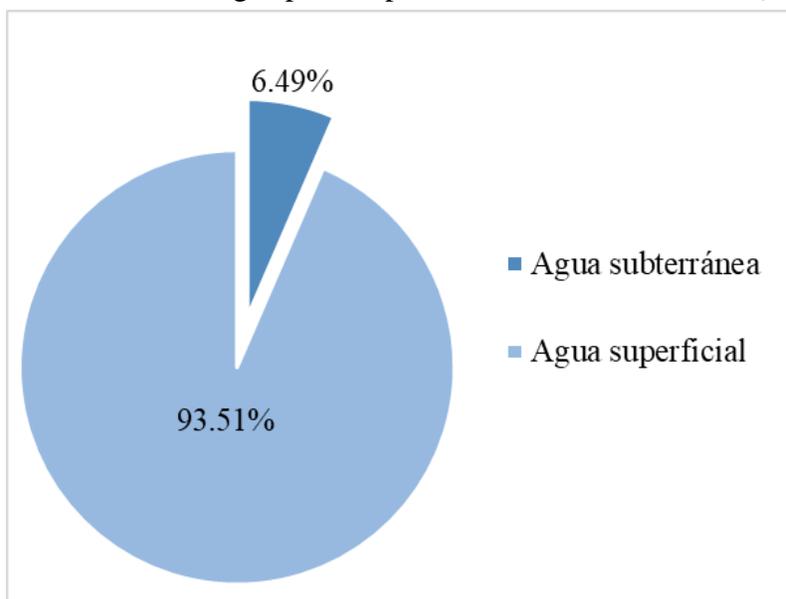
SUBTERRÁNEA		SUPERFICIAL		
<i>Descripción</i>	<i>Volumen Tratado (l/s)</i>	<i>Descripción</i>	<i>Capacidad Instalada (l/s)</i>	<i>Volumen Tratado (l/s)</i>
<b>Acuífero 2801 Bajo-Río Bravo</b>		<b>Río Bravo</b>		
Loma Blanca	13.603	Planta "Pastor Lozano"	1,800	2,179.09
Paseo de las Flores 1 y 2	15.114	Planta "Rancho Grande"	250	175.33
<b>Acuífero 2802 Méndez-San Fernando</b>		Planta "Las Haciendas"	50	4.66
Balcones de San José	11.335	Planta "Los Cavazos"	7	7.06
Ramón Pérez 3	3.778	<b>Canal "Guillermo Rhode"</b>		
Balcones de Alcalá II	13.603	Planta "Benito Juárez"	750	517.711
Balcones de Alcalá III	18.892	Fuente: Elaboración propia con base al Tablero y Evaluación de la COMAPA de Reynosa, 2017 Base de datos REPDA, 2017; véase en el sitio: <a href="http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx">http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx</a>		
Los Almendros	18.892			
Rincón de las Flores	22.671			
Pirámides I	15.114			
Valle Soleado	21.16			
Villas del Roble	18.892			
Nuevo México I	14.358			
Nuevo México II	12.847			

Estos datos revelan que de las 15 fuentes de abastecimiento (2 superficiales y 13 subterráneas) es posible producir hasta 266, 466.93 m<sup>3</sup>/día de agua potable. Es importante destacar que algunos de estos pozos no operan de manera continua debido a la falta de equipos de bombeo para la extracción del agua, sin embargo, se mencionan debido a que forman parte del inventario vigente de la COMAPA.

Asimismo, a partir de los datos exhibidos es posible apreciar que esta ciudad fronteriza emplea para sus actividades diarias más del 90 por ciento de agua superficial como primera fuente de abasto. En la siguiente gráfica se da conocer el porcentaje de producción de agua anual por fuente de abastecimiento.

<sup>21</sup> En campo, cuando se desea conocer la eficiencia física de un equipo de bombeo en l/s, se procede a medir en el tanque o cisterna de almacenamiento (Q<sub>i</sub>) el volumen de agua succionado por la bomba en el lapso de una hora (Q<sub>f</sub>). La diferencia entre (Q<sub>i</sub>- Q<sub>f</sub>) es el volumen total de agua extraído (Q<sub>t</sub>) por el equipo de bombeo (B<sub>1</sub>). Esta acción debe realizarse en cada una de las bombas *in situ* para conocer el volumen total empírico (Q<sub>TOTAL</sub>=B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>+B<sub>3</sub>...B<sub>n</sub>) succionado.

**Gráfica 2.** Producción de agua potable por fuente de abastecimiento (m<sup>3</sup>/anuales), 2017.



Fuente: elaboración propia con base a datos de la CONAGUA y COMAPA de Reynosa, 2017.

### 3.1.3 Acuíferos: Condición y naturaleza del agua subterránea

Como se mencionó en el apartado anterior, esta urbe tamaulipeca emplea más del 6 por ciento de agua subterránea y aunque puede parecer un número insignificante, la realidad es que sin este volumen no sería posible cumplir con el total demandado por la población. Por otro lado, el sector industrial autoabastecido emplea más del 45 por ciento de agua subterránea (ver gráfica 1) así que, abordar la condición y estatus actual de los acuíferos de la región es sumamente importante ya que permite conocer la situación actual de la calidad química del agua, recarga y disponibilidad para futuras concesiones que permitirán el desarrollo y crecimiento económico de la ciudad.

En relación a la calidad química del agua, el reporte técnico publicado por el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la CONAGUA en el año 2015 y los metadatos generados para el análisis cartográfico, revelan que el acuífero Bajo- Río Bravo (2801)<sup>22</sup> presenta el fenómeno de salinización de suelos y de aguas subterráneas salobres con una

<sup>22</sup> (2801) Clave del acuífero en el sitio REDPA.

concentración promedio de 2,000 a 2,500 mg/L de Sólidos Totales Disueltos (STD)<sup>23</sup> con altas afluencias de sales –principalmente sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) y cloruros (Cl<sup>-</sup>) y una conductividad eléctrica de 320 a 9,500 microsimens/cm. Esta caracterización hidrogeoquímica e hidrogeológica del acuífero se realizó en el año 2005, y a la fecha dichos datos continúan vigentes.

El volumen de extracción y recarga en el año 2016 fue estimado en 25.80 y 198.50 hm<sup>3</sup> respectivamente. El flujo extraído se obtiene de 346 aprovechamientos, de los cuales, 259 se encuentran activos y 87 inactivos de manera permanente. Dentro de la superficie del acuífero (semi-confinado), se encuentran asentados los Distritos de riego 025 “Bajo Río- Bravo” y el 026 “Bajo Río San Juan”. La disponibilidad media anual en el 2016 fue de 129.70 hm<sup>3</sup>.

Es relevante mencionar que el agua extraída por la COMAPA de Reynosa correspondiente a los pozos “Loma Blanca” y “Paseo de las Flores 1 y 2” (ver Cuadro 2) se diluye con el agua de fuentes superficiales para disminuir las concentraciones salinas y de esta forma, minimizar el impacto corrosivo a los equipos de bombeo y que al potabilizarla pueda cumplir con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994<sup>24</sup> para finalmente distribuirla a los diferentes sectores de la ciudad, El tratamiento del agua cruda<sup>25</sup> se efectúa en cinco Plantas Potabilizadoras: “Pastor lozano”, “Benito Juárez”, “Rancho Grande”, “Las Haciendas” y “Los Cavazos”, las cuales tratan una capacidad total promedio de 2,883.85 l/s<sup>26</sup>.

Por otro lado, el acuífero “Méndez- San Fernando” (2802)<sup>27</sup> presenta concentraciones de Sólidos Totales Disueltos de 500 a 9,000mg/L, de los cuales 36-3,459mg/L son cloruros. La roca en la zona presenta diferentes características hidrogeológicas es decir, con respecto a su capacidad de infiltrar, circular y almacenar agua, de tal modo que algunas secciones del acuífero se clasifican como libres, semiconfinadas y confinadas. La profundidad de los aprovechamientos varía de 40 a 150 metros de profundidad; el volumen de extracción y de

---

<sup>23</sup> Véase en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/tamaulipas-74826>

<sup>24</sup> Norma Oficial Mexicana: Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Véase en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69543.pdf>.

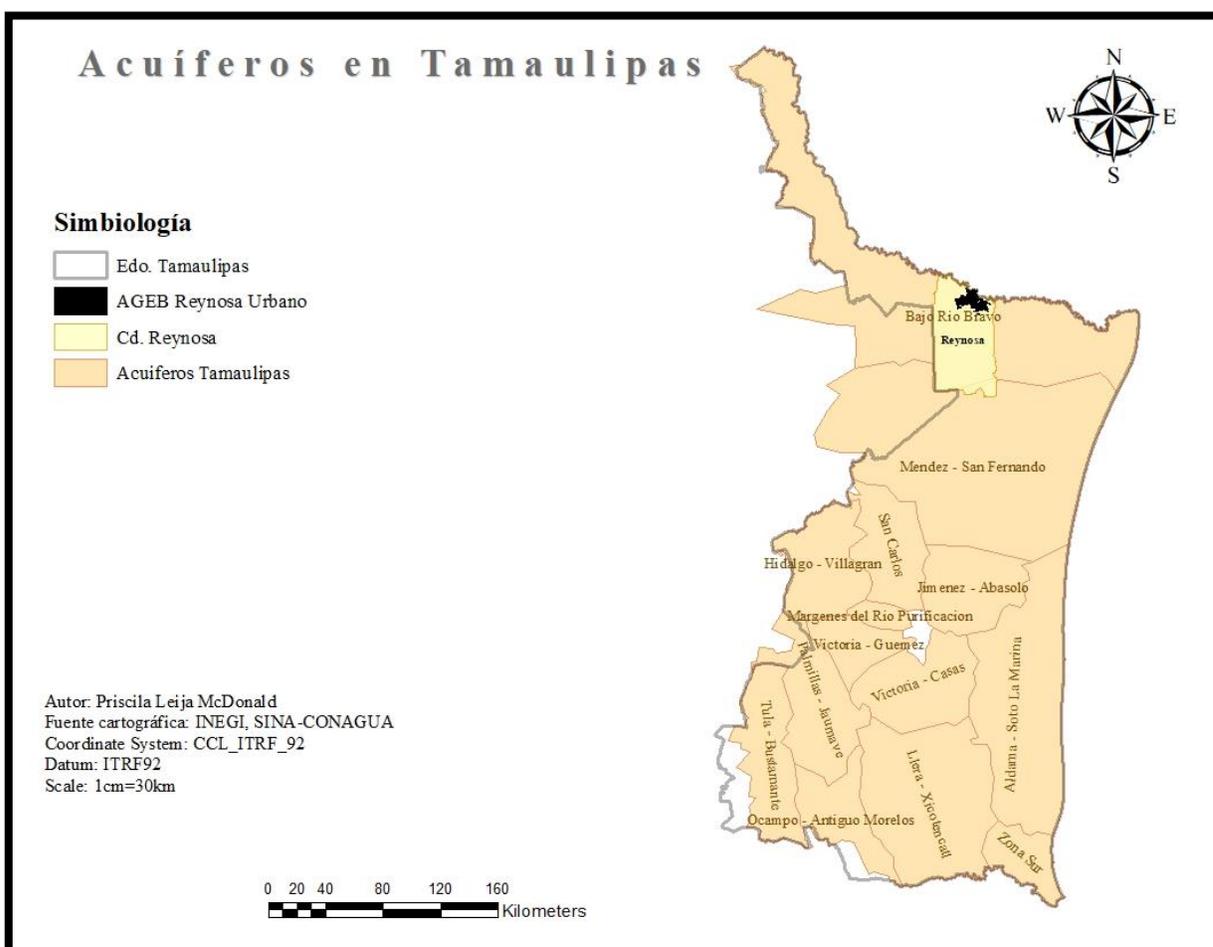
<sup>25</sup> Agua sin tratamiento que fluye a través de cuerpos naturales o artificiales (ríos y canales).

<sup>26</sup> Tablero y Evaluación de COMAPA de Reynosa, 2017;

<sup>27</sup> (2802) Clave del acuífero en el sitio REDPA.

recarga es de 15.70 y 50.10 hm<sup>3</sup>/ anuales respectivamente<sup>28</sup> y, la disponibilidad media anual – según datos del 2016- es de 18.31 hm<sup>3</sup>. Finalmente el número total de aprovechamientos o pozos es de 833. En el siguiente mapa (Mapa 4) se presenta la georreferenciación de los acuíferos en territorio tamaulipeco.

**Mapa 4.** Acuíferos en Tamaulipas



### 3.1.4 Panorama del Tratamiento del Agua Residual en Reynosa, Tamaulipas

En materia de saneamiento, la depuración del agua residual<sup>29</sup> se lleva a cabo a través de tres Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR), -Reynosa 1, 2 y 3-, las cuales tratan un caudal

<sup>28</sup> Véase en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuíferos&ver=reporte&o=1&n=nacional>.

<sup>29</sup> Agua proveniente de inodoros y duchas, es decir, aquellos que transportan orina, heces fecales, jabón, productos de limpieza, grasas y aceites. Adicionalmente si el agua es de origen industrial, ésta puede contener contaminantes tales como gasolinas, pinturas, ácidos, metales pesados (plomo, arsénico, mercurio, etc), entre otros.

promedio de 1,098 l/s<sup>30</sup>. La PTAR No.1 (Figura 5) se ubica al oriente de la ciudad sobre la carretera Reynosa-Río Bravo en el km 3.5; delimitada al norte, por el margen del río Bravo aproximadamente a 10 km del puente internacional, al sur por las vías del Ferrocarril a Matamoros y al Canal Anzaldúas, y al poniente por las colonias Industrial, Paraíso, Delicias y Ampliación Delicias.

Fue construida en el año de 1970 y en su diseño original (sistema lagunar) se consideró la instalación de un tanque Imhoff <sup>31</sup>, el cual llevaría a cabo la digestión anaerobia<sup>32</sup> de los lodos removidos para su correcta estabilización y disposición; sin embargo, para 1980 se encontraba fuera de servicio. En 1999 y con el objetivo de dar tratamiento al agua y al lodo residual removido, se realizaron algunas modernizaciones incorporando a las lagunas de estabilización existentes (anaerobias y facultativas), la construcción de cinco lagunas de pulimento o también llamadas de maduración. Al conjunto de estas unidades se le conoce como sistema lagunar de estabilización<sup>33</sup>.

En aquel momento, el organismo operador optó por este sistema debido a los bajos costos que implicaba la construcción de las lagunas, así como a los mínimos requerimientos operacionales y de mantenimiento, debido a que sólo era necesaria la observación visual y olfativa para estimar un eficiente o deficiente estado operativo. No obstante, el acelerado crecimiento industrial que se registró en la ciudad de Reynosa a mediados del año 2004 promovió en gran medida la generación de nuevos empleos, la migración y con ello, la necesidad de requerir unidades de tratamiento más especializadas y con mayor capacidad de depuración.

En el año 2005, la COMAPA dejó de estar bajo el control del gobierno del Estado a petición del entonces alcalde Reynosense Francisco Javier García Cabeza de Vaca (2004-

---

<sup>30</sup> Estimación de acuerdo al volumen de operación (l/s) anual de los tres sistemas depuradores.

<sup>31</sup> Es un tanque de plástico o de fibra de vidrio con dos compartimentos (sedimentador y digestor de lodos). Trascorridos algunos días los lodos comienzan a descomponerse produciendo gases por lo que es importante mantenerlos alejados de la población. Son muy útiles para tratar el agua en comunidades pequeñas (no más de 5,000 habitantes). El agua residual tratada se puede recuperar siempre y cuando esta sea sometida a un tratamiento secundario.

<sup>32</sup> Descomposición del sustrato orgánico degradable en ausencia de oxígeno disuelto libre que genera biomasa rica en metano (CH<sub>4</sub>) 40-60 % y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 10-20 %.

<sup>33</sup> Se le llama así al conjunto de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. Son parecidas a los humedales, no obstante estas reciben mayor cantidad de carga orgánica. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas con taludes de tierra, generalmente tienen forma rectangular o cuadrada y para su construcción requiere de grandes dimensiones de terreno.

2007)<sup>34</sup>. Los cambios administrativos y de reestructuración en el organismo operador –ahora municipal- promovieron la participación privada, principalmente, en el tratamiento de aguas residuales.

Tecnología Intercontinental (TICSA) S.A de C.V ganó la licitación en el año 2013 por 20 años para tratar el agua, conservar y dar mantenimiento a las dos plantas tratadoras de aguas residuales *Reynosa 1 y 2* <sup>35</sup>. Sin embargo, después de una gran negociación a finales del 2013 principios del 2014 se inició la construcción de una nueva planta de tratamiento, la cual incluía un diseño de operación de 1,000 lps y un avanzado sistema de depuración sustituyendo al sistema lagunar existente. El grupo consultor TICSA a través de la COMAPA determinó que de acuerdo con los resultados de laboratorio realizados y emitidos en el año 2013, era necesario prescindir del sistema lagunar anterior por un nuevo sistema de tratamiento de lodos activados. No obstante, a largo plazo se tenía contemplada la biorremediación y mantenimiento a las lagunas de estabilización existentes, con el propósito de reincorporarlas al nuevo sistema de tratamiento (**Anexo C**).

Es importante mencionar que para los expertos en tratamiento de agua es de vital importancia conocer la procedencia de las descargas. Por ende, el primer paso implicaba caracterizar física, química y biológicamente al agua residual, con el propósito de identificar cada uno de los componentes contaminantes. De manera ilustrativa, en el siguiente cuadro (Cuadro 3) se presentan los parámetros, resultados y metodologías empleadas para identificar los componentes orgánicos e inorgánicos y bacteriológicos presentes en el agua residual. Dicho análisis fue realizado en abril del 2017 de acuerdo con información del personal de la COMAPA; semestralmente se monitorea la calidad química del agua a la entrada (influyente) y salida (efluente) de la planta No.1 y posteriormente; se coteja con los resultados emitidos por el personal de TICSA. El laboratorio que realiza dichos análisis debe de ser externo al personal que opera la planta y contar con las certificaciones y permisos expedidos por la Comisión Nacional del Agua (CNA-GCA-1563), la Entidad Mexicana de Acreditación A.C (EMA) y por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS).

---

<sup>34</sup> Véase en: <http://poarchivo.tamaulipas.gob.mx/periodicos/2008/0308/pdf/cxxxiii-38-260308F-REYNOSA.pdf>

<sup>35</sup> Véase en: <http://www.comapareynosa.gob.mx/resources/other/transparencia/licitaciones/resultados/resultados-licitacion-obras-2013.pdf>

**Cuadro 3. Análisis de laboratorio: Calidad Química del Agua Residual (PTAR No.1)**

<b>Laboratorio Certificado : ONSITE LABORATORIES DE MÉXICO S.A de C.V</b>							
Fecha de muestreo: 25/04/2017							
Parámetro	Metodología	Unidades	Muestra	Resultado	Muestra	Resultado	Límites Máx. Permisibles NOM-001-SEMARNAT-2002- Embalses naturales y artificiales.
Nitritos	EPA 300.1-1993	mg/L	<b>I N F L U E N T E</b>	<0.2	<b>E F L U E N T E</b>	<b>No disponible</b>	
Nitratos	EPA 300.1-1993	mg/L		15.78			
Cianuros totales	NMX-AA-058-SCFI-2001	mg/L		<0.02			1
DQO Total	NMX-AA-030/2-SCFI-2011	mg/L		494.09			
Fosforo (Total e Inorgánico)	NMX-AA-029-SCFI-2001	mg/L		3.28			5
Grasas y Aceites	NMX-AA-005-SCFI-2005	mg/L		25.1			15
Materia Flotante	NMX-AA-006-SCFI-2010	mg/L		Ausente			Ausente
Nitrógeno Total Kjendhal	NMX-AA-026-SCFI-2010	mg/L		15.78			15
pH	EPA-150-1980	UpH		7.13			
Sólidos sedimentables	NMX-AA-004-SCFI-2013	mg/L		<1			1
Sólidos Suspendidos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2015	mg/L		45			40
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000	°C		28			40
DBO5 total	NMX-AA-028-SCFI-2001	mg/L		205			30
Arsénico	NMX-AA-051-SCFI-2001	mg/L		<0.001			0.10
Cobre	NMX-AA-051-SCFI-2002	mg/L		0.22			4
Cromo total	NMX-AA-051-SCFI-2003	mg/L		<0.05			0.5
Mercurio	NMX-AA-051-SCFI-2004	mg/L		<0.001			0.005
Níquel	NMX-AA-051-SCFI-2005	mg/L		<0.05			2
Plomo	NMX-AA-051-SCFI-2006	mg/L		<0.1			0.2
Zinc	NMX-AA-051-SCFI-2007	mg/L		0.12			10
Cadmio	NMX-AA-051-SCFI-2008	mg/L	<0.05	0.1			
Coliformes fecales	NMX-AA-028-SCFI-2001	NMP/100mL	24,000	240			
Huevos de helminto	NMX-AA-113-SCFI-2012	Huevos/L	<1	>1			

Fuente: Comapa de Reynosa, coordinación de Proyecto Integral de Saneamiento, 2017

Una vez realizada la caracterización química del agua, se debe seleccionar la tecnología adecuada y la configuración de la infraestructura del proceso de tratamiento que garantice la remoción total de dichos contaminantes. Existe literatura que detalla las funciones y características, ventajas y desventajas de operación de cada tecnología, así como, arreglos o acomodos de infraestructura pre-establecidos que han utilizado países norteamericanos<sup>36</sup> y europeos para tratar sus aguas. Para la PTAR No.1, -con base a los análisis de laboratorio realizados- el grupo consultor optó por un nuevo sistema de lodos activados con eliminación biológica de nitrógeno o también denominada desnitrificación biológica. En el apartado metodológico 8.3 se describe a detalle la tecnología de tratamiento, infraestructura, variables de operación, volúmenes de tratamiento, descarga de agua residual tratada, las modificaciones o ajustes en la operación y finalmente, el tratamiento y disposición final del lodo residual.

<sup>36</sup> Canadá y Estados Unidos,

La Planta Tratadora de Aguas Residuales No.2 (Figura 7), se ubica al suroeste de la ciudad a los 26°02'19.68" latitud norte y 98°19'36.48" longitud oeste. Colinda al norte con el canal "Guillermo Rhode", el centro recreativo "5ta Blayser" y el Fracc. Paseo del Prado; al este con la Quinta "La Anacua"; al oeste con el Fracc. Puerta del Sol y Lomas Real de Jarachina Sur y al Sur con el Ejido "El Ebanito" y Ej. "El Bienestar

Fue construida en el año 2010 con financiamiento bipartito de la CONAGUA y la COMAPA de Reynosa. Para su operación se utiliza un sistema aeróbico natural de filtros percoladores del tipo soporte sólido no sumergido. Esta unidad depuradora cuenta con una capacidad de diseño de 750 l/s, sin embargo trata un caudal de operación medio anual de 196 l/s. En el año 2016, la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) a través del Banco de Desarrollo de América del Norte (BDAN) financió el 45.2 por ciento para la construcción de dos nuevos módulos de tratamiento con una capacidad de 250 l/s cada uno<sup>37</sup>.

Análogamente, la CONAGUA aportó el 54.8 por ciento del capital total. Actualmente la PTAR No.2 sólo opera con un tren de tratamiento, es decir, 250 l/s de los 750 l/s propuestos. Al inaugurar la obra el personal operativo de TICSА y de la COMAPA se percató de algunas deficiencias en el diseño de los tanques sedimentadores secundarios. Actualmente trabajan en resolverlos, por lo que se estima que a finales del 2018 principios del 2019 el sistema depurador opere a su máxima capacidad.

Es importante mencionar que desde noviembre del 2016, la COMAPA recuperó el control total de la operación y mantenimiento de la planta No.2. El grupo consultor TICSА, ahora denominado Ecosistemas de Reynosa S.A de C.V sigue a cargo de la operación total y mantenimiento de la planta No.1. En el apartado 8.4 se describe a detalle la tecnología de tratamiento, infraestructura, variables de operación, volúmenes de tratamiento, descarga de agua residual tratada, las modificaciones o ajustes en la operación y finalmente, el tratamiento y disposición final del lodo residual.

La Planta Tratadora de Aguas Residuales No.3 (Imagen 1), se ubica al sureste de la ciudad en el Blvd. Las Pirámides y Av. Turco; en el Fracc. Las Pirámides. La localización

---

<sup>37</sup> Véase en:

[http://server.cocef.org/CertProj/Spa/BD%20201604%20Reynosa%20WW%20Certification%20Proposal%20\(Span\)\\_PUBLIC.pdf](http://server.cocef.org/CertProj/Spa/BD%20201604%20Reynosa%20WW%20Certification%20Proposal%20(Span)_PUBLIC.pdf)

geográfica comprende los 25°56'29.76 latitud norte y 98°15'43.2" longitud oeste. Colinda al norte con los fraccionamientos Valle Soleado, Río Grande y los Almendros; al este con el Fracc. Las Pirámides; al oeste con el Hospital Regional IMSS 270 y el Autódromo Reynosa y al Sur; con el parque eólico "El Cortijo".

**Imagen 1.** Planta Tratadora de Aguas Residuales No.3 (vista aérea).



Fuente: Google Earth, 2018

En entrevista con el personal del organismo operador se obtuvo como información que no hay supervisión ni vigilancia en el control del proceso y mantenimiento. La Coordinación del Programa Integral de Saneamiento (PIS) de la COMAPA no posee datos ni versiones actualizadas de las condiciones actuales de esta unidad depuradora, así mismo, argumentan que debido al reciente cambio de administración (2016-2018) mucha de la información está incompleta e incluso extraviada. Se hace alusión a esta tercera unidad de tratamiento debido a que forma parte de un conjunto de unidades depuradoras, sin embargo al no existir datos para su análisis se omite por completo en el estudio de metabolismo urbano de la ciudad de Reynosa.

Finalmente, para concluir con la descripción del sistema de saneamiento abordaremos a las unidades de subcolección de agua "negra"-también descritos como auxiliares a la red primaria de alcantarillado o colector principal-. Estas unidades denominadas Estaciones de Bombeo de Agua Residual (EBAR) son las responsables de coleccionar y direccionar el agua residual desechada por la población, industria y comercio hacia las PTAR's.

La calidad del agua residual vertida debe cumplir con la NOM-002-SEMARNAT-1996; la cual establece los límites máximos permisibles de los contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. En el siguiente cuadro se describen las 36 EBAR's, la clasificación de los sistemas de colección y la unidad depuradora receptora (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales en Reynosa, Tamaulipas

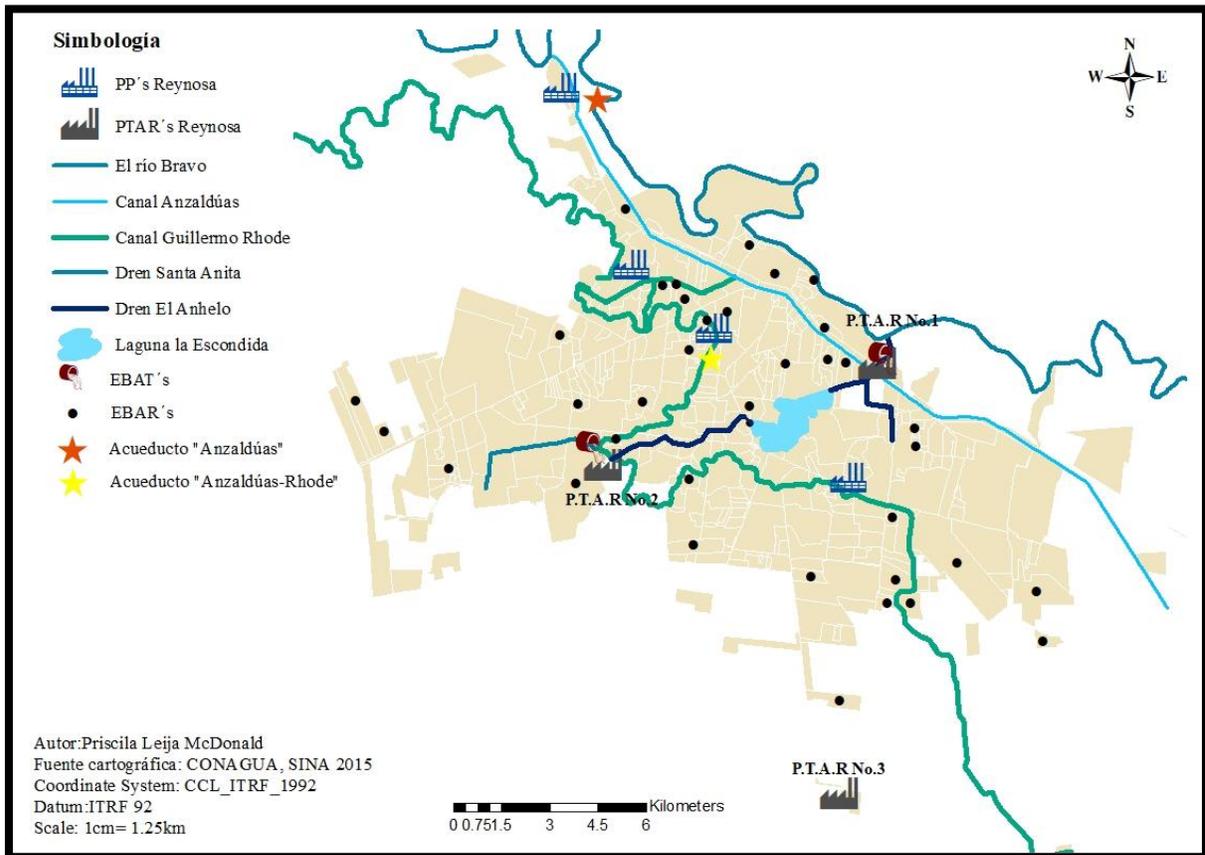
<b>Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (E.B.A.R's) en Reynosa, Tamaulipas</b>				
<b>Localización por sector</b>	<b>Sistema de colección de las E.B.A.R</b>		<b>PTAR receptora</b>	
	<i>Secundarios</i>	<i>Primarios</i>	<i>PTAR No. 1</i>	<i>PTAR No. 2</i>
Rancho Grande	15		▼	
Haciendas				
Cavazos				
Granjas	17, 20, 26, 35, 38, 40	22		▲
Poniente	5,6, 11, 12, 36	30		▲
Centro	,2, 3, 7, 8, 27	1, 13	▼	
Juárez-Poniente	16, 32, 33, 34			
Juárez- Oriente	14, 23, 31, 37, 39, 41	10	▼	
Oriente	9, 28, 29	4	▼	

Fuente: Elaboración propia con base a información proporcionada por la Comapa de Reynosa, 2017

En la información mostrada es necesario mencionar que los sectores “Rancho Grande y “Oriente” colectan sólo una parte del agua residual generada. Justamente en esos sectores existe gran afluencia del sector maquilador, -principalmente industrias eléctricas, automotrices y mineras (ver Mapa 2) -. Por otro lado, en los sectores de las “Haciendas” y “Los Cavazos”, los cuales se ubican en la zona periurbana de la ciudad en los límites del río bravo, no se colecta el agua residual generada por la población y por la industria automotriz y eléctrica.

De manera complementaria se exhibe la representación cartográfica de los sistemas de colección, producción de agua potable (PP), EBAR's, plantas tratadoras (PTAR's) y EBAT's con el propósito de visualizar y comprender gráficamente la localización y distribución de dichos sistemas. A su vez, se exhiben los canales, ríos, drenes y obras de toma o acueductos de la ciudad (Mapa 5).

**Mapa 5.** Sistema de agua potable y saneamiento en Reynosa, Tamaulipas.



### 3.2. Delimitación de la problemática

Las aguas residuales en Reynosa, Tamaulipas se han convertido en una problemática latente debido a los vertimientos crudos<sup>38</sup> y al aumento -tanto en volumen y concentración- de los contaminantes orgánicos e inorgánicos procedentes de la industria manufacturera en los sistemas de alcantarillado. Esta situación conduce al declive y deficiencia de los sistemas de depuración de aguas residuales y con ello, la disminución en la calidad del agua tratada. La PTAR No.2 envía parte de las aguas generadas por la zona suroeste (mayor presencia de industria manufacturera) y lodos residuales producidos *in situ*<sup>39</sup> hacia la PTAR No.1 debido a

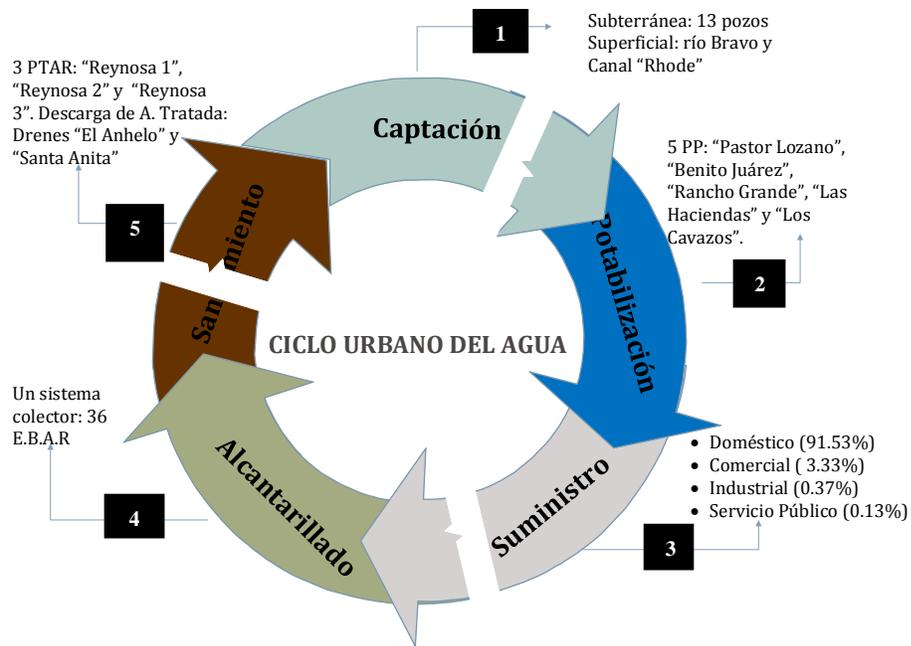
<sup>38</sup> Falta de colección de agua residual urbana.

<sup>39</sup> Loc. Lat., Joc, adv. En el lugar, en el sitio. Diccionario de la Real Academia Española (RAE) Online. Véase en: <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=in%20situ>

la falta de infraestructura; situación que origina un gasto energético adicional en los digestores aerobios<sup>40</sup> para estabilizar los lodos de la PTAR No. 2.

De continuar esta situación puede generar una disminución en la calidad de vida para las personas debido a que el agua tratada es descargada en el dren “Santa Anita”, el cual desemboca en el canal “Rhode”. Este cuerpo receptor artificial es a su vez, la principal fuente de abastecimiento para el sector agrícola es decir, para los distritos de riego 025 y 026 y para el sector doméstico debido a que la Planta Potabilizadora “Benito Juárez” potabiliza el agua tratada procedente del canal “Rhode” para abastecer a la población (Ver Mapa 5). Indiscutiblemente, un tratamiento inadecuado reflejará efectos secundarios, principalmente afectaciones a la salud, a la alimentación y al medio ambiente generando un entorno de insostenibilidad en relación a la gestión del Ciclo Urbano del Agua (Figura 1).

**Figura 1.** Ciclo Urbano del Agua en Reynosa, Tamaulipas



Fuente: Elaboración propia con base a los criterios de Marsalek, et al., 2007.

<sup>40</sup> Son tanques rectangulares abiertos en los que se lleva a cabo la aireación del lodo residual por un largo periodo de tiempo. El objetivo es estabilizarlo, es decir, reducir su volumen y la atracción de vectores para posteriormente someterlo a procesos de deshidratación y finalmente, confinarlo en sitios permitidos denominados monorrellenos.

### *3.3 Preguntas de investigación*

Con respecto a la situación actual del tratamiento de las aguas residuales en la ciudad, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo la identificación y estimación de los flujos metabólicos urbanos podrían contribuir a mejorar y corregir la tendencia lineal del Ciclo Urbano del Agua?

#### *3.3.1 Pregunta secundaria*

¿Cómo la evaluación energética en los procesos de saneamiento permitirá identificar las deficiencias en el Ciclo Urbano del Agua Residual?

## **IV. OBJETIVOS**

### *4.1.- Objetivo general*

Identificar mecanismos para transformar la tendencia lineal del Ciclo Urbano del Agua y su nexo energético a través de un enfoque de metabolismo urbano en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas.

### *4.2.- Objetivos específicos*

1. Estimar a partir de un balance hídrico local (entradas y salidas), el volumen total de agua residual generada, energía asociada y emisiones producidas en el CUAR.
2. Evaluar la funcionalidad de la tecnología de tratamiento de agua residual a fin de conocer la capacidad de remoción de contaminantes y la oportunidad de aprovechar energéticamente la materia orgánica producida (biomasa).
3. Aportar un marco de referencia local en el que el estudio del metabolismo urbano se emplee como una herramienta que permita conocer la sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento en las ciudades medias.

## **V.- JUSTIFICACIÓN**

La conceptualización de metabolismo urbano aporta un marco de referencia para analizar a las ciudades a partir de sus flujos o rutas metabólicas. Actualmente no existen suficientes estudios en los que se analice la conexión entre los flujos de agua y energía y en menor medida aquellos especializados en identificar los “fragmentos” o subsistemas en el que está conformado. Por tal motivo y en aras de coadyuvar con la sustentabilidad de la ciudad de Reynosa, se adapta este concepto con el propósito de identificar y estimar los flujos agua, agua residual y energía que integran el ciclo urbano de agua residual de la ciudad de Reynosa y a su vez, cómo la estimación de éstos flujos podría mejorar y corregir el enfoque lineal del ciclo urbano del agua.

## **VI. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL**

### *6.1 Teoría General de Sistemas*

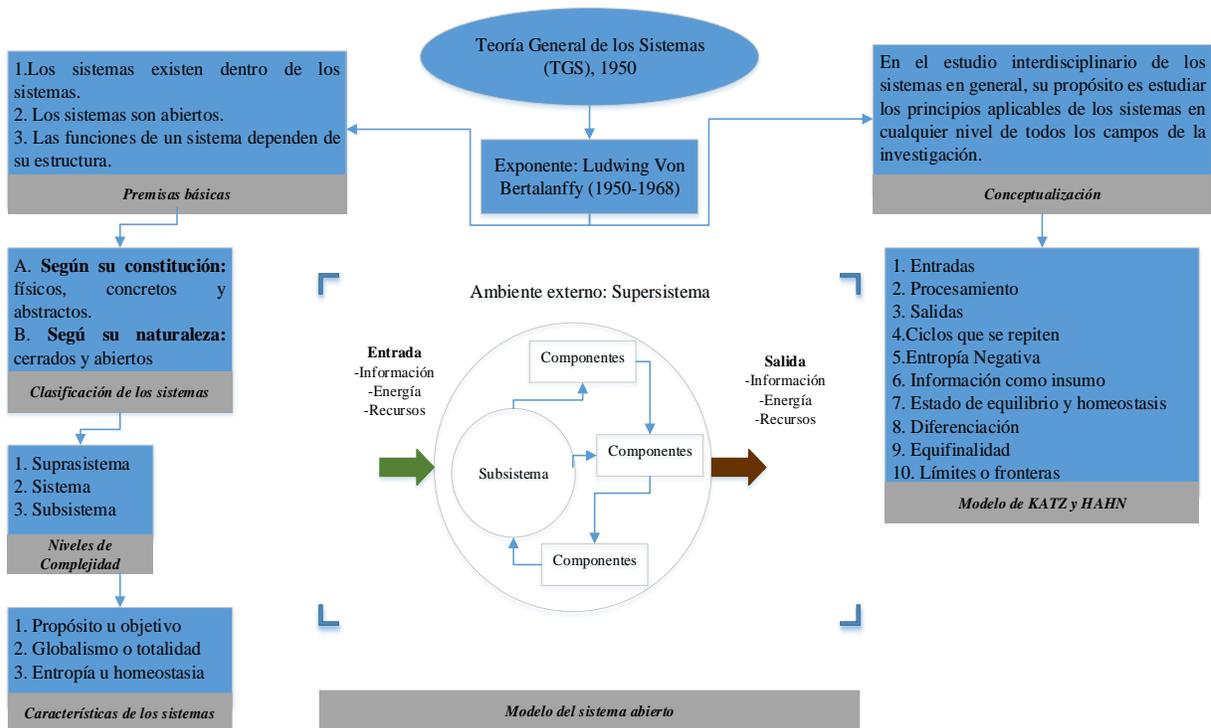
Las características que aportan esencialidad a los ecosistemas urbanos son sin lugar a dudas, el volumen de energía que viaja por fuera de los organismos vivos, la energía que hace funcionar el sistema (la ciudad) y la enorme movilidad horizontal que permite estudiar a otros ecosistemas y sus factores interactuantes.

Partiendo de esta noción se puede atribuir que un sistema urbano puede ser estudiado y modelado a partir de la Teoría General de Sistemas (TGS) y en el análisis de los intercambios de materia, energía e información dentro de sí y con el medio circundante. Esto es posible debido a que el “complejo de sus elementos interactuantes puede ser matemáticamente distinguido de acuerdo a su número, sus especies y las relaciones entre elementos” (Bertalanffy, 1976: 54).

Según Marcelo Arnold “la TGS ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades”- (Arnold, M & Osorio, F. 1998: 40), La primera concepción de esta noción es atribuible al biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), quien acuñó la denominación "Teoría General de Sistemas" en 1950. Para él, la TGS debería constituirse en un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y ser al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación del científico (Arnold, M y Osorio, F. 1998). A manera de ejemplificar el estudio de la presente teoría, se exhibe el presente figura (Figura 2) destacando algunos puntos importantes que integran y describen a la Teoría General de Sistemas propuestos por Bertalanffy en 1976.

Aunque la teoría no reconoce limitaciones, sus raíces están en el área de los sistemas artificiales (maquinaria) y en los naturales (organismos). “Mientras más equivalencias reconozcamos entre organismos, máquinas, hombres y formas de organización social, mayores serán las posibilidades para aplicar correctamente el enfoque de la TGS” (Arnold, M y Osorio, F. 1998:41).

**Figura 2. Teoría General de Sistemas**



Fuente: Elaboración propia con base a criterios de Ludwig Von Bertalanffy, 1976. Teoría General de Sistemas; fundamentos, desarrollo y aplicaciones. Fondo de Cultura Económica, México

Dentro de los conceptos básicos que adopta la teoría, definiremos- para efectos del presente trabajo- las nociones de sistema, energía, sistemas abiertos y subsistema con la finalidad de comprender e identificar los elementos presentes en un entorno urbano; para posteriormente estudiarlo -a través de sus flujos- en un contexto de metabolismo urbano. Es importante mencionar que las definiciones son conceptualizaciones hechas por (Arnold, M y Osorio, F. 1998) en su obra “Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistema”.

- *Sistema:* Comprende una metodología para la construcción de modelos de sistemas sociales, que establece procedimientos y técnicas para el uso de lenguajes formalizados, considerando en esta clase a sistemas socioeconómicos, sociológicos y psicológicos, pudiendo aplicarse también sus técnicas a sistemas ecológicos. Esta tiene los siguientes pasos: a) observación del comportamiento de un sistema real, b) identificación de los

componentes y procesos fundamentales del mismo, c) identificación de las estructuras de retroalimentación que permiten explicar su comportamiento, d) construcción de un modelo formalizado sobre la base de la cuantificación de los atributos y sus relaciones.

- *Energía*: la energía que se incorpora a los sistemas se comporta según la ley de la conservación de la energía, lo que quiere decir que la cantidad de energía que permanece en un sistema es igual a la suma de la energía importada menos la suma de la energía exportada (entropía, negentropía).
- *Sistemas abiertos*: Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, nutrientes y agua) de sus ambientes y esta es una característica propia de todos los sistemas vivos. Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su ambiente, intercambios que determinan su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir, su viabilidad (entropía negativa, teleología, morfogénesis, Equifinalidad).
- *Subsistema*: se entiende por subsistemas a conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. En términos generales, los subsistemas tienen las mismas propiedades que los sistemas (sinergia) y su delimitación es relativa a la posición del observador de sistemas y al modelo que tenga de éstos. Desde este ángulo se puede hablar de subsistemas, sistemas o supersistemas, en tanto éstos posean las características sistémicas (sinergia).

## 6.2 *Metabolismo urbano: la simbiosis entre lo natural y lo artificial.*

La estrategia de analizar a la ciudad con base a elementos comunes presentes en el sistema natural –desde la lógica de la Teoría General de Sistemas (TGS) y los principios de conservación de materia y energía- permite concebirla como una unidad de intercambio capaz de recibir, procesar y desechar flujos de materiales (nutrientes, energía y residuos), agua, gases, alimentos e información.

El empleo del término *metabolismo* surge por primera vez en el siglo XIX, cuando Karl Marx y Friedrich Engels lo aplicaron a la sociedad dentro de los fundamentos de la teoría social. Sin embargo, en 1852 Jacob Moleschott adoptó y describió al metabolismo, como un intercambio de materia entre un organismo y su ambiente (Moleschott, 1852). Para 1860, la cobertura conceptual de esta noción implicaba también a procesos materiales y energéticos dentro de la sociedad (Fischer-Kowalski, 1998).

Cien años más tarde y con base a las aportaciones de dichos intelectuales, surge la idea de explorar a las ciudades como “organismos vivos” la cual fue propuesta por primera vez por el sociólogo estadounidense Lewis Mumford en 1961<sup>41</sup> para analizar y explicar el funcionamiento biofísico de las ciudades. Argumentó que esta “segunda naturaleza se caracteriza por tener una tasa metabólica muy intensa por unidad de área pues demanda crecientes flujos de energía y genera fuertes flujos de desecho” (Mumford, 1961 & Lefebvre, 1976).

Sin embargo, el primer estudio formal del concepto metabólico urbano fue conducido por Abel Wolman en 1965, en su obra *The Metabolism of Cities* argumentando que “son todos los materiales y materias primas necesarias para mantener los habitantes de una ciudad, en una casa, en el trabajo y en el juego”. La idea de metabolismo urbano la propuso por primera vez como un medio para abordar simultáneamente el entonces claro problema de la escasez de agua y la contaminación del agua y el aire (Wolman, 1965).

La transcendencia de este concepto se debe a la aplicabilidad empírica que realizó Wolman en una ciudad estadounidense hipotética de un millón de habitantes. Sus

---

<sup>41</sup> *La ciudad en la historia*, obra publicada en 1961 por el sociólogo estadounidense Lewis Mumford, en la que hace alusión a las ciudades como “organismos vivos”.

investigaciones revelaron que la población dependía de 625.000 *tonnes*<sup>42</sup> (t) / día (0.6t / persona (persona) al día (cap \* d)) de agua que entraba “silenciosamente y sin ser vista”. A su vez, el vital líquido fue identificado como el flujo material dominante de la ciudad.

En relación a la producción de aguas residuales, la ciudad originó alrededor de 500.000 tonnes / día (0.5 t / (cap \* d)). Asimismo, el consumo total de combustible fue de aproximadamente 9.500 t / día, que incluyeron 3.000, 2.800, 2.700, 1.000 t / día de carbón, petróleo, gas natural y combustible de motor, respectivamente. Finalmente la ingesta de alimentos fue de alrededor de 2.000 t / día (Kenway, 2012: 50).

Al examinar los procesos de entrada y salida de los sistemas urbanos, Wolman descubrió que a medida en que aumenta la escala de una ciudad, la provisión de agua y energía a los residentes, así como la contaminación atmosférica se convertirían en los tres problemas más serios (Wolman, 1965). De manera complementaria, las aportaciones de Scott Cook enriquecen a la presente conceptualización metabólica como “el proceso por medio del cual los miembros de toda sociedad se apropian y transforman ecosistemas para satisfacer sus necesidades y deseos” (Cook, 1973: 31).

Dicha filosofía es compartida y analizada por de Christopher A. Kennedy en su publicación: *The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design*, asume que “las ciudades son más complejas que los organismos individuales y a su vez el hogar de múltiples organismos-humanos, animales y vegetación...por lo tanto la idea de que las ciudades son como ecosistemas también es apropiada” (Kennedy et al., 2010: 1965).

Por otro lado, la concepción de Ethan H. Decker atribuye que “las ciudades transforman las materias primas, el combustible y el agua en el medio ambiente construido, la biomasa humana y los residuos” (Decker et al., 2000:715). En este sentido Toledo asume que un sistema “implica el conjunto de procesos por medio de los cuales los seres humanos organizados en sociedad, independientemente de su situación en el espacio – formación social – y en el tiempo – momento histórico -, se apropian, circulan, transforman, consumen y excretan materia y/o energía provenientes del mundo natural” (Toledo, 2008: 3).

---

<sup>42</sup> Tonnes (*francés antiguo*) o Tonelada métrica: es una unidad de masa equivalente a la masa de un metro cúbico de agua dulce. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/tonne>

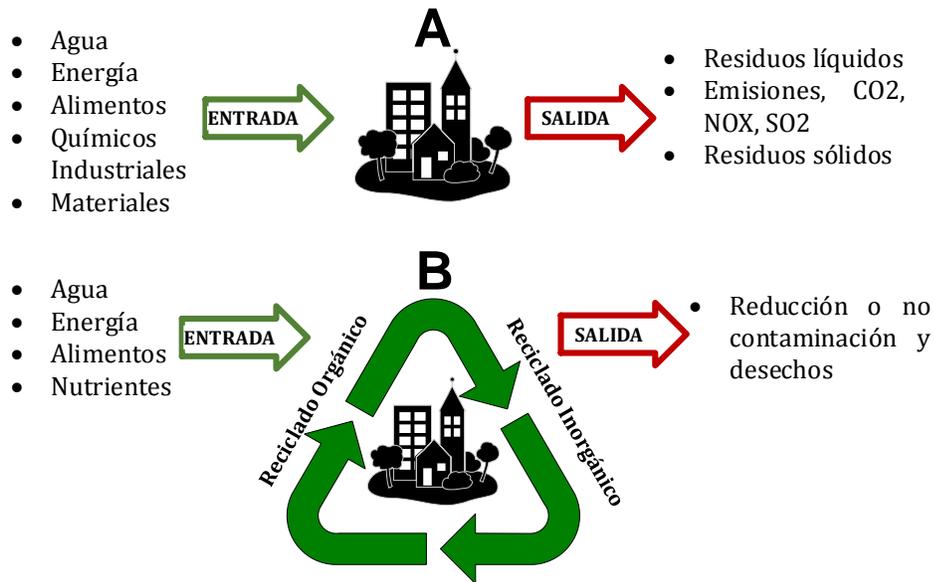
Hoy en día, las ciudades experimentan fenómenos expansivos asociados al crecimiento urbano y migración fomentando gran preocupación entre la comunidad científica, debido a la presión que se ejerce sobre los recursos naturales con el propósito de suplir las necesidades de la sociedad asociadas a la demanda de agua y energía. Adicionalmente, las actividades productivas de diversos sectores económicos (energético, industrial, minero y agrícola) contribuyen en mayor medida a un estado de estrés hídrico en el que el abatimiento de las aguas subterráneas y la disminución de cauces naturales (ríos, lagunas, esteros, etc) generan dificultades al momento garantizar el abasto de tan preciado líquido.

Asimismo, los contaminantes vertidos a dichos cuerpos receptores naturales –producto de descargas irregulares de industrias y comercios- modifican la calidad química del agua y promueven a la generación y emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), acentuando cada vez más escenarios de escasez e insostenibilidad hídrica. Vladimir Novotny asegura que el nexo entre estos factores afectan a la circulación del metabolismo urbano, convirtiendo así a los sistemas urbanos, en mecanismos lineales (Novotny, 2013)

Evidentemente, Daigger (2009), Novotny (2008) y otros están de acuerdo en que el enfoque "lineal" actual de las ciudades a veces denominado "take, make, waste approach" en la literatura se ha vuelto insostenible y no puede continuar... los sistemas lineales resultan en una producción mucho más contaminante y necesitan más recursos (agua, aire, suelo y paisaje) para la dilución y asimilación de residuos que en un sistema semi-cerrado basado en las tres R's –reducción, reutilización y reciclado". (Figura 3).

Desde el punto de vista de la fisicoquímica como ciencia exacta, Sahely considera que “en su forma más simple, el metabolismo urbano considera los balances de masa de todos los materiales en los sistemas urbanos” (Sahely et al; 2003:472). En el año 2014, en su trabajo *Developing a multi-layered indicator set for urban metabolism studies in megacities* Kennedy manifiesta que “la metodología para realizar estudios de metabolismo urbano invoca a los principios de conservación de masa y energía” (Kennedy et al., 2014: 9). A su vez, asume que esto implica cuantificar todos los flujos de masa y energía dentro y fuera de una ciudad.

**Figura 3.** Sistema metabólico urbano lineal (A) y cíclico (B)



Fuente: Elaboración propia con base en los criterios de Novotny *et al.* 2010. Water Centric Sustainable Communities.

La aplicación de casos prácticos en núcleos urbanos surgió después de la celebración de la Cumbre de la Tierra de Estocolmo en el 72<sup>43</sup>. El primero de ellos tuvo lugar en la ciudad de Tokyo (Hanya & Ambe, 1975), el segundo en Bruselas (Duvigneaud & Denayeyer-De Smet, 1977) y finalmente en Hong Kong (Newcombe, Kalma, & Aston, 1978).

Afortunadamente, el empleo y la cobertura metodológica de este concepto se han enriquecido, posibilitando así, la adaptación o apropiación del enfoque hacia otras ciudades. Tal es el caso de Caral, Perú (Fernández, 2010); Phoenix, Arizona (Ferrel, Spierre, & Chester, 2012); Queensland, Australia (Kenway, 2013); Mumbai, India (Reddy, 2013); Oslo, Noruega (Venkatesh, Sægrov, & Brattebø, 2014) y Bruselas, Bélgica (Athassiadis, Bouillard, Crawford, & Khan, 2016). En el cuadro (Cuadro 5) se detallan las contribuciones realizadas en años recientes en algunas ciudades –principalmente europeas y norteamericanas. Debido a la

<sup>43</sup> La “Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano” (CNUMH), también conocida como conferencia de Estocolmo, fue una conferencia internacional convocada por la Organización de las Naciones Unidas celebrada en Estocolmo, Suecia entre el 05 y el 16 de junio de 1972. Fue la primera gran conferencia de la ONU sobre cuestiones ambientales internacionales, la cual marcó un punto de inflexión en el desarrollo de la política internacional del medio ambiente. Contó con la asistencia de 113 países, 19 organismos intergubernamentales y más de 400 organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales (Baylis John; Smith Steve; 2005. *La globalización de la política mundial* ((3ª ed.), Oxford. P.454-455).

naturaleza de la presente investigación sólo se exhiben 28 aportaciones de corte cuantitativo que integran el estudio de flujos de agua, agua residual y energía.

**Cuadro 5.** Revisión cronológica de los estudios de metabolismo urbano 1965-2016. (Kennedy et al; 2011)

**Revisión cronológica de los estudios de metabolismo urbano 1965-2016. (Kennedy et al., 2011)**

Autor (año)	Ciudad o región de estudio	Notas/contribución	Referencias
Wolman (1965)	Ciudad hipotética de 1 millón de habitantes	Estudio seminal	[80]
Zucchetto (1975)	Miami, E.U.A	Aprovechamiento energético	[83]
Stanhill (1977); Odum (1983)	1850s Paris, Francia	Aprovechamiento energético	[72,62]
Hanya & Ambe (1976).	Tokyo, Japón	Aprovechamiento energético	[33]
Duvigneaud & Denayeyer-De Smet (1977)	Bruselas, Bélgica	Incluye balance energético natural	[20]
Newcombe et al. (1978); Boyden et al. (1981)	Hong Kong, China	Estudio holístico del metabolismo urbano	[56]
European Environment Agency (1995)	Praga (Estudio integral del metabolismo), Rep. Checa.	Datos de uso de energía para Barcelona y otras siete ciudades europeas que figuran en el informe.	[23]
Huang (1998)	Taipei, China	Aprovechamiento energético	[36]
Hermanowicz & Asano (1999)		Agua	[34]
Baker et al. (2001)		Agua	[6]
Gandy (2004)		Agua	[29]
Tortajada (2006)	Cd. De México, México	Estudio holístico del metabolismo urbano	[76]
Ngo & Pataki (2008)	Los Angeles, E.U.A	Agua y Energía	[58]
Zhang et al. (2009)	Beijing, China	Aprovechamiento energético	[82]
Thériault & Laroche (2009)	Greater Moncton, Canadá	Agua	[74]
Chen Lin (2009)	Tokyo, Metropolis.		[45]
Browne et al. (2009)	Limerick, Irlanda	Desarrollo de estimaciones para la eficiencia metabólica	[9]
Fernández (2010)	Caral, Perú	Estudio holístico del metabolismo urbano	[25]
Díaz Álvarez (2011)	Bogotá, Colombia	Estudio holístico del metabolismo urbano	[16]
Baynes et al. (2012)	Melbourne, Australia	Aprovechamiento energético	[7]
Ferrel, Spierre, & Chester (2012)	Phoenix, Arizona	Nexus Agua-Energía	[26]
Howard et al. (2012)	New York, USA	Aprovechamiento energético	[35]
Kenway (2013)	Queensland, Australia	Nexus Agua-Energía	[42]
Reddy (2013)	Mumbai, India	Estudio holístico del metabolismo urbano	[67]
Mostafavi et al. (2013)		Desarrollo de herramientas para la aplicación del metabolismo urbano	[53]
Venkatesh G et al. (2014)	Oslo, Noruega	Desarrollo de metodologías para la aplicación del metabolismo urbano (Sistemas de Agua-Agua residuales)	[78]
Hunt Dexter et al. (2014)	Birmingham, Reino Unido	Estudio holístico del metabolismo urbano	[37]
Athanassiadis Aristide et al. (2016)	Bruselas, Bélgica	Estudio holístico del metabolismo urbano	[3]

.Fuente: Actualización y elaboración propia con base a (Kennedy C, Pincetl, Bunje P ;2010).

Independientemente de la concepción de cada uno de los autores anteriormente citados sobre el metabolismo urbano, es de vital importancia hacer énfasis en que la armonía entre uno y otro se centra a partir de elementos comunes; los flujos de materia, energía, agua, sistema urbano y sociedad. Fischer-Kowalski sostiene que el concepto de metabolismo urbano se ha convertido en uno de los paradigmas más poderosos y en los conceptos interdisciplinarios para el análisis empírico de la interacción sociedad-naturaleza (Fischer-Kowalski *et al*, 1998).

### *6.3.- Principios de conservación de materia y energía: el estudio de sus flujos*

La identificación, cálculo y análisis de los flujos de materia y energía constituyen el cimiento para la determinación del metabolismo de un sistema urbano y de sus subsistemas, puesto que con ellos “se puede hacer seguimiento a los movimientos de los bienes y sustancias de una ciudad desde el medio circundante y de abastecimiento, a través de la producción y consumo y de vuelta a los compartimentos aire, agua y suelo”- (Brunner, 2002:8).

Así mismo esta abstracción, permite el conocimiento de la cantidad de trabajo (en términos de energía) que el sistema urbano es capaz de realizar y el trabajo que ejercieron y ejercen los sistemas de abastecimiento. El análisis de estos flujos se fundamenta matemáticamente en los balances de materia y energía, cuya aplicación conceptual se establece desde las Leyes de la termodinámica o Principios de la conservación de la masa y la energía. Tal como lo conciben (Weston y Ruth, 1997:1) infiriendo que “las leyes de la termodinámica proporcionan una base para la cuantificación física de las interacciones entre los sistemas naturales y su entorno”.

El principio de equilibrio de masas, basado en la Primera Ley de la Termodinámica, establece que –“las entradas de masa deben ser iguales a las salidas de masa para cada paso del proceso e implica que los residuos se produzcan inevitablemente como resultado del sistema de transformación de materiales” (Ayres and Kneese, 1969; Ayres, 1998: 21)

Con el propósito de comprender los fundamentos de la Segunda Ley de la Termodinámica asumiremos que en cada transferencia o transformación de energía en un sistema abierto, cerrado o aislado cierta cantidad de energía se convierte en una forma que es inutilizable, es decir, incapaz de realizar un trabajo. En la mayoría de los casos esta energía “improductiva” adapta la forma de calor residual o también llamado calor de desecho. Esta ley

también llamada “ley de entropía” establece que “la entropía de un sistema aislado aumenta y la energía disponible se disipa espontáneamente, es decir que la entropía del universo físico aumenta constantemente porque hay una degradación cualitativa continua e irrevocable del orden en el caos” (Lozada, 1995: 31).

El estudio de los flujos de materia en el contexto del metabolismo – que en el escenario internacional se denomina *Análisis o Contabilidad de Flujos de Materiales* - MFA (por sus siglas en inglés) (Brunner, 2002; Daniels, 2002; Eurostat, 2001) “permite caracterizar un área geográfica como sistema mediante la medición de las magnitudes y localización de los flujos específicos de materiales con relevancia ambiental, con el propósito de monitorear, analizar y gestionar el medio ambiente” (Daniels, 2006). Sintetizando, las ciudades concebidas ya sea como sistemas urbanos, cibernéticos –simbiosis entre lo natural y artificial- complejos o dinámicos o bien como “sistemas vivientes” propuesto por Mumford, indiscutiblemente exhiben procesos metabólicos que para ser analizados pueden expresarse matemáticamente a través de balances de materia y energía.

#### *6.4 Ciclo Urbano del Agua (CUA) en Reynosa, Tamaulipas.*

Las áreas urbanas demandan flujos intensos de agua para su funcionamiento. El agua como elemento imprescindible ligado a la vida, presenta síntomas alarmantes de deterioro en su “ciclo natural” de transformación y regeneración. “Este proceso continuo de precipitaciones, escorrentía, depósito, evaporación, evapotranspiración y nuevamente precipitación, se ve gravemente amenazado por la actividad humana y urbana” (Rodríguez, 2011:1). En otras palabras, hemos “manipulado” el ciclo natural del agua a razón de nuestras necesidades convirtiéndolos en “ciclos urbanos o artificiales”. Este es más rígido y constante en sus demandas y, prácticamente inalterable a la localización y a la estacionalidad.

(Marsalek, 2007) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y Cultura (UNESCO), asumen que -“El ciclo hidrológico se vuelve más complejo en las zonas urbanas, debido a muchas influencias e intervenciones antropogénicas; el ciclo hidrológico "urbano" que resulta se llama entonces el Ciclo Urbano del Agua” (McPherson, 1973; McPherson & Schneider, 1974).

Para el análisis y comprensión del Ciclo Urbano del Agua, algunos académicos como (Hermanowicz y Asano (1999), Thériault y Laroche (2001) y Gandy (2004), han optado en concebirlo en un contexto metabólico urbano, a fin de explicar- a través de balances-, los flujos entrantes y salientes presentes en la ciudad. A su vez, lo resaltan como elemento fundamental para la sostenibilidad de los sistemas urbanos. Con el propósito de estudiar y comprender el CUA de la ciudad de Reynosa, se realiza una adaptación con base a los criterios de Marsalek et al., 2007 se describen las etapas de captación, potabilización, suministro, alcantarillado y principalmente del saneamiento (Figura 1).

Captación: se basa esencialmente en la recolección de agua proveniente de fuentes superficiales o subterráneas. Para ello, se emplean 5 equipos de bombeo de 500Hp (la potencia de los motores dependerá del volumen que se desee extraer). La ciudad cuenta con dos obras de toma, la primera se encuentra ubicada en la periferia del río Bravo denominada “Acueducto Anzaldúas” y la segunda, conocida como “Anzaldúas –Rhode” situada en el canal “Rhode” a la altura de la Planta Potabilizadora “Pastor Lozano”.

Asimismo, el organismo operador de la región cuenta con 13 asignaciones de acuíferos u operativamente conocidos como “pozos de visita” con el propósito de cumplir con la demanda de agua requerida por los Reynosenses. El agua cruda es transportada por conductos o tuberías hacia las potabilizadoras, la cuales inician el proceso de remoción de materia orgánica (conchas, arena, huevas de pescado, algas y bacterias). El agua subterránea también se envía a las potabilizadoras con el propósito de diluir el alto contenido de sales con agua superficial.

Potabilización: llegada el agua procedente de los distintos cuerpos de agua a las plantas potabilizadoras “Pastor Lozano”, “Benito Juárez”, “Rancho Grande”, “Las Haciendas” y “Los Cavazos”, es sometida a una serie de procesos encaminados a eliminar las sustancias que puedan resultar nocivas para el consumo humano. La potabilización se lleva a cabo a través de siete etapas: floculación, coagulación, sedimentación/clarificación, filtrado, desinfección o cloración, almacenamiento y distribución. Es de suma importancia mencionar que tanto el personal de laboratorio de calidad del agua, así como el supervisor y/o gerente de plantas son los responsables de supervisar la calidad química del agua en todas las etapas del proceso a fin de

garantizar que a su salida cuente con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos por la NOM-127-SSA1-1994.

Suministro: está conformado por una compleja red de tubería que abastece al 95.36 por ciento de la población, incluidos los hogares (91.5%), comercios (3.3%), industria (0.37%) y al servicio público (0.13%). En esta etapa del CUA, se debe contemplar el volumen de agua (superficial y subterránea) concesionado por la CONAGUA. Para mayor información ver gráfica 1.

Alcantarillado: después de haber utilizado el agua para los distintos usos y servicios se convierte en agua de desecho, agua que contiene excretas humanas, orina, restos de comida, contaminantes y solventes industriales. Operativamente antes de llegar a la Planta Tratadora de Aguas Residuales, el agua “negra”, “residual” o “servida” es colectada y enviada a las PTAR’s a través de las EBAR’s (Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales). De acuerdo al Inventario realizado a finales de 2017, se tienen 36 EBAR’s activas (para mayor detalle ver Cuadro 4).

Saneamiento: Colectada el agua procedente de los diversos sectores económicos y residenciales de la ciudad, el agua es enviada a dos unidades de tratamiento para su descontaminación (PTAR No.1 y No. 2). En este sitio ocurren una serie de procesos Físico-Químico-Biológicos, en el que el principal objetivo es remover del agua todos los contaminantes (físicos, biológicos, orgánicos e inorgánicos). Las etapas del saneamiento son muy variadas, cada región las establece de acuerdo a sus condiciones climáticas y clasificación de las aguas residuales (algunas poseen mayor contenido de desechos industriales que de excretas humanas), etc. No obstante, existe una gran variedad de tecnologías que pueden adaptarse a las necesidades de cada región. A su vez, los niveles de tratamiento del agua tienen que ver con la concentración de “materia orgánica” presente.

La ciudad de Reynosa cuenta con dos plantas tratadoras activas, Reynosa 1 y 2, la primera colecta el 82 por ciento y la segunda el 17.9 por ciento. La PTAR No.1 recibe el agua residual urbana por parte de las EBAR’s 1, 4, 10 y 13. El proceso inicia en la caja de llegada, posteriormente pasa al sistema de desbaste y cribado comprendido por trituradoras gruesas y

finas (por la presencia de pequeños residuos sólidos), desarenador (remoción de arenas y arcillas), reactor pre-anóxico (convierte los nitratos, nitritos y amoníaco en gas nitrógeno), reactor biológico (promueve a través de la inyección de aire, la generación de bacterias degradadoras de la materia orgánica), sedimentador secundario ( sedimenta por gravedad el precipitado o los sólidos suspendidos del agua, con los objetivos de 1).- clarificar el agua; 2).- recircular los sólidos suspendidos hacia el reactor biológico para formar el licor mezcla. Para mayor detalle de esta última etapa consultar la sección 8.3. Finalmente el agua es conducida a los tanques de cloración y posteriormente, vertida al dren “El Anheló”.

El lodo de purga que no es recirculado al reactor biológico, es conducido hacia los digestores aerobios para su estabilización (a través de la inyección de aire). Concluida esta etapa, los lodos se disponen para su almacenamiento o confinamiento en el sistema de estabilización lagunar antiguo. La PTAR No.2 recibe el agua por parte de las EBAR´s 22 y 30; el proceso de pretratamiento inicia en la caja de llegada, posteriormente el agua residual es conducida hacia el sistema de cribado (dos manuales (30mm) y una mecánica (3mm)) con la finalidad de retener la mayor cantidad de sólidos medianos y pequeños que a lo largo del proceso puedan dañar los equipos de bombeo o bloqueen las tuberías.

El agua ya cribada pasa por gravedad hacia la etapa de desarenado, el cual remueve sólidos inorgánicos y arenas que arrastra el agua residual. Una vez concluidas ambas etapas, el agua es conducida hacia un canal “parshall”<sup>44</sup> para medir el caudal manualmente antes de enviarlo hacia los clarificadores o sedimentadores primarios. El canal cuenta con tres derivaciones, cada uno para conducir 250 l/s, actualmente y por problemas de operación sólo uno se encuentra activo.

En entrevista se notificó que en algunas situaciones climatológicas de precipitación abundante y temporada de huracanes, se abren emergentemente las otras dos compuertas aunque existan fugas y derrames de agua internos. Sólo cuando se presentan este tipo de situaciones, el personal operario hace uso de una válvula de alivio o “Bypass” que direcciona el flujo únicamente hacia el tanque de contacto de cloro para poder vertirla al dren receptor “Santa

---

<sup>44</sup> Llamado así por el nombre del ingeniero de regadío estadounidense que lo concibió, se describe técnicamente como un canal venturi o de onda estacionaria que mide caudales en canales abiertos. Puede ser usado para medir el flujo en ríos, canales, desagües, etc. Para mayor información véase en: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>

Anita” y permitir que el sistema de alcantarillado pueda seguir colectado agua y atenuar el riesgo de inundación.

El agua clarificada se conduce a un sistema aeróbico natural de filtros percoladores del tipo soporte sólido no sumergido, básicamente la esencia del sistema es hacer pasar el agua residual sobre un soporte rocoso o de plástico inerte – el cual no debe reaccionar químicamente con el agua a fin de evitar la formación de nuevas sustancias químicas que perjudiquen al sistema bacteriano- de forma ascendente. El agua residual al estar en contacto directo con el medio plástico permite que las partículas que conforman la materia orgánica contenida en el agua residual se vaya adhiriendo a él, formando una película de bacterias, las cuales degradaran dicho sustrato orgánico.

Concluida esta etapa, el agua es conducida hacia los clarificadores secundarios para precipitar por gravedad (dado a su forma cónica) los sólidos suspendidos presentes en el agua. Finalmente el agua es conducida hacia el tanque de contacto de cloro para posteriormente descargarla en el dren. En relación con el lodo residual purgado procedente de los clarificadores primarios y secundarios, se disponen en el espesador de lodos (la estructura se usa como medio de almacenamiento pero operativamente no funciona). Una vez en este sitio y al no existir un sistema de estabilización, los lodos de la PTAR No.2 son conducidos hacia la PTAR No.1 para su estabilización y confinamiento; la calidad de los lodos residuales confinados debe cumplir obligatoriamente con la NOM-004-SEMARNAT-2002<sup>45</sup> . Para mayor detalle ver sección 8.4

Un camión tipo “pipa” realiza cuatro viajes diarios con una carga de 22m<sup>3</sup> durante los cinco días de la semana. Debido al incremento en la producción de lodos, a partir del mes de noviembre del 2017 se realizan 8 viajes diarios. Finalmente, el agua tratada es vertida a sus cauces a través de las Estaciones de Bombeo de Agua Tratada (EBAT), permitiendo así el reinicio del ciclo a través de la captación. Como nota importante, el agua residual tratada al descargarse a un cuerpo natural de agua (ríos, embalses, aguas costeras y suelo) debe cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-1997.

---

<sup>45</sup> Norma Oficial Mexicana que da a conocer las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final de los lodos o biosólidos.

## 6.5 Nexus Agua- energía en Ciclo Urbano del Agua

Existe una relación muy estrecha y hasta cierto punto codependiente entre el agua y la energía. Estimar balances de agua implica conocer cuidadosamente el Ciclo Urbano del Agua (CUA) es decir, las etapas de captación, potabilización, distribución, alcantarillado y saneamiento. Cada etapa requiere energía eléctrica asociada al uso de equipos de bombeo (para extracción y envío del agua), compresores, válvulas, cuartos de control, sistemas de aireación, clorinadores, dosificadores de producto químico, equipos de laboratorio y alumbrado en las instalaciones. Ejecutar esta serie de procesos implica considerar completamente al CUA como una manifestación de un elevado uso de energía para afrontar las distintas etapas que este ciclo requiere, desde la potabilización y distribución, hasta la recolección y depuración (CEPAL, 2017). Se estima que una proporción significativa del consumo eléctrico es demandado por el tratamiento de las aguas residuales; el tratamiento y disposición de lodos, aunque también puede ser generador de energía (Ferro & Lentini, 2015).

En el año 2016, la CONAGUA publicó en el *Manual de Agua potable, alcantarillado y saneamiento* que el 70 por ciento de los costos de operación totales en una planta tratadora los adjudica el pago de la energía eléctrica. A partir de enero del 2018 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) a través de la CFE estableció un nuevo sistema tarifario en el que se acordó por unanimidad empresarial, modificar el cálculo y facturación de energía eléctrica para uso industrial y comercial<sup>46</sup>. El nuevo esquema tarifario está comprendido por tres clases de cobro variable; además de incluirse el cobro por distribución y por capacidad de subestación.

Esta última, se refiere al monto por multa o penalización de exceder la demanda máxima contratada a un factor de 90 por ciento<sup>47</sup>. La tarifa promedio establecida para instituciones prestadoras de servicios públicos es de \$1.0325 kWh<sup>48</sup>. En el siguiente cuadro (Cuadro 6) se presenta el antiguo vs el actual modelo tarifario establecido para el sector industrial de la región noreste, asimismo se exhiben los horarios y el costo correspondiente por consumo variable.

---

<sup>46</sup>Véase en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Acuerdan-modificar-formula-para-tarifa-de-luz-20180211-0089.html>

<sup>47</sup>Para mayor información consulte la siguiente liga: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>

<sup>48</sup>Estimación propia con base a <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>

**Cuadro 6.** Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica de la CFE

Año	Tipo de Tarifa*	Cobro Fijo**	Cobro variable*** (\$/kWh)	Horario (Región Noreste)			
				L-V	Sábado	Domingo y días festivos	
2017	6	\$356.72	\$1.956	...			
2018	GDMTH	\$524.69	\$0.6921	<i>Base</i>	0.00-06:00	0:00 -07:00	0:00-19:00
			\$1.0483	<i>Intermedio</i>	06:00-20:00 y 22:00-24:00	07:00-24:00	19:00-24:00
			\$1.1336	<i>Punta</i>	20:00-22:00	...	...
			\$53.6400	<i>Por distribución (carga mensual, \$/kW)</i>			
			\$253.4800	<i>Por exceder la capacidad de subestación (carga mensual, \$/kW)</i>			
	Costo promedio \$/kWh		<u>\$1.0325</u>	<i>Costo promedio + costo por distribución diario (\$0.0745)</i>			

\* Instalaciones prestadoras de servicios públicos; \*\* Independiente de la energía consumida; \*\*\* Por cada kilowatt-hora adicional consumido. Fuente: Elaboración propia con base a datos de la CFE, 2018.  
<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>

La energía eléctrica suministrada por la red de la CFE a la región noreste (incluida la franja fronteriza del estado de Tamaulipas), proviene de la carboeléctrica “Carbón II” localizada en el municipio de Nava, en Coahuila. Es considerada como la mayor central termoeléctrica a base de carbón en América Latina y genera 8, 636, 350 MWh de energía eléctrica para la zona noreste de México. El carbón utilizado es mineral no coquizable<sup>49</sup> y de acuerdo al informe técnico publicado en el año 2004 por la Comisión para la Cooperación Ambiental (Comission for Environmental Cooperation of North America, CEC, por sus siglas en inglés) posee un factor de emisión de 749 KgCO<sub>2</sub>/MWh, 11.89kgSO<sub>2</sub>/MWh y 4.64KgNO<sub>x</sub>/MWh. Es importante destacar que estos factores además de incluir el proceso de combustión del carbón, integran también la eficiencia del proceso, edad de la planta, esquema de operación, entre otros, específicamente de la Carboeléctrica “Carbón II”.

Desde hace algunos años la generación de energía limpia<sup>50</sup> y sostenible se ha convertido en una realidad que engloba cada vez más a los sectores más importantes de la economía. Algunos investigadores coinciden en que el aprovechamiento de las energías renovables ha sido impulsado por una combinación sucesos; la reducción de la reserva de combustibles fósiles

<sup>49</sup> Se utiliza como fuente primaria para la generación de energía eléctrica.

<sup>50</sup> Se aborda el concepto de energía limpia con la finalidad de concientizar el uso de energías que son respetuosas con el medio ambiente y que su generación no está basada en combustibles fósiles

debido a la creciente demanda de energía primaria, picos en los precios del combustible, las preocupaciones por el cambio climático, la conciencia pública y los avances en las tecnologías de energía renovable (Cao & Pawłowski, 2012).

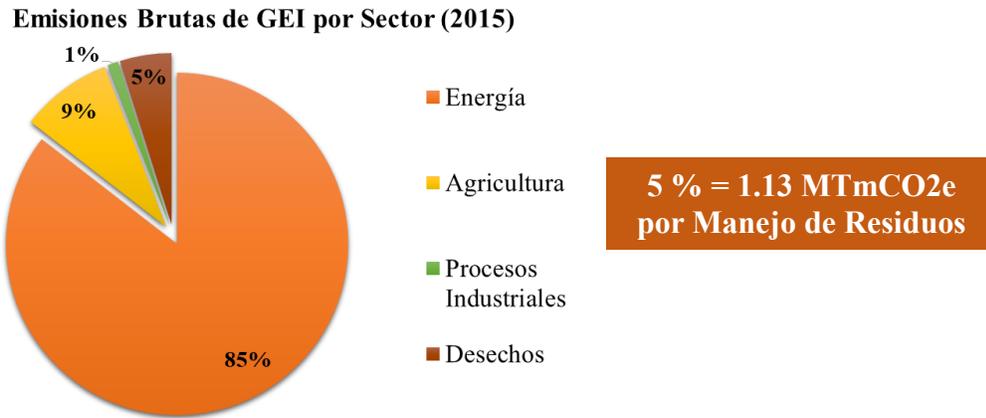
A su vez, grandes grupos de interés están a favor de explorar nuevos campos de investigación e impulsar el aprovechamiento y explotación de nuevas fuentes energéticas; precisamente en el objetivo 7 de la agenda 2030, meta 7.a propone dicho escenario. La producción de energía a través de la biomasa generada a partir de los lodos residuales se considera como una de las propuestas más sobresalientes y capaces de sustituir o atenuar la demanda energética requerida por los sistemas depuradores. Hoy en día, muchas PTAR´s operan intermitentemente e incluso tratan de manera parcial el agua residual; verdaderamente es preocupante que los costos energéticos tomen un papel tan importante a la hora de garantizar seguridad y salud a la población.

Es importante desatacar que las valiosas características de los lodos residuales, incluidos los de alta energía y contenido de nutrientes, han permitido cambiar el punto de vista de distintos entes científicos y tecnológicos hacia un recurso viable con altos índices de explotación en lugar de desperdicio o desecho. Por otro lado, la regulación cada vez más rigurosa en la reutilización /eliminación de lodos aumenta la presión pública y obliga -tanto a los generadores de lodos públicos como privados- a reevaluar sus estrategias de gestión de lodos (Liu & Tay, 2001).

Además, la creciente concientización sobre el cambio climático y calentamiento global ha motivado y reforzado el empleo de energías limpias y renovables, con el objetivo de capturar el biogás producido ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) y evitar que éste sea emitido a la atmósfera contribuyendo de manera indirecta a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicos adicionales a los consumidos por producción de energía eléctrica en las PTAR´s.

En el año 2010, la COCEF dio a conocer a través del Inventario de Gases de Efecto Invernadero en Tamaulipas la emanación de GEI asociados al saneamiento del agua residual y disposición final de residuos. La siguiente gráfica (Gráfica 3) presenta de manera ilustrativa la situación actual en el estado y los escenarios de proyección para el 2020 y 2025.

**Gráfica 3.** Emisiones de gases de efecto invernadero en Tamaulipas y proyecciones de casos de referencia 1990-2025.



Millones de Toneladas métricas de CO <sub>2</sub> e	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025
<b>Emisiones brutas por sector (en base al consumo)</b>	<b>16.25</b>	<b>14.18</b>	<b>20.01</b>	<b>18.98</b>	<b>20.52</b>	<b>23.21</b>	<b>25.71</b>	<b>28.70</b>
<i>Manejo de Residuos</i>	<i>0.68</i>	<i>0.77</i>	<i>0.85</i>	<i>0.96</i>	<i>1.06</i>	<b>1.13</b>	<i>1.19</i>	<i>1.25</i>
Aguas Residuales Domésticas	0.27	0.30	0.33	0.36	0.38	<b>0.40</b>	0.42	0.44
Aguas Residuales Industriales	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00
Rellenos Sanitarios	0.34	0.38	0.43	0.49	0.57	<b>0.62</b>	0.67	0.71
Quema a cielo abierto	0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	<b>0.10</b>	0.10	0.10
Almacenamiento de Carbono en Relleno Sanitario	-0.06	-0.06	-0.07	-0.09	-0.10	<b>-0.10</b>	-0.11	-0.11

Fuente: Elaboración propia con base a Datos del Estudio de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Tamaulipas y Proyecciones de Casos de Referencia 1990-2025. Pág. 16

Aunque únicamente este reporte dé a conocer las emisiones de GEI indirectas que integran al proceso de saneamiento y disposición final de residuos, las cuales son más de 1 MTmCO<sub>2</sub>, sería sumamente interesante conocer a nivel regional y local las emisiones totales o brutas de GEI que integran el consumo energético asociado al CUA.

Finalmente, queda claro que no solo los costos energéticos deben regir las buenas prácticas de operación, sino también los costos ambientales y sociales. Se ha ignorado e incluso menospreciado el valor ambiental y el bienestar social que representa tener una planta tratadora de aguas residuales. Desde una perspectiva medio ambiental es posible considerarse como un sistema de alivio y como tal, se le debe dar la importancia como factor impulsor de desarrollo y competitividad. Así como dentro de la geografía y el espacio urbano. Por otro lado, el éxito de una PTAR así como de las unidades que conforman el CUA debe radicar en el cuidado de la operación, infraestructura y contar con personal calificado.

### 6.5.1 El Nexa agua-energía- carbono

En el apartado anterior se dio a conocer que el suministro de agua potable y el tratamiento de aguas residuales contribuyen directamente a la generación de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la quema de combustibles primarios empleados para el suministro de energía eléctrica. Adjunto a la generación directa, existe la generación indirecta de emisiones (gas metano y óxido nitroso) asociada al agua residual tratada y no tratada, incrementando aún más la huella de carbono del sector hídrico (GIZ, 2016).

Es importante entender que el efecto invernadero es una condición natural de la atmósfera terrestre. La emanación de gases de invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), tienen la capacidad de retener el calor del sol en la troposfera para mantener la temperatura en la tierra con el objetivo de conservar la vida en los ecosistemas y llevar a cabo los ciclos biogeoquímicos. No obstante, para el año 1800 estas emisiones empezaron a generarse de manera intensiva debido a la Revolución Industrial y el mercantilismo. A partir de ello, cientos de países se han dado a la tarea de investigar soluciones para combatir el calentamiento del planeta. Como punto aclaratorio es importante definir y entender al *cambio climático antropogénico* como un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural de clima observada durante periodos comparables<sup>51</sup> y no se debe confundir con el cambio climático natural terrestre.

Fruto de esta preocupación nace en el año 1992 el Convenio Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMNUCC), con el objetivo de minimizar la concentración de emisiones hacia la atmósfera, y establecer un límite máximo permisible que no modifique al sistema climático planetario también conocido como Cambio Climático. A la par de esta celebración de la CMNUCC, surge la Conferencia de las Partes (CP) como órgano rector supremo. En 1997, tres años después de entrar en vigor la también llamada *cumbre del clima*, surge como instrumento el *Protocolo de Kyoto*, el cual estableció como obligación para los países desarrollados (Anexo I) y las economías de transición, la reducción del cinco por ciento de sus emisiones para el periodo 2008-2012; tomando como base las emisiones generadas (de cada país) a partir del año 1990. No obstante, para los países en desarrollo (No Anexo I) el

---

<sup>51</sup> Artículo 1, párrafo 2 de La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 1992.

Protocolo no estableció metas cuantificables de reducción de emisiones, pero sí compromisos como la elaboración de inventarios nacionales, comunicaciones, estudios de mitigación y adaptación al cambio climático. México firmó ese mismo año y en el 2002 ratificó como país No Anexo I (CICC, 2007). En junio de 2014, 192 países habían ratificado, aprobado o aceptado el Protocolo<sup>52</sup> (UNFCCC, 2014).

El Protocolo de Kyoto tiene los mismos objetivos y principios que la Convención, pero la refuerza de manera significativa -ya que a través de él- las Partes incluidas en el anexo I se comprometen a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Sólo las Partes en la Convención que sean también Partes en el Protocolo (es decir, que lo ratifiquen, acepten, aprueben o se adhieran a él) se ven obligadas a cumplir dichos compromisos. Los objetivos individuales para las Partes incluidas en el anexo I de la Convención se enumeran en el anexo B del Protocolo de Kyoto. Las metas cubren las emisiones de seis gases de efecto invernadero, los cuales se detallan en el siguiente cuadro (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Principales GEI, fuentes de emisión y potencial de calentamiento expresados en unidades de CO<sub>2</sub>eq (dióxido de carbono equivalente)

Gases	Fuentes de Emisión	Potencial de Calentamiento (CO <sub>2</sub> e)
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Quema de combustibles fósiles, deforestación, producción de cemento.	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	Producción y quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, manejo de residuos.	21-23
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	Quema de combustibles fósiles, agricultura, explotación de la tierra.	230-310
Perfluoro Carbono (PFC's)	Actividades industriales (refrigerantes, aerosoles, espumas plásticas).	6,200-7,100
Hidrofluoro Carbono (HFC)	Actividades industriales (refrigerantes líquidos).	1,300-1,400
Hexafluoruro de Azufre (SF <sub>6</sub> )	Actividades industriales (aislantes térmicos).	23,900

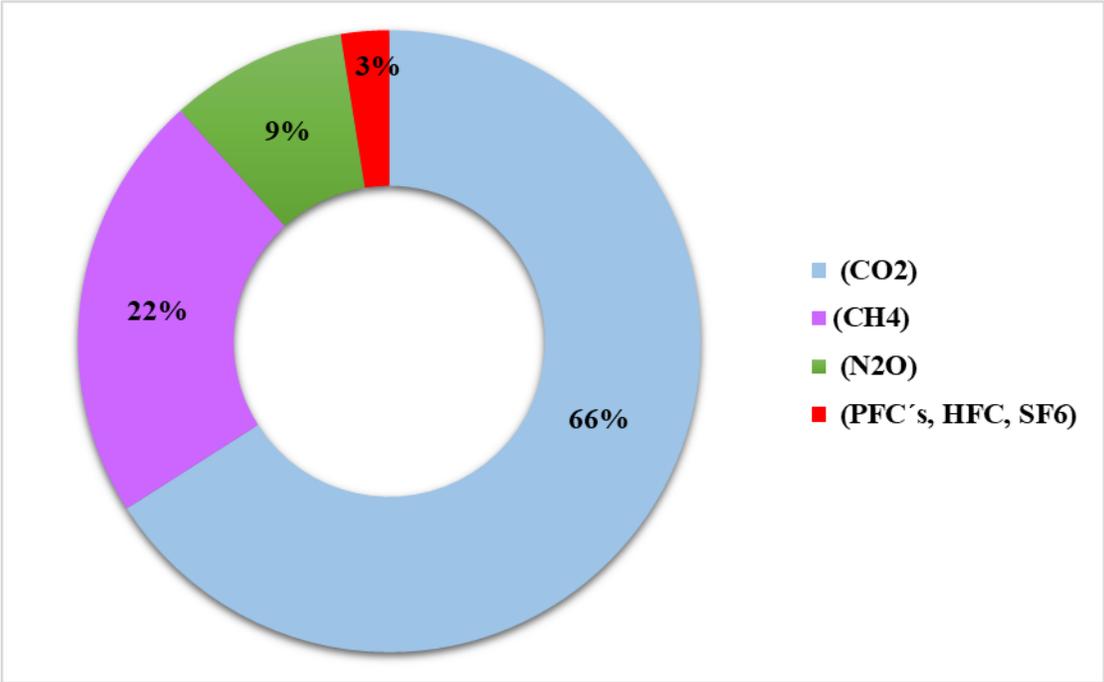
Fuente: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007). Informe de Síntesis.

<sup>52</sup> A pesar de que el Protocolo de Kioto surgió en 1997, no fue sino hasta 2005 que entró en vigor, cuando se cumplió el requisito de ser aceptado por un grupo de países Anexo I que en conjunto hubieran emitido 55% de los GEI en el año de 1990.

A estas se conoce como “cantidad atribuida de la Parte”. Al igual que la Convención, el Protocolo reconoce las necesidades y los problemas específicos de los países en desarrollo, especialmente los de los más vulnerables. Por tanto, las Partes en el Anexo I deben informar de sus esfuerzos por cumplir sus metas de reducción de las emisiones al mismo tiempo que reducen todo lo posible los efectos adversos que sufren los países en desarrollo.

Asimismo, el *Protocolo de Kyoto* permite a las Partes del Anexo I elevar o reducir el nivel de emisiones permitido durante el periodo de compromiso, por el comercio de las unidades de Kyoto con otras Partes. Estas adiciones y sustracciones se llevan a cabo de conformidad con los llamados mecanismos de Kyoto, los cuales se denominan como: a) Comercio de Emisiones (Art.17), b) La Implementación Conjunta (IC) (Art.6); y c) Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (Art. 12). No obstante, en nuestro país sólo es posible aplicar a los MDL por formar parte de los países No Anexo I<sup>53</sup>. En la gráfica 4 se da a conocer las emisiones de GEI por gas en unidades de CO<sub>2</sub>eq en el año 2010.

**Gráfica 4.** Contribuciones de Emisiones de GEI por gas (2010)



Fuente: Elaboración propia con base en Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 2016

<sup>53</sup> Para mayor información consultar: <http://www.cambioclimatico.org/search/node/protocolo%20kioto>

La finalidad de exhibir en este apartado los datos y cifras de GEI a nivel nacional permite concebir y comprender la situación actual del país, así como, los objetivos y las metas que en coordinación y colaboración con los gobiernos estatales y locales deben cumplirse a corto, mediano y largo plazo. Por tal motivo, al exponer problemáticas locales se debe anteceder al contexto nacional a fin de plantear soluciones efectivas que verdaderamente contribuyan a reducir la emisión de GEI antropogénicos.

## **VII. HIPOTESIS**

El estudio de metabolismo urbano con aplicación geográfica puede contribuir a la planeación de agua urbana como una herramienta que permita conocer la sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas.

## VIII. METODOLOGIA

En este trabajo se busca explicar el Ciclo Urbano del Agua de la ciudad de Reynosa a través de un enfoque de metabolismo urbano con aplicación geográfica. La propuesta incluye identificar las deficiencias que provocan la alteración lineal del ciclo desde sus etapas iniciales y cómo estas repercuten negativamente en el sistema urbano. A su vez, se plantea identificar mecanismos que permitan transformar dicha alteración. Para cumplir con el desarrollo metodológico cuantitativo es necesario establecer los siguientes criterios:

1. El análisis de los datos para el balance hídrico local será a partir del periodo 2005-2017.
2. La caracterización e identificación de las fuentes de contaminación del agua y de la zona de estudio será a través de Sistemas de Información Geográfica (ESRI ArcGIS®).
3. Las variables que integran el balance hídrico local se estimarán a partir de los siguientes datos solicitados durante el trabajo de campo: volumen de agua producida, volumen de agua facturada, agua no contabilizada, sectores de distribución, padrón de usuarios, volumen de agua residual tratada, demanda y costos energéticos, unidades de colección de agua residual (EBAR's) , captura de fotografías, manuales de proceso, calidad de agua y lodo residual de la PTAR No.1 y No.2 del organismo operador (COMAPA).

**3.1** El balance hídrico local propuesto incluye a la industria autoabastecida por dos razones: *i)* detectar la presencia de contaminantes químicos en el agua residual cruda y *ii)* contabilizar el volumen de agua residual industrial vertida al sistema de alcantarillado.

**3.2** La aplicación geográfica al estudio propuesto permite estimar con mayor precisión el volumen de agua que se incorpora al sistema de alcantarillado procedente de escorrentías y que posteriormente, las plantas tratadoras deben sanear. Por tal motivo, incluir un análisis geoespacial terrestre (estudios edafológicos, geológicos, topográficos, usos de suelo y cobertura vegetativa) del suelo Reynosense permitirá cuantificar el volumen de agua que no es interceptado por suelo desnudo ni vegetación.

**3.3** La integración de factores de retorno por sector al balance hídrico local propuesto, permitirá cuantificar con mayor precisión el volumen de agua que retorna al sistema de

alcantarillado procedente de los distintos usos y fines incluidos el de la industria autoabastecida.

**3.4** La evaluación energética en el CUAR permitirá cuantificar las emisiones de GEI directas e indirectas asociadas al proceso de saneamiento.

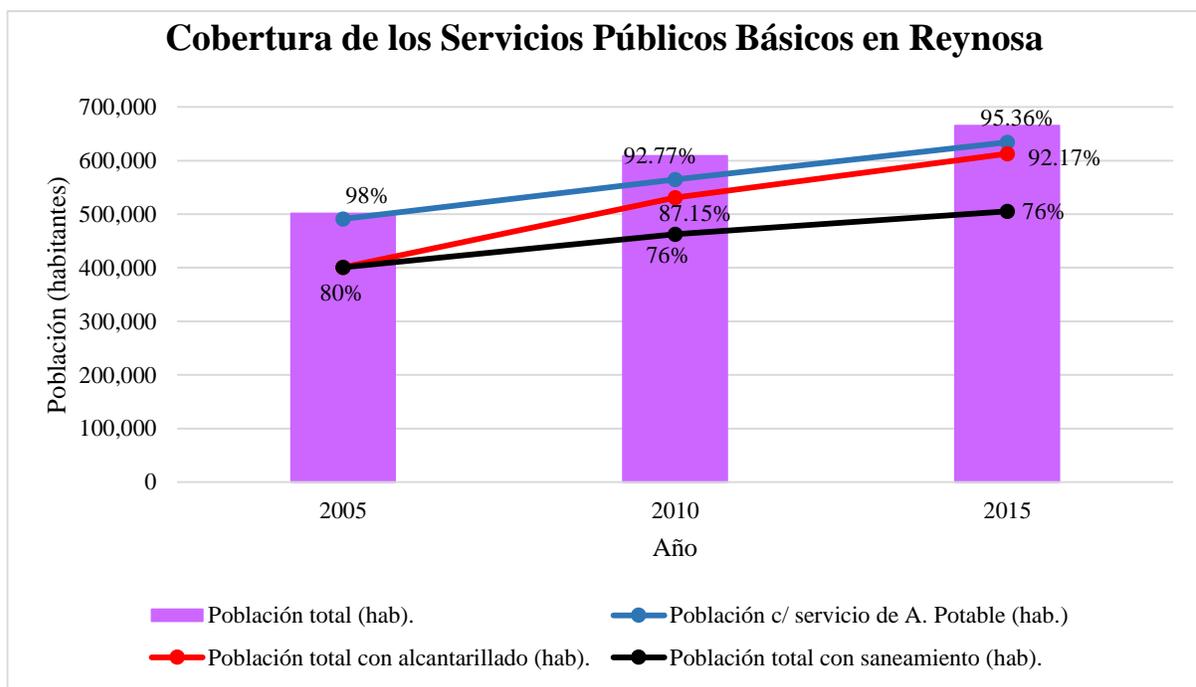
**3.5** La evaluación de la tecnología de tratamiento de agua permitirá conocer la capacidad de remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos procedentes de la industria y el comercio; así como explorar la posibilidad de aprovechar energéticamente los subproductos generados (biomasa). La evaluación se realizará a través de *i*) los datos calidad de agua y lodo residual de ambas plantas *ii*) visitas técnicas y conocimientos adquiridos en la estancia de investigación realizada en la Universidad de California, Irvine y *iii*) literatura especializada.

### 8.1.- Balance Hídrico Local

Antes de iniciar con el presente apartado, es preciso mencionar que la Comapa de Reynosa cuenta con archivos e información de primer orden a partir de su municipalización; es decir, del año 2005. Anterior a ese año, toda la información se hacía llegar al gobierno del estado de Tamaulipas. Por tal motivo, el presente Balance Hídrico Local (BHL) efectuado para la ciudad de Reynosa contempla únicamente información a partir de esa fecha hasta el año 2017.

Es preciso detallar que antes de iniciar con las estimaciones para el BHL se tomaron algunas consideraciones tales como la población total (hab), población con servicio de agua potable (hab), cobertura de agua potable (%), población total con alcantarillado (hab), cobertura de alcantarillado (%), población total con saneamiento (hab) y finalmente la cobertura de saneamiento (%). En la siguiente gráfica se presenta la evolución del organismo operador con respecto a la cobertura y prestación de los servicios básicos a la población Reynosense.

**Gráfica 5. Evolución de los SPU en Reynosa (2005-2017)**



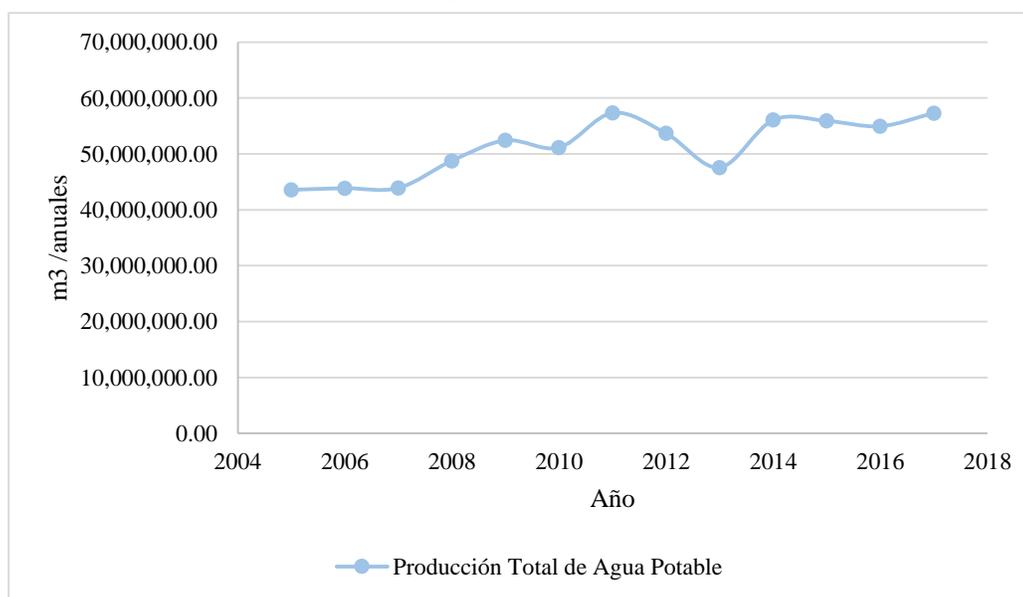
Fuente: Elaboración propia con base al II Censo de Población y Vivienda, 2005; Censo de Población y Vivienda 2010; Encuesta Intercensal, 2015; COCEF, 2005 y Comapa de Reynosa, 2017.

A partir de estos datos se establece la matriz de cálculo (**Anexo D**) la cual permitirá categorizar las etapas que conforman el CUA y posteriormente, estimar los flujos totales de agua aplicando la fórmula de Mitchel et al; 2001 para el balance hídrico local. En el transcurso del presente apartado se dará a conocer de manera individual, el estudio y el análisis de cada uno de los flujos entrantes y salientes que integran el ciclo urbano del agua. Establecer este método de análisis individual de flujos permitirá entender y estimar los flujos netos de agua que fluyen a través del sistema urbano.

### 8.1.1. Producción de Agua potable en el sistema urbano

En el apartado 3.1.2 se detalla el proceso a través del cual el agua proveniente de fuentes naturales, es limpiada a través de unidades de potabilización a fin de que pueda ser distribuida de manera segura, es decir, libre de patógenos y contaminantes a los diferentes sectores económicos, incluido el consumo humano. La siguiente gráfica (Gráfica 6) da a conocer el volumen de agua anual producido durante doce años por parte del organismo operador y a su vez, se contempla el volumen de agua extraída (concesionada) como parte de los flujos de agua de entrada en el sistema urbano.

**Gráfica 6.** Producción de Agua Potable (m<sup>3</sup>/anuales) del 2005 al 2017



Fuente: Elaboración propia con base a datos de la COMAPA y CONAGUA, 2017.

Es posible observar que en el año 2013 hubo una baja producción de agua, e incluso el volumen es comparable con lo producido en el año 2007, cuando evidentemente se contaba con menor población y por ende, cobertura de agua. La situación se debió a que en el año 2013 se iniciaron las obras para el revestimiento del canal “Guillermo Rhode”, por lo tanto, el organismo operador optó por gestionar tandeos semanales a los sectores afectados. El canal quedó temporalmente fuera de servicio por lo que únicamente se contaba con el agua del río Bravo y los pozos de visita para abastecer a los usuarios directos de la COMAPA. A mediados del 2014, la operación en el organismo se normalizó y con ello, el incremento en la producción de agua potable; durante los últimos tres años se han mantenido con producciones superiores a los 48 millones de metros cúbicos anuales. Es importante destacar que por el decenio que integra el presente estudio se produjeron un total de 666 millones de metros cúbicos de agua<sup>54</sup>.

#### 8.1.2. Distribución

La distribución es la tercera etapa del CUA, después de la captación y de la potabilización. En esta fase se integran –para efectos del presente trabajo- los usuarios directos e indirectos de la COMAPA. Consideraremos a las viviendas que cuentan con conexión directa de agua potable como *usuarios directos*; y *usuarios indirectos* a aquellos (industria autoabastecida) que no cuentan con una toma o conexión directa de agua potable en su empresa o negocio pero poseen pozos de agua (concesionados por la CONAGUA); sin embargo la COMAPA (por ser el organismo gestor local) efectúa el cobro correspondiente (basándose en los metros cúbicos extraídos cuantificados por el medidor de flujo) por los servicios de descarga de aguas residuales, que incluye el uso del sistema de alcantarillado y el tratamiento del agua.

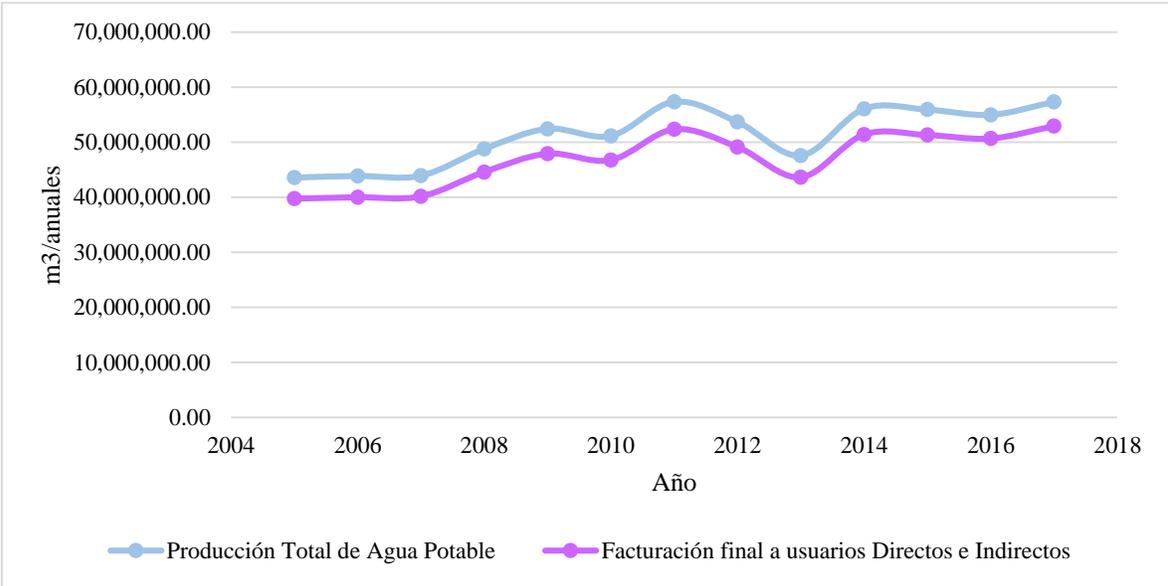
Es importante hacer hincapié que el término *distribución* se emplea para referir al agua potabilizada como producto final y lista para su distribución a los diferentes sectores, a través de redes o tuberías de subestación o en algunas ocasiones por camiones tipo cisterna o pipas –

---

<sup>54</sup> Por parte del organismo operador se produjeron 566, 019, 586.63 m<sup>3</sup> de agua y por las concesiones se extrajeron 100, 547, 000.00m<sup>3</sup> de agua, dando como resultado una suma total de 666, 566, 586.63 m<sup>3</sup>.

por reparaciones o mantenimientos a la red-. En la siguiente gráfica (Gráfica 7) se exhiben los volúmenes anuales de producción de agua y facturación de agua potable.

**Gráfica 7.** Producción final de Agua potable para el Sistema Urbano y Facturación final de Usuarios (2005-2017)



Fuente: Elaboración propia con base a datos de la COMAPA y CONAGUA, 2017

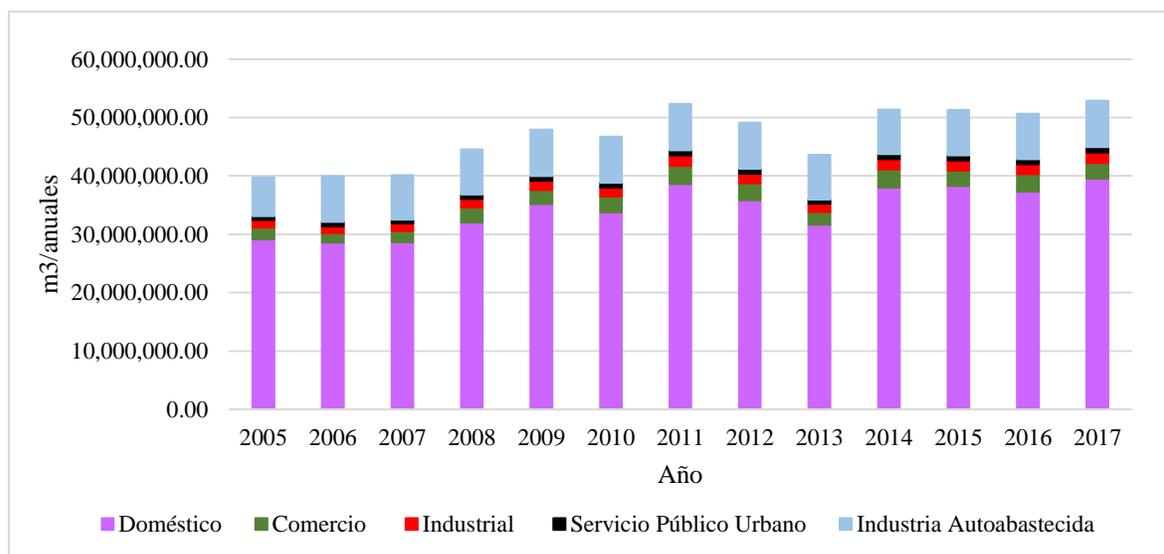
Claramente es posible observar que la producción de agua es mayor al volumen facturado, esta diferencia denominada *Agua No Contabilizada*<sup>55</sup> se debe mayormente a las pérdidas de agua potable por fugas en las tuberías y en menor proporción, a lecturas incorrectas en los medidores de flujo. La distribución comprende cinco sectores: doméstico, comercial, industrial, servicio público urbano e industria autoabastecida, este último de manera indirecta. Una vez realizado el envío del agua, los usuarios la destinan para diversos usos y fines. A esta acción se le denomina *consumo*, en el siguiente apartado se describirá esta etapa.

<sup>55</sup> Pérdidas de agua por fugas y en menor proporción se debe a toma de lecturas incorrectas. Se calcula restando el volumen producido con el facturado

### 8.1.3. Consumo de Agua

El consumo es la cuarta etapa del CUA y corresponde al volumen de agua potable utilizada para los diversos usos y fines, es decir, doméstico, comercial, industrial y servicio público; este último sector contempla actividades como: riego de parques, jardines, plazas municipales, campos de golf y algunas escuelas (kínder y primaria). En la siguiente gráfica (Gráfica 8) se da a conocer el volumen utilizado de cada sector. Es importante mencionar que para efectos administrativos y financieros la COMAPA emplea el término “facturada” para referirse al agua consumida por los usuarios (directos e indirectos). Lo correspondiente al Agua No Contabilizada no se contempla en el presente análisis debido a que es agua potable que difícilmente se integra a los sistemas de alcantarillado. Cuando ocurren fugas, el agua se infiltra y por lo tanto, el suelo actúa como cuerpo receptor.

**Gráfica 8.** Volumen de agua potable facturada desglosado por sectores (2005-2017)



Fuente: Elaboración propia con base a datos de la COMAPA de Reynosa, 2017

En el gráfico 8, se puede argumentar que más del 70 por ciento del volumen facturado corresponde al sector doméstico; la industria autoabastecida se posiciona en el segundo lugar con más del 16 por ciento y en menor proporción el comercio (5.33 %), la industria (3.31 %) y los SPU (1.70 %)<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> Estimaciones propias.

#### 8.1.4 Alcantarillado

El consumo está íntimamente vinculado con el sistema de alcantarillado. Debido a la naturaleza del presente trabajo de investigación, se considera como una de las etapas con mayor grado de análisis y fundamentalmente una de las más representativas. Es importante hacer hincapié que todas las estimaciones y argumentos metodológicos para el presente estudio están basados en datos estadísticos del INEGI, la COCEF y por la COMAPA de Reynosa. Es preciso señalar que cada cinco años se realizan estudios de campo por parte del INEGI para actualizar las coberturas de los diferentes servicios, estos estudios van de la mano con los indicadores de medio ambiente y los servicios de agua de agua potable y saneamiento de la vivienda, aunado a las actualizaciones que realiza la COMAPA por contratación del servicio.

El primer paso para analizar detalladamente y comprender la función del sistema de alcantarillado es estimar el volumen máximo de colección anual. Por ejemplo, en el año 2017 el volumen de agua máximo a coleccionar en el sistema de alcantarillado fue de 47, 663, 207.77 m<sup>3</sup>/anuales, equivalente a una cobertura del 92.17 por ciento. La COMAPA realiza sus estimaciones de cobertura con base al volumen de agua facturado por sus usuarios directos bajo los siguientes argumentos: *i*) la facturación es el volumen de agua consumida por los usuarios para los diversos usos y fines; y *ii*) sólo se considera el volumen facturado por los usuarios directos debido a que las redes de alcantarillado, colectores y subcolectores están diseñados con base al padrón de usuarios interno del organismo operador (COMAPA, 2017).

Claramente, esta concepción no es la adecuada para diseñar sistemas de alcantarillado debido a que se debe prever crecimientos poblacionales y empresariales, además de contemplar la precipitación y escurrimiento superficial en la ciudad. En el siguiente cuadro (Cuadro 8) se presentan los volúmenes totales de agua facturada y el volumen máximo capaz de coleccionar el sistema de alcantarillado anualmente.

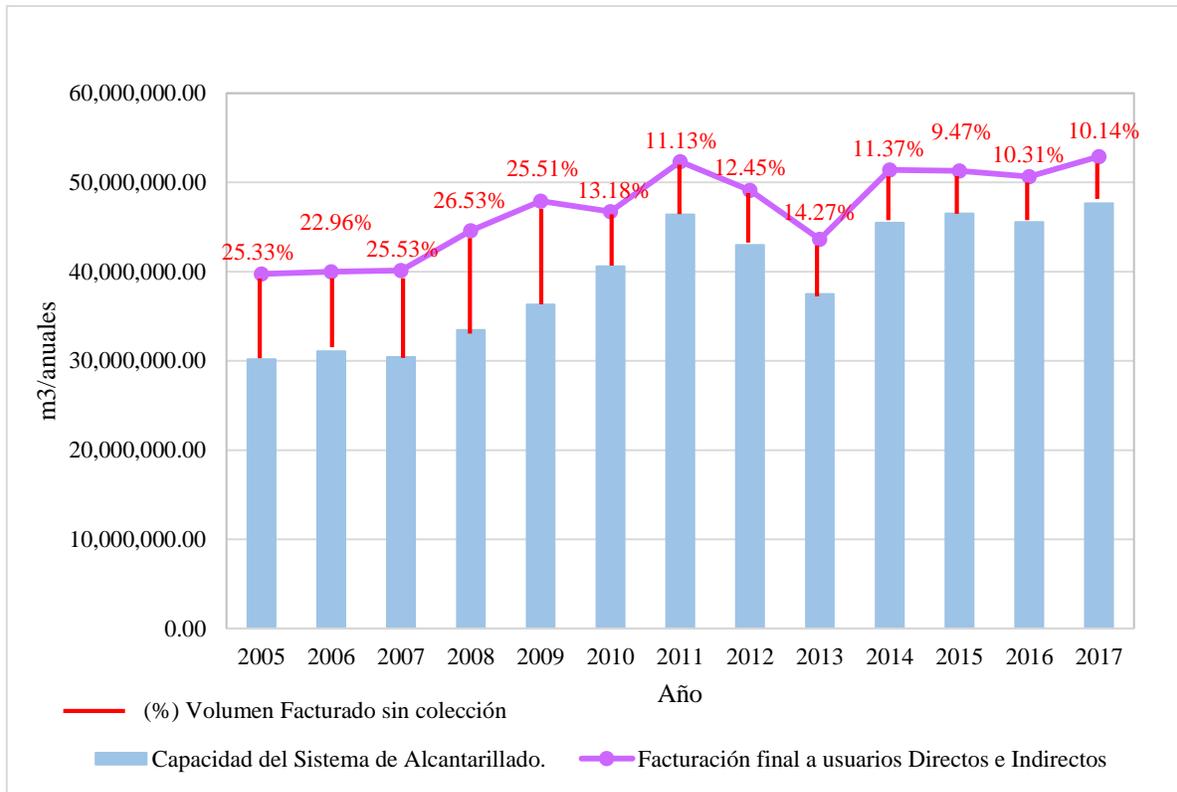
**Cuadro 8.** Volumen de agua residual colectada por el sistema de alcantarillado (2005-2017)

Año	Total de Agua Facturada (Usuarios directos)		Volumen de agua colectada por el sistema de alcantarillado		
	Usuarios Directos	Porcentaje equivalente	Cobertura alcantarillado	Volumen máx. colectado equivalente (m <sup>3</sup> /anuales)	
<b>2005</b>	2005	33,116,248.00	87.80%	80%	30,174,984.75
	2006	32,134,408.00	82.76%	80%	31,064,069.48
	2007	32,502,911.00	85.45%	80%	30,430,578.21
	2008	36,805,429.00	87.96%	80%	33,476,415.42
	2009	39,975,279.00	88.04%	80%	36,323,660.07
<b>2010</b>	2010	38,805,153.00	83.30%	87.15%	40,599,197.68
	2011	44,407,583.00	83.39%	87.15%	46,410,579.36
	2012	41,201,249.00	83.53%	87.15%	42,986,084.70
	2013	35,942,932.00	83.57%	87.15%	37,483,094.38
	2014	43,715,098.00	83.80%	87.15%	45,460,992.16
<b>2015</b>	2015	43,509,077.00	86.21%	92.17%	46,515,491.12
	2016	42,846,763.00	86.67%	92.17%	45,567,213.73
	2017	44,911,502.00	86.85%	92.17%	47,663,207.77

Fuente: Elaboración propia con base a datos de la COMAPA, 2017

Ahora bien, contabilizar el volumen descargado por la industria autoabastecida, situación referida en el apartado 8.1.2; en el cual la COMAPA cobra por los servicios de descarga de aguas residuales, que incluye el uso del sistema de alcantarillado y el tratamiento del agua, implicaría evidentemente modernizar las redes de alcantarillado para realmente colectar el agua residual y tratarla debido a que se cobra por ello. Sin embargo, la realidad en la cobertura del sistema de alcantarillado se exhibe en la gráfica 9, además de exhibir el volumen facturado sin colección.

**Gráfica 9.** Facturación final, capacidad de Colección del Sistema de Alcantarillado y volumen facturado sin colección (2005-2017) \*Sin aplicar el factor de retorno.



Fuente: Elaboración propia con base a datos de la COMAPA, 2017

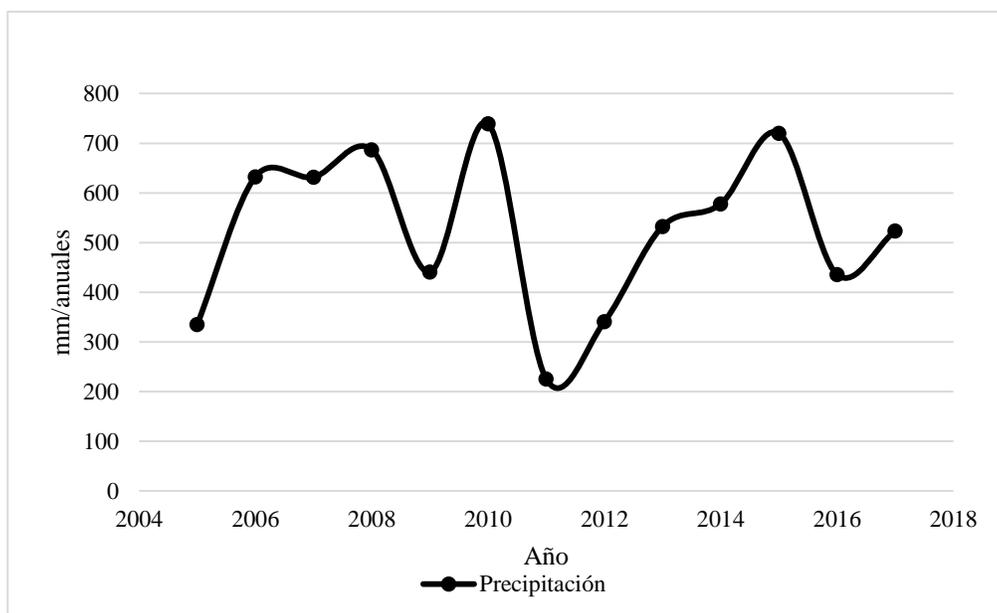
Es posible percatarse que a partir del 2010 hubo una reducción importante del volumen no colectado, el cual se debió al incremento en la cobertura de alcantarillado. En el año 2017 el volumen facturado sin colección fue de 5, 245, 294.23 m<sup>3</sup>/anuales equivalente al 10.14 por ciento.

#### 8.1.4.1 Precipitación media anual

La precipitación pluvial se considera como flujo de entrada en el sistema urbano y forma parte de sistema de alcantarillado cuando no es interceptada por vegetación o suelo desnudo, sino por zonas urbanas que conllevan a escurrimientos. Para el presente análisis se tomó como base la precipitación anual del condado de Hidalgo, TX; por cuatro razones; *i*) falta de información en

las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) de la ciudad de Reynosa denominadas “Galeana” y “Martín Rocha”; *ii*) el rango de precipitación es muy similar al de Reynosa (400-700mm/anales), *iii*) la elevación es de 31-33 M.S.N.M es decir, se encuentran en la misma planicie urbana y *iv*) poseen similitudes climatológicas. En la siguiente gráfica (Gráfica 10) se exhibe el volumen de precipitación media anual.

**Gráfica 10.** Precipitación pluvial (media anual) del Condado de Hidalgo, TX.



Fuente: Elaboración propia con base al Sistema Meteorológico Nacional de Estados Unidos<sup>57</sup>

Claramente, es posible apreciar que la distribución de los valores oscilan entre los 300 a 700mm/anales. Sin embargo, este valor no es representativo para el balance hídrico urbano sino es calculado a través de un área superficial. En el siguiente apartado se contemplan las características del relieve topográfico, uso del suelo y cobertura vegetativa y la geología de las rocas que conforman el suelo Reynosense para dicha estimación.

<sup>57</sup> Véase en: <http://www.twdb.texas.gov/surfacewater/conditions/evaporation/>.  
<http://midgewater.twdb.texas.gov/evaporation/quadrangle/1109/evaporation-tabular.txt>

### 8.1.4.2. Escorrentía superficial

Para el cálculo de la escorrentía superficial anual se toma como base el Método de Peñuelas. La finalidad es determinar el volumen de agua (producto de la precipitación) que no es interceptado por suelo desnudo o vegetación sino por áreas pavimentadas o zonas urbanas; convirtiéndose así en escorrentía superficial. Para ello es necesario calcular el coeficiente de escorrentía (C) el cual depende de 4 factores según el Método de Peñuelas<sup>58</sup>.

#### Fórmula 1. Método de Peñuelas

$$Es = C + PP^2 + A$$

En el siguiente cuadro (Cuadro 9) se dan a conocer los parámetros y rango que contempla el coeficiente de escorrentía de cada factor con base a;  $C = \Sigma (\kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 + \kappa_4)$

**Cuadro 9.** Parámetros y categorías para la estimación de factor “C” del Método de Peñuelas

Factor C	Modelo de Peñuelas Valores de k1, k2, k3 y k4			
	40	30	20	10
Relieve del Terreno (k1)	Muy accidentado, pendiente > 30 %	Accidentado, pendientes > 10 % <= 30 %	Ondulado, pendientes > 5 % <= 10 %	Plano, pendientes <= 5 %
Permeabilidad del Terreno (k2)	Muy impermeable, roca.	Bastante impermeable, arcilla.	Bastante permeable, textura media.	Muy permeable, arenoso.
Uso de Suelo y Vegetación (k3)	Ninguna	Poca, cobertura < 10 %	Bastante, > =10 % y < 50	Mucha, > 50 %
Capacitación de retención (k4)	Ninguna	Poca	Bastante	Mucha
$k = \Sigma(k1+k2+k3+k4+k5)$	75-100	50-75	30-50	25-30
Valor de coeficiente de escorrentía (C)	0.65-0.80	0.50-0.65	0.35-0.50	0.20-0.35

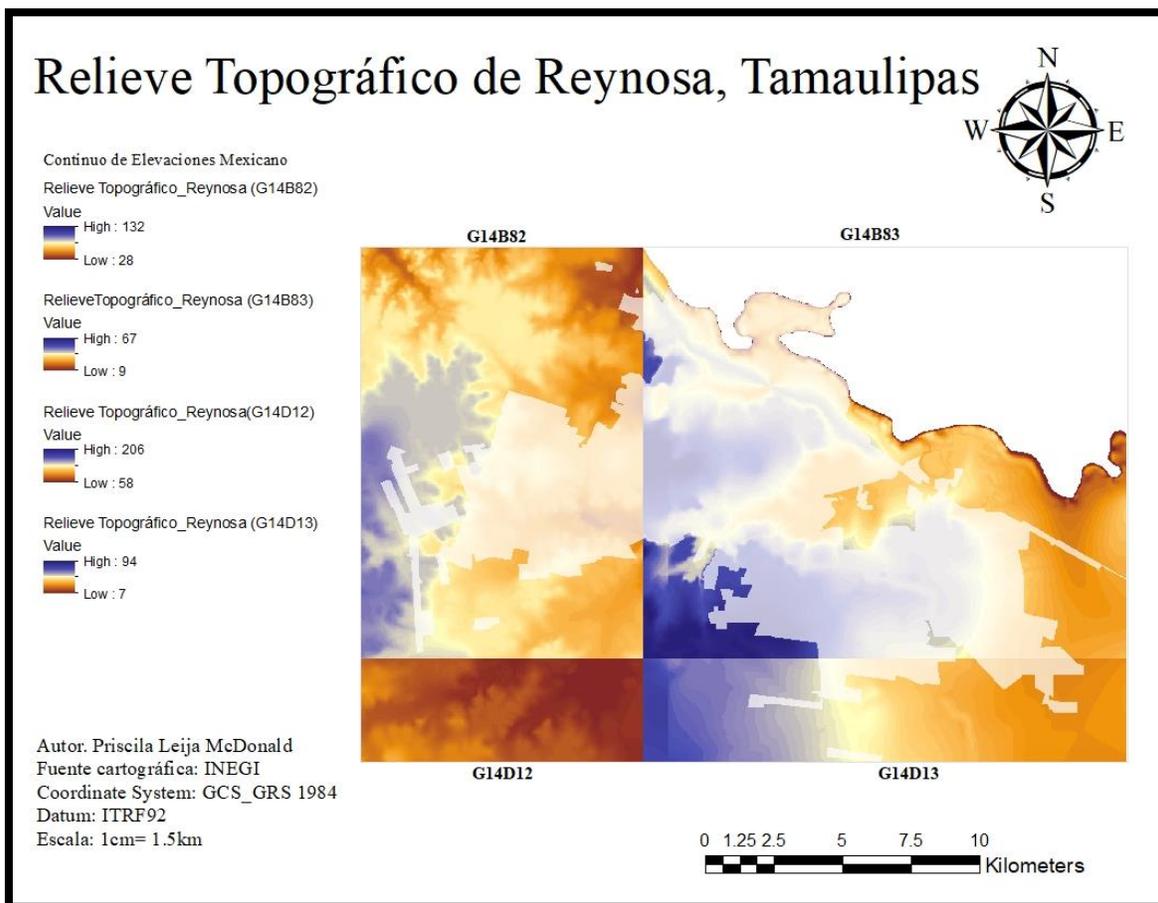
Fuente: Elaboración propia con base a (Sánchez, 2001).

<sup>58</sup> Véase en: <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0396-B3.HTM>

### 8.1.4.2.1 Relieve ( $\kappa_1$ )

La ciudad de Reynosa está asentada en superficies planas al noreste y con ligeras pendientes al noroeste. El sistema de toposformas de la ciudad está conformado por llanuras aluviales (11 %), capas cartográficas (G14B83 y G14D13) a 205 m.s.n.m como máximo y a 28 m.s.n.m. mínimo con pendientes casi planas. A su vez, está constituido por llanuras aluviales con (42 %) y por lomerío de laderas tendidas con llanuras (47 %) a una altitud de 94 m.s.n.m.-máx y a 7m.s.n.m.-mín con pendientes moderadas, (G14B82 y G14D12)<sup>59</sup>. De acuerdo con la descripción anterior, el valor  $k_1$  será de 10, tomando como referencia el método de peñuelas. A continuación se da a conocer la cartografía correspondiente (Mapa 6) a los relieves, toposformas y pendientes procedentes de la ciudad.

**Mapa 6.** Relieve, sistema de toposformas y pendientes (2015)



<sup>59</sup> Véase en:

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220822/702825220822\\_6.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220822/702825220822_6.pdf)

#### 8.1.4.2.2 Permeabilidad ( $\kappa_2$ ) y Retención ( $\kappa_4$ )

Con base al Prontuario de Información Geográfica Municipal (2009) y la cartografía edafológica (2007), la estructura del suelo Reynosense está comprendido por Kastañozem (37 %), Chernozem (34.9 %), Vertisoles (12.1 %), Calcisol (8.4%), Phaeozem (3.0%), entre otros. Los suelos Kastañozem se asocian con pastizales y con relieves llanos o suavemente ondulados. A su vez, se caracterizan por su rico contenido en humus y materia orgánica lo que los hace excelentes para la agricultura (granos, oleaginosas y hortalizas)<sup>60</sup>, sin embargo, las inundaciones y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitaciones debido a su media-baja permeabilidad<sup>61</sup>. La textura de este tipo de suelos es Limo-Arcilloso.

Por otro lado, los suelos Chernozem se encuentran ubicados en zonas semiáridas o de transición entre climas lluviosos. “En condiciones naturales tienen vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral como las llanuras y lomeríos. Asimismo, se caracterizan por su contenido en materia orgánica y nutrientes y se consideran más fértiles que los Kastañozem” (INEGI, s.f: 13). Se asocian con planicies llanas a onduladas con vegetación de pastos; los edafólogos rusos consideran a este tipo de suelos como los mejores del mundo (FAO, 2007). El trigo, la cebada y el maíz son los cultivos principales, a su vez, son utilizados para la cría de ganado<sup>62</sup>. La textura de este tipo de suelos es Franco-Arcilloso.

Los suelos Vertisoles, son suelos pesados arcillosos debido a que sus sedimentos contienen una elevada proporción de arcillas expandibles. Se asocian con relieves llanos y ligeras pendientes y la vegetación predominante es pastizal natural y/o bosque. Las características físicas del suelo y su difícil manejo del agua (suelos impermeables con alta retención de agua) causan problemas debido a que son suelos con alta tendencia a inundaciones. Los edificios y otras estructuras están en riesgo sobre este tipo de suelos (FAO, 2007). El uso agrícola en territorio Reynosense es para la siembra de sorgo, algodón, garbanzos, cebada y trigo. Más del 80 por ciento del territorio Reynosense está conformado principalmente por estos

---

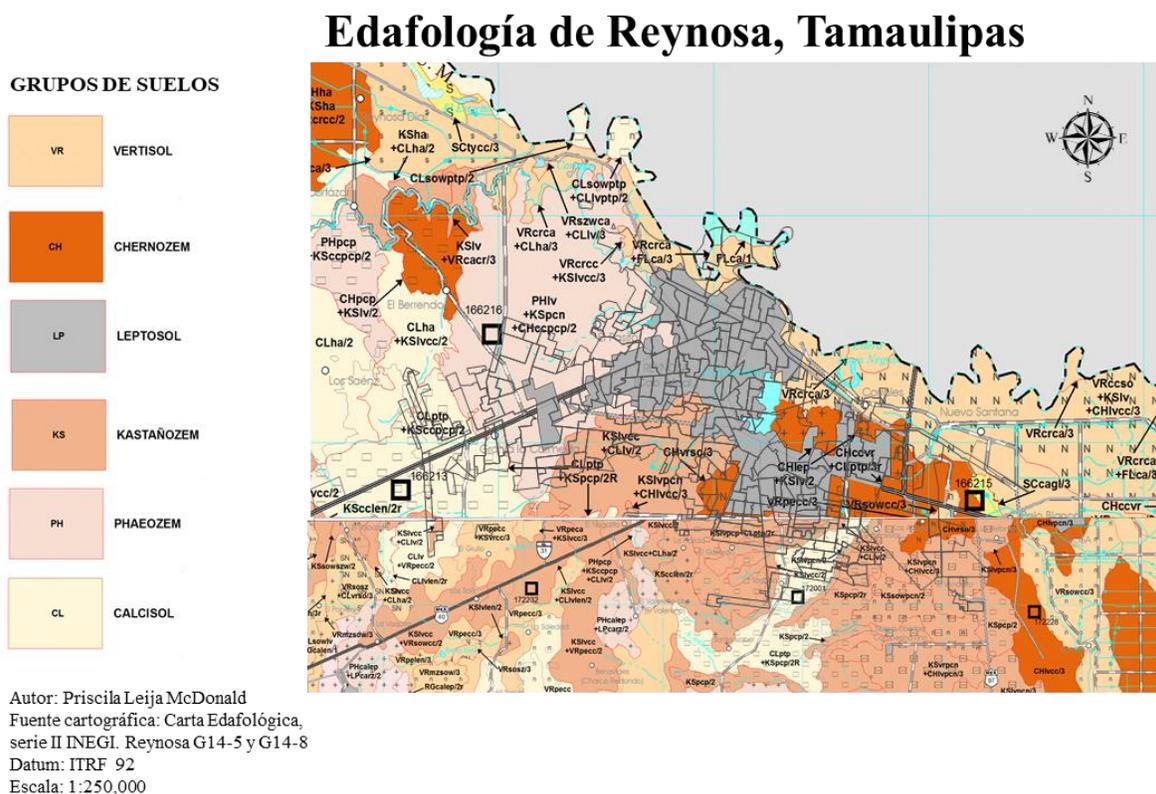
<sup>60</sup> Véase en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>

<sup>61</sup> Véase en: <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>

<sup>62</sup> Véase en: <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>

tres tipos de suelos; en el siguiente mapa se representa cartográficamente la estructura edafológica y geología de las rocas de Reynosa (Mapa 7).

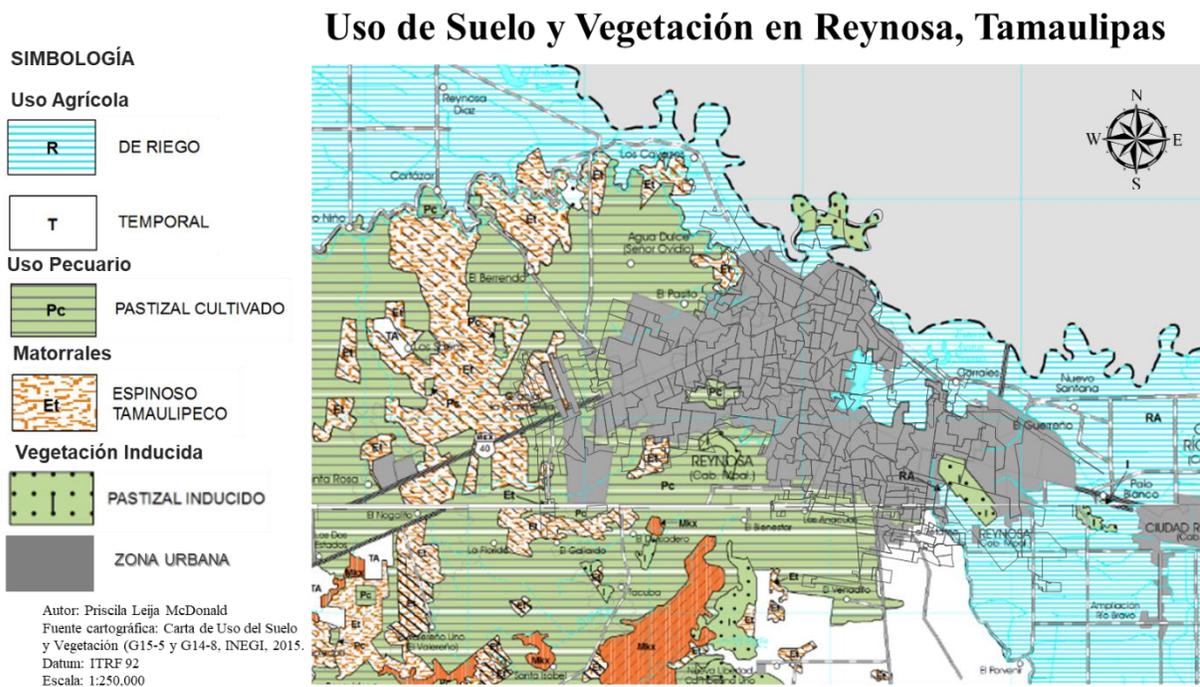
**Mapa 7.** Estructura edafológica y litología del suelo Reynosense (2013)



#### 8.1.4.2.3 *Uso del Suelo y Cobertura de Vegetación en Reynosa (κ<sub>3</sub>)*

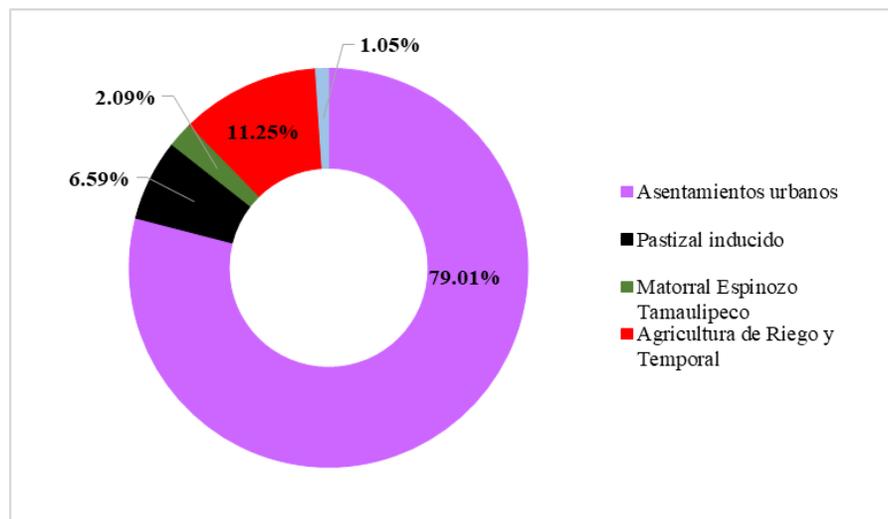
Con base a la información cartográfica y geográfica del INEGI, la ciudad de Reynosa (incluyendo sus 804 localidades rurales) ubicadas al sur del municipio dispone del 73 por ciento del suelo para actividades agrícolas de humedad y temporalidad, 20 por ciento para vegetación de matorrales (espinoso tamaulipeco); 5 por ciento para vegetación inducida (pastizales) y sólo el 2 por ciento lo conforma la zona urbana (INEGI, 2009). Sin embargo, para el presente estudio el cual implica la estimación de flujos de agua urbanos, se concentrará únicamente en la distribución de uso de suelo y vegetación periférica a la zona urbana. El mapa 8 muestra la ubicación georreferenciada de la configuración del suelo, los usos agrícolas y vegetación nativa en las inmediaciones de la zona urbana de Reynosa.

**Mapa 8.** Uso del Suelo y Cobertura de Vegetación (2015)



Tomando como base la información cartográfica disponible en la versión (.shp) del INEGI 2015, fue posible determinar el área superficial que conforma cada uno de los seis grupos que constituyen el suelo urbano. En la siguiente gráfica se exhibe el porcentaje superficial de cada uno. Para mayor detalle del área superficial ver el **(Anexo E)**.

**Gráfica 11.** Uso de Urbano y Vegetación periférica de la zona urbana (2015).



Fuente: Elaboración propia con base a datos cartográficos del INEGI, 2015.

Con este último dato es posible aplicar el factor de escorrentía del Método de Peñuelas, por lo que en el siguiente cuadro (Cuadro 10) se expresan los valores finales (kp) de los parámetros para la estimación del factor “C”. La fórmula para la interpolación del valor (kp) que integra la estimación de la escorrentía superficial se da a conocer en el **(Anexo F)**.

**Cuadro 10.** Factor de Escorrentía Superficial en la zona urbana de Reynosa, Tamaulipas

<b>k1</b>	<b>k2</b>	<b>k3</b>	<b>k4</b>	<b>kp</b>
10	15	10	10	<b>45</b>
Relieve llano con pendientes moderadas	La textura del suelo es limo-arcilloso, franco arcilloso y arcilloso con alta tendencia a inundaciones por la baja permeabilidad del suelo	El 19.92 % del suelo urbano tiene cubierta vegetal nativa.	El suelo arcilloso tiene la capacidad de retener gran cantidad de agua, razón por la cual son suelos fácilmente inundables y excelentes para la agricultura por inundación.	<b>0.4625</b>

Fuente: Elaboración propia con base al Método de Peñuelas

Es importante destacar que para zonas urbanas con recubrimientos de concreto o pavimento el factor de escorrentía es igual a 1. El factor de 0.4625 se estimó con base al área superficial con cobertura vegetativa y suelo desnudo (sin concreto), el cual tiene características físicas que lo definen como arcilloso. Estimados y definidos los coeficientes, así como el área superficial se procede al cálculo de escorrentía. En el siguiente cuadro (Cuadro 11) se exhibe la estimación de escorrentía para el año 2017.

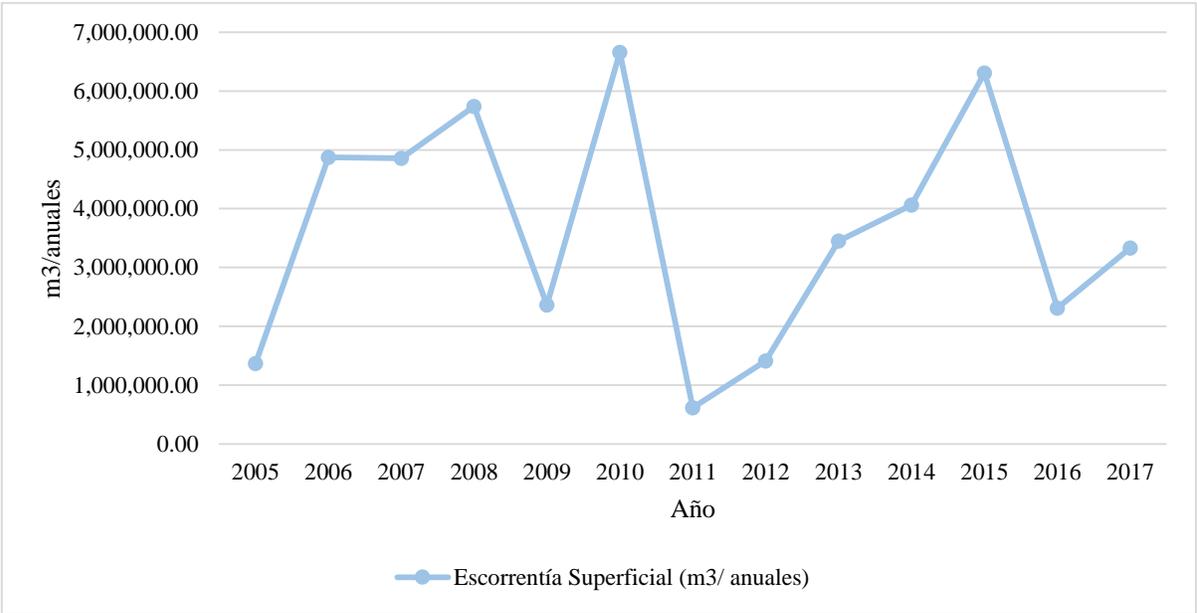
**Cuadro 11.** Escorrentía superficial del año 2017

Uso de Suelo y Cobertura Vegetal	km2	ha	m	Porcentaje equivalente	Textura del suelo	Coefficiente de escorrentía**	Precipitación (2017)	Precipitación ^2 = (m2)	Escorrentía (m3/anales)
<b>Fórmula: Esc. Anual (m3)= coef. De escorrentía* (PP anual/1000)2* sup (ha)*1000</b>									
Asentamientos urbanos	102.4931	10,249.31	10,249,314.77	79.01%	Arcilloso	1	523.2	0.27373824	2,805,629.39
Pastizal inducido	13.7111	1,371.11	1,371,111.09	6.59%		173,588.06			
Matorral Espinozo Tamaulipeco	4.3589	435.89	435,892.04	2.09%		0.4625			55,185.65
Agricultura de Riego y Temporal	23.4104	2,341.04	2,341,043.50	11.25%		296,385.32			
<b>Total (2017)</b>	<b>3,330,788.42</b>								

Fuente: Elaboración propia.  
 \*\*<https://www.ndspro.com/PDFs/Guides/definitive-drainage-guide.pdf>

Tomando en consideración la estimación del volumen de agua producto de la escorrentía superficial de la ciudad de Reynosa, la siguiente gráfica (Gráfica 12) muestra el volumen de agua anual que se integra al sistema de alcantarillado durante los doce años de estudio. Es importante mencionar que se considerarán los mismos valores de área superficial, es decir, la cobertura del suelo y vegetación, en los doce años de estudio debido a la falta de información cartográfica (.shp) correspondiente al año 2003 y 2010.

**Gráfica 12.-** Volumen de Agua de escorrentía que se integra al sistema de alcantarillado (2005-2017)



Fuente: elaboración propia

Es posible apreciar que a partir del año 2011 el volumen de agua ascendió gradualmente hasta el año 2015, posteriormente en el 2016 hubo una disminución de aproximadamente 4 millones de m<sup>3</sup> de agua. Precisamente, en ese mismo año se registraron las temperaturas más altas, con máximas de 32.5 °C y mínimas de 20.3°C. Finalmente, en el año 2017 hubo un ligero ascenso en el volumen de agua. Es importante mencionar a la temperatura como el factor más importante debido a que interviene en todo el CUA. Al influir directamente en los cambios de estado de la materia permite que el CUA se pueda estudiar a partir de etapas. Sin embargo, en el presente trabajo de investigación no se considerará a la evaporación como elemento integrador del

balance hídrico urbano. Es importante hacer mención que el análisis se realizó sobre “sistemas cerrados”, es decir, el transporte de agua potable hacia los usuarios, la colección y el envío de aguas residuales es a través de tuberías. En el siguiente apartado se describe el porcentaje de retorno de aguas residuales como factor esencial que debe contemplarse al contabilizar el volumen de agua vertido a los sistemas de alcantarillado. Este factor fue establecido por la CONAGUA en el año 2015, razón por la cual, no se consideró en el diseño del sistema alcantarillado. La COMAPA no ha realizado modernizaciones en sus redes de alcantarillado sólo reemplazos de tuberías fracturadas, conocidas como “caídos”. Un caído, es una fuga de aguas residuales de gran volumen.

#### *8.1.4.3 Retorno de Aguas Residuales al sistema de alcantarillado.*

Es importante hacer hincapié que no toda el agua utilizada para los diversos usos y fines ingresa al sistema de colección de aguas residuales por diversos factores; el riego de jardines, limpieza de viviendas, preparación de alimentos y colada de ropa son algunos ejemplos. Por lo tanto, con base a este planteamiento surge el establecimiento de un factor de retorno, el cual es diferente para cada sector. El factor de retorno de aguas residual se define como la proporción de agua utilizada que se devuelve al sistema de recolección de aguas residuales<sup>63</sup>. En áreas áridas de Estados Unidos, por ejemplo, el factor de retorno es de 40 por ciento, mientras que en las zonas periurbanas de Brasil es mayor a 80 (OPS & CEPIS, 2005).

En México, la CONAGUA estableció a través de la NOM-011-CONAGUA-2015, los factores de retorno para los diversos usos. Sin embargo, estos difieren en gran medida de los establecidos por la American Water Works Association (AWWS). Por otro lado, la NOM-011-CONAGUA-2015 no establece rangos máximos de retorno en periodos de lluvia y huracanes; en esa temporada la mayoría de los sistemas de alcantarillado colapsan por lo que la AWWS sugiere un factor de retorno hasta del 90 por ciento.

Por lo consiguiente, para la estimación de flujos de retorno de aguas residuales se tomaron como base los establecidos por la AWWS; la razón es minimizar el margen de error al estimar el volumen de agua que formará parte del sistema de colección y posteriormente como

---

<sup>63</sup> Definición adaptada del Vallecitos Water District Master Plan, 2018. Véase en: <http://www.vwd.org/home/showdocument?id=911>

parte del volumen a sanear. El siguiente cuadro (Cuadro 12) se exhibe los rangos y porcentajes de retorno establecidos por la AWWS.

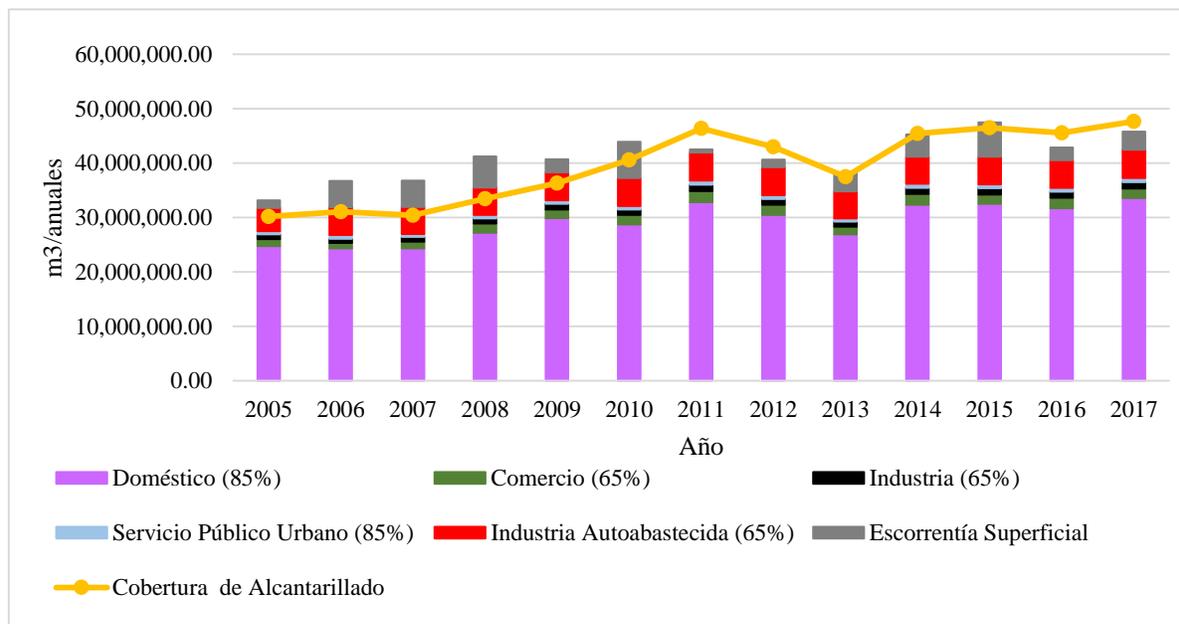
**Cuadro 12.** Porcentaje de retorno para cada sector establecido por la AWWS en el 2012.

PORCENTAJE DE RETORNO CON RELACIÓN AL RANGO DE LOS DIFERENTES USOS		
USO	% RANGO	% RETORNO
Público Urbano	80-90	85
Industrial	60-70	65
Doméstico	80-90	85

Fuente: American Water Works Association, “Principles of Water Rates, Fees, and Charges: Manual of Water Supply Practices M1”, Sexta edición 2012

El resultado de aplicar el factor de retorno a cada uno de los sectores que conforman el padrón de usuarios directos e indirectos de la COMAPA se expresa en la siguiente gráfica (Gráfica 13) para mayor información ver el **(Anexo G)**.

**Gráfica 13.** Volumen real colectado por el sistema de alcantarillado aplicando el porcentaje de retorno para cada sector establecido por la AWWS (2005-2017).



Fuente: Elaboración propia

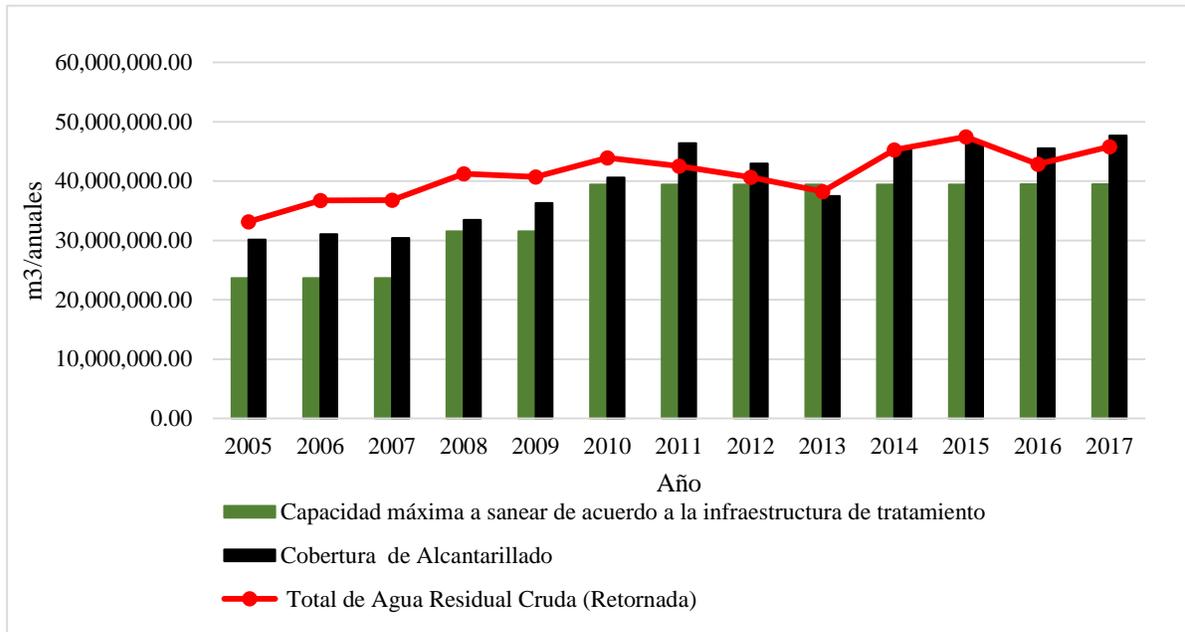
Finalmente es posible apreciar que el volumen de retorno de agua residual cruda procedente de los diferentes sectores es mayor a la capacidad máxima de colección del sistema de alcantarillado. Sin embargo, a partir del 2014 al 2017 es posible observar que el volumen de agua de retorno al sistema de alcantarillado es menor, esto se puede deber a diversos factores; i) 2013-2014 se redujo la producción de agua potable por las obras de revestimiento del canal “Rhode”, ii) aunque en el presente estudio no se considere al Agua No contabilizada, es importante mencionar que una proporción del agua potable que no se pierde por fugas, se factura como cuota fija. Esto implica que el volumen real consumido no se mide ni cobra de la forma correcta, sino que se establece un consumo promedio o básico por el servicio; iii) errores en la exactitud de los medidores, iv) consumo de agua de usuarios clandestinos y finalmente; v) los porcentajes de retorno de agua residual varían entre los establecidos a nivel internacional con los de México y los de América Latina y el Caribe. Claramente la facilitación y el acceso a la información por parte de los organismos operadores será fundamental para estimar con mayor exactitud los flujos de agua que circulan en el entorno urbano. En el siguiente apartado se detalla la última etapa que integra al balance de agua urbano, es decir, el saneamiento.

#### *8.1.5 Saneamiento*

Esta última etapa el volumen de agua residual retornada a los sistemas de alcantarillado es enviada a las unidades depuradoras para su saneamiento. Sin embargo, no todo el volumen colectado se trata y esto es debido a la falta de cobertura de saneamiento. En la siguiente gráfica (Gráfica 14) se presentan los volúmenes máximos de colección, saneamiento y retorno de agua residual cruda.

Es preciso aclarar que el agua residual cruda retornada ingresa a las plantas en calidad de volumen influente, es decir, volumen de entrada. Iniciado el proceso de saneamiento existen pérdidas de agua interna, las cuales pueden deberse a; i) purga de lodos residuales, ii) fugas internas en tuberías, iii) evaporación, iv) derrames en tanques y cárcamos de bombeo y; v) pérdidas teóricas por la toma de lectura incorrecta. El volumen de salida o efluente tiende a ser menor que el de entrada por los factores anteriormente descritos.

**Gráfica 14.** Evolución de los sistemas de colección, saneamiento y estimación del volumen de retorno de agua residual cruda del 2005 al 2017.



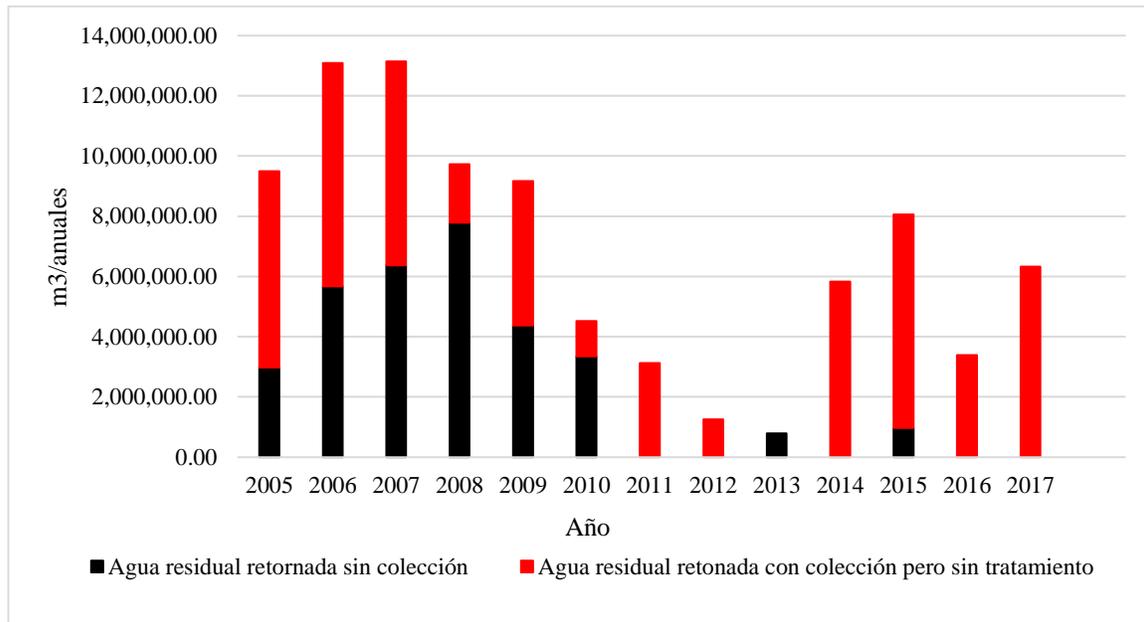
Fuente: Elaboración propia

En el apartado 8.1.4.3 se dieron a conocer los factores que influyen entre la estimación del volumen de agua cruda de retorno y la cobertura de alcantarillado. Por otro lado, en la gráfica 13 es evidente observar la diferencia entre la capacidad máxima de saneamiento y alcantarillado; 6, 322, 313.08 m<sup>3</sup> del agua residual retornada, equivalente al 13.80 por ciento, no se trató en el año 2017. A su vez, es posible apreciar que en el año 2013 se cumplió con el 100 por ciento del agua residual tratada debido a la baja producción de agua potable vinculada a las obras de revestimiento del canal “Rhode”.

Por instrucciones de la CONAGUA, el organismo operador debe al menos agregar una dosis de cloro al agua residual no tratada para después ser mezclada con el agua que sí se trata. En el (**Anexo H**) se muestran algunas fotografías tomadas al tanque de contacto de cloro y claramente es posible apreciar gran cantidad de sólidos asentados en el fondo del tanque producto del agua residual sin tratar. Finalmente, es de suma importancia mencionar que durante el análisis y estimación de flujos de agua residual generada, se detectaron grandes volúmenes de agua residual que es vertida a los cuerpos naturales totalmente cruda. En la siguiente grafica

(Gráfica 15) se exponen las dos condiciones en las que el agua residual queda expuesta sin tratamiento previo al medio ambiente y a la población.

**Gráfica 15.** Volumen estimado de agua residual sin tratamiento (2005-2017)



Fuente: Elaboración propia.

Aunque en los últimos tres años la capacidad del sistema de alcantarillado permitió la total colección del agua residual generada, a más de 17 millones de m<sup>3</sup> no le fue posible otorgar el tratamiento. Durante los doce años de estudio 85, 983, 067.70 m<sup>3</sup> de agua residual cruda fueron vertidos a cuerpos naturales.

En relación al volumen empírico saneado registrado en el 2017 por la plantas No.1 y No.2 fue de 33, 742, 483.00 m<sup>3</sup>/anales (**Anexo I**). Este volumen corresponde al flujo final de salida, es decir al efluente descargado. Desde del año 2014, la planta No.1 no cuenta con medidor de flujo de entrada por lo que se desconoce (empíricamente) el volumen de agua recibido; sin embargo se sabe que este debe de ser mayor al de salida. Es importante recordar que dentro de la instalación existen varios factores (mencionados en el presente apartado) que promueven la pérdida de agua. Por otro lado, la planta No.2 cuenta ambas mediciones, es decir, entrada y salida de agua residual (**Anexo J**). Ahora bien, con respecto al volumen teórico calculado a través de la metodología propuesta en el presente estudio, se logró estimar un

volumen de entrada de agua residual para las tres plantas (No.1, No.2 y No.3) de 39, 483,072.00 m<sup>3</sup>/anuales. Existe gran proximidad entre los volúmenes empíricos y los calculados por la metodología propuesta, por lo que se puede atribuir la aplicación y el empleo del presente estudio para calcular flujos actuales y futuros, y a partir de ellos, ejecutar proyectos de planeación y modernización en los sistemas de agua y alcantarillado.

Para mayor información y detalle acerca de las estimaciones empleadas para la cuantificación de dichos volúmenes, así como la matriz de análisis ver los anexos **(Anexo D)** y **(Anexo K)**. Antes de dar inicio al apartado 8.2 es preciso recapitular que cada etapa que integra al CUA emplea energía eléctrica (ver sección 6.5). Debido a la naturaleza del presente trabajo en el siguiente apartado sólo se dará a conocer el nexus energético-carbón en el CUAR.

### *8.2 Ciclo Urbano del Agua Residual y su nexus energético*

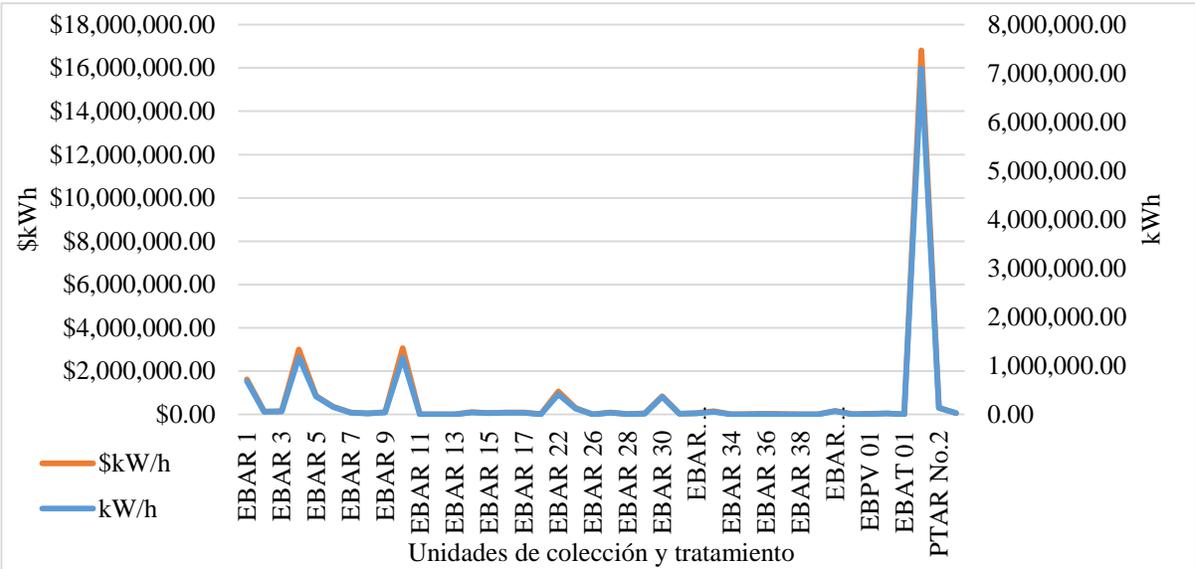
La importancia de incluir y analizar la demanda energética asociada a la provisión de los servicios públicos básicos ha tomado gran relevancia entre la comunidad científica e incluso, forma parte de las metas y objetivos de las agendas nacionales e internacionales (agenda 2030, ODS, PNH 2014-2018). Para hacer de este estudio un acontecimiento exitoso y relevante, cada vez más investigadores han comenzado a adoptar el enfoque del nexo agua-energía, principalmente- en el análisis de los servicios de alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reúso (Stepping, 2016).

Bajo esta perspectiva se analizó el CUAR en la ciudad de Reynosa; el presente apartado integra la estimación de la energía eléctrica consumida, así como las emisiones de GEI directas -asociadas a la quema de combustibles primarios empleados para el suministro de energía eléctrica- e indirectas, las cuales se vinculan al proceso de saneamiento y al agua residual cruda, es decir, el agua no tratada.

Es importante recapitular al CUAR como el más costoso debido al alto consumo energético; motivo por el cual los organismos operadores se han dado a la tarea de desarrollar estrategias de ahorro y eficiencia energética en cada una de las instalaciones. Estas acciones van desde apagar una bomba, hasta dejar de operar en horas pico. En noviembre del 2017, el

organismo operador de Reynosa pagó \$29, 995, 833.18 millones de pesos (M.N)<sup>64</sup> solo en las etapas que conforman el CUAR; -integrado por las etapas de colección de agua residual (alcantarillado-EBAR), tratamiento (saneamiento-PTAR) y descarga a cuerpos naturales (Saneamiento-EBAT)-. En el siguiente gráfico se exhiben los consumos energéticos (kW/h) y económicos (\$kW/h) de cada unidad de tratamiento y de los sistemas colectores que conforman el CUAR (Gráfica 16); la información detallada de cada consumo y costo por unidad se encuentra en el (Anexo L).

**Gráfica 16.** Consumo energético (kW/h) y económico (\$kW/h) en el CUAR-2017



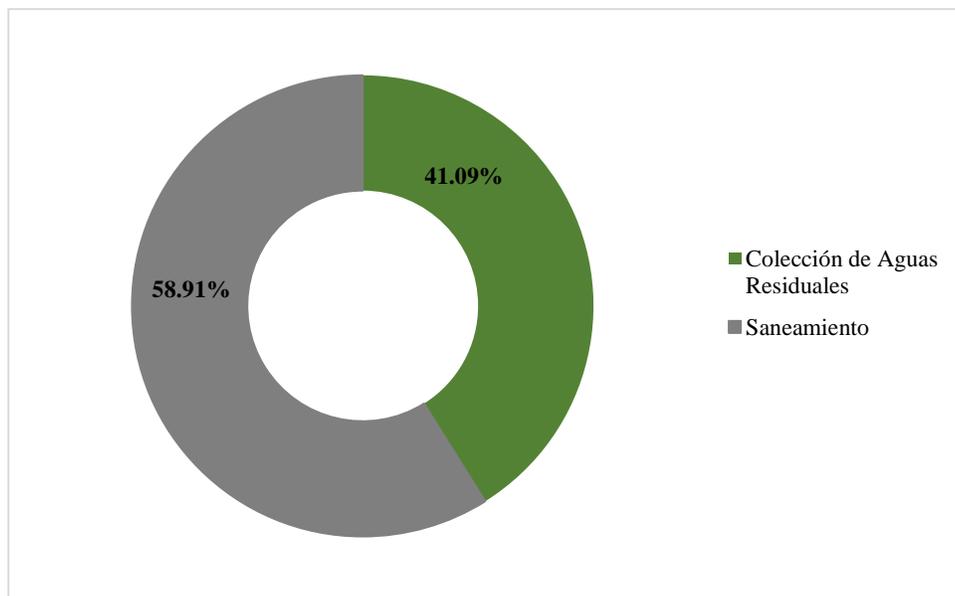
Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo noviembre-diciembre, 2017 y datos proporcionados por la COMAPA de Reynosa.

Es posible apreciar gráficamente que las estaciones de bombeo primarias (1, 4, 10, 13, 22 y 30) demandan mayores gastos energéticos debido al gran volumen de colección y transporte de agua residual hacia las PTAR’s, en comparación con los subcolectores secundarios. En conjunto, las cifras revelan que durante el año 2017 se consumieron 12, 325, 025.95 kW/anuales en el CUAR (Gráfica 17). Este consumo representa no sólo el gasto energético de sanear 33, 742, 483.00 m<sup>3</sup>/

<sup>64</sup> Estimaciones propias con base a la información proporcionada por el departamento eléctrico y electromecánico de la COMAPA.

anules de agua<sup>65</sup>, sino también, la emanación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) equivalentes por producción de electricidad. En el apartado 6.5 se mencionó que la energía eléctrica suministrada por la red de la CFE a la región noreste (incluida la franja fronteriza del estado de Tamaulipas), proviene de la carboeléctrica “Carbón II” localizada en el municipio de Nava, en Coahuila.

**Gráfica 17.** Porcentaje equivalente de consumo energético en el CUAR en el 2017.

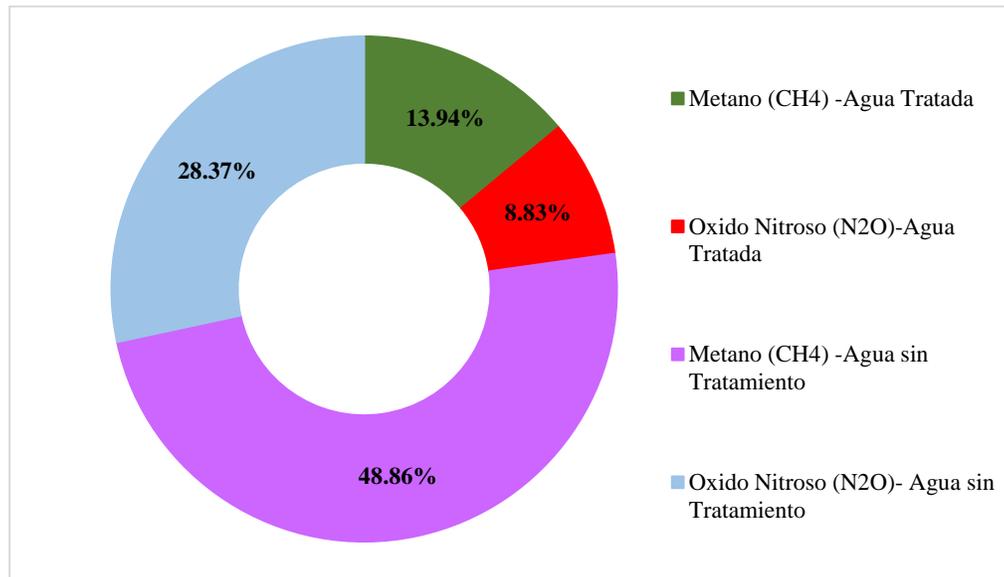


Fuente: Elaboración propia con base a datos de la COMAPA, 2017

Este consumo energético conlleva a la emanación de 9,231TonCO<sub>2</sub>eq/kWh de GEI. Para mayor detalle e información referente al cálculo de emisiones ver el [\(Anexo M\)](#). En relación a la emisión de gases indirectos por tratamiento de agua se estima que de los 33, 742, 438.00 m<sup>3</sup>/anuales de agua saneados y de los 6,322, 313.08 m<sup>3</sup>/ anuales de agua residual sin tratamiento en el 2017, se generaron 6,555TonCO<sub>2</sub>eq. La estimación de los GEI indirectos se realizó a través de la herramienta digital ECAM 2.0 Web Tool de WaCCliM. El sitio web para el cálculo y evaluación de los gases emitidos tomó como factor de emisión 0.45kgCO<sub>2</sub>/kWh (México). El gráfico (Gráfico 18) ilustra el porcentaje equivalente de las emisiones asociadas al agua residual. Consultar el [\(Anexo N\)](#) para mayor detalle en la estimación de GEI asociados al agua residual.

<sup>65</sup> Estimación propia con base a los datos operativos proporcionados por la COMAPA de Reynosa, 2017.

**Gráfico 18.** Porcentaje de emisiones de GEI indirectas en el Agua Residual (2017)



Fuente: Elaboración propia con base a WaCCliM, 2017

Es evidente observar que las emisiones de metano correspondientes al agua residual sin tratar se duplican a diferencia de las emitidas por agua tratada. Además es importante resaltar que el metano al no ser capturado retiene de 21-23 veces más el calor en la atmosfera y el óxido nitroso de 230 -310 veces más la retención de calor (IPCC, 2017). “La generación de N<sub>2</sub>O como subproducto ocurre en los procesos de nitrificación/desnitrificación en las plantas de tratamiento” (Nolasco, 2010). Finalmente, las emisiones totales de GEI vinculadas al CUAR son 15,786 TonCO<sub>2</sub>eq/anales. A continuación, de manera complementaria se presenta el cuadro 13 en el cual se detallan los costos por el nexa agua-energía; a su vez, se desglosa el volumen emitido por cada gas de efecto invernadero y contaminante atmosférico.

**Cuadro 13.** Costos del nexa agua-energía en el CUAR, 2017

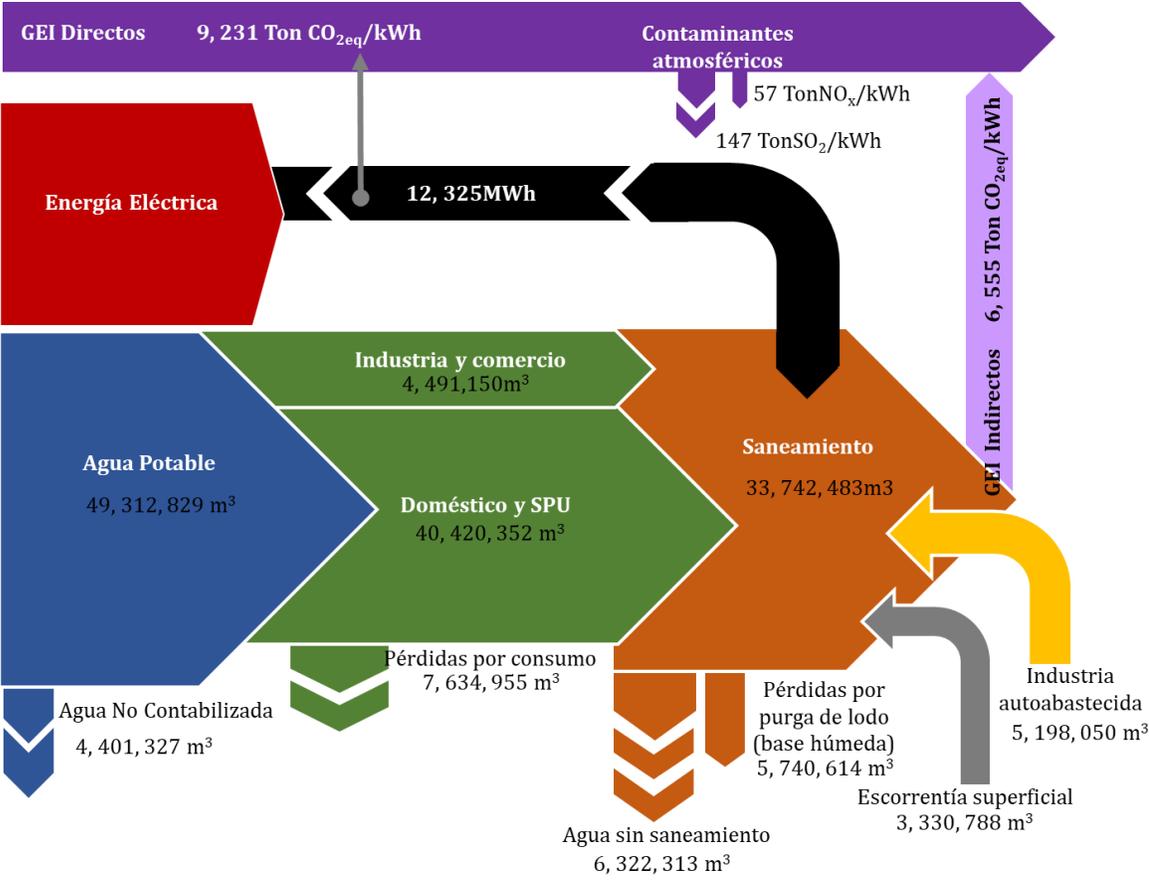
kWh consumidos	m <sup>3</sup> de agua saneados	Costo por colección y saneamiento		GEI Directos y Contaminantes (TON)			GEI Indirectos (TON)				Contaminantes atmosféricos		GEI Totales TonCO <sub>2</sub> eq/kWh	KgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> saneado	kWh/m <sup>3</sup>	SMN/m <sup>3</sup> saneado	USD/m <sup>3</sup> saneado
				Producción de energía eléctrica			Agua Tratada		Agua s/tratamiento		gSO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> saneado	gNO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup> saneado					
				CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O							
12,325,025.95	33,742,483.00	\$29,995,833.18	\$1,519,899.94	9,231	147	57	914	579	3,203	1,860	4.4	1.7	15,786	0.47	0.37	\$0.89	\$0.05

Fuente: Elaboración propia. \*<https://www.banamex.com/economia-finanzas/es/mercado-de-divisas/index.html> [31/12/2017]

Es importante hacer hincapié que el costo en M.N por metro cúbico saneado no incluye costos administrativos (salarios, capacitaciones, equipamiento de seguridad, etc), costos por mantenimiento preventivo y correctivo (reparaciones, compra de equipos, herramienta en gral.) costos de operación (gas cloro, reactivos para laboratorio, etc) y costos de capital. Por otro lado, las emisiones indirectas de CO<sub>2eq</sub> no integran los GEI asociados al consumo de diésel y gasolina por transportar los lodos residuales de la PTAR No.2 a No.1 debido a que el organismo operador no cuenta con la información.

Finalmente y con el propósito de representar y entender la conexión de los flujos de agua, agua residual, energía y gases asociados al CUAR, se exhibe la siguiente figura. Los datos expuestos corresponden a las estimaciones realizadas en el balance hídrico local para el año 2017.

**Figura 4.** Flujos metabólicos urbanos asociados al CUAR en Reynosa, Tamaulipas.



Fuente: Elaboración propia

### 8.3 Planta Tratadora de Aguas Residuales “Reynosa No.1”

Habiendo referido anteriormente la capacidad de tratamiento de cada sistema depurador, se presenta de manera complementaria el cuadro 14, en el cual se exhiben los volúmenes mensuales y anuales tratados por cada sistema depurador, así mismo; se detalla las pérdidas de agua por purgado de lodos<sup>66</sup> y el volumen final (efluente) vertido a cuerpos receptores.

**Cuadro 14.** Volumen estimado de agua residual colectada y vertida 2017 con base al 76 % de cobertura de saneamiento.

Volumen estimado de agua residual colectada y vertida, 2017													
Unidad de Tratamiento	Diseño de Operación (l/s)	Volumen de Operación (Influyente) l/s	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /mensual	m <sup>3</sup> /anuales	Porcentaje de coleccion	Pérdidas por purgado de lodo				Volumen de Operación (Efluente) l/s	Cuerpo receptor	
							Hora/día	Horas/mensual	Vol. Mensual (m <sup>3</sup> )	l/s			
P.T.A.R No.1	1,000	900	77,760.00	2,410,560.00	28,382,400.00	82.0%	6	120	27,648	10.323	873	Dren "El Anhele"	
P.T.A.R No.2	750	196	16,934.40	524,966.40	6,181,056.00	17.9%	2	40	2,160	0.806	189	Dren "Santa Anita"	
P.T.A.R No.3	2	2	172.80	5,356.80	63,072.00	0.2%	...	...	...	...	2	...	
<b>TOTAL</b>	1,752	<b>1,098</b>	<b>94,867</b>	<b>2,940,883.20</b>	<b>34,626,528.00</b>	100.0%	...	...	...	...	<b>1,064.00</b>	...	

Fuente: Estimaciones propias con base a datos operativos de la COMAPA de Reynosa, 2017

Es relevante enfatizar que el 82 por ciento<sup>67</sup> del agua residual municipal colectada por el sistema de alcantarillado es conducida a la planta No.1 a través de cuatro Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales (E.B.A.R) 1, 4, 10 y 13 o también llamados operativamente “cárcamos”. Dentro de la PTAR, a la unidad receptora de dicho caudal se le denomina “caja de llegada”. Posteriormente, el flujo es conducido hacia el área de pre-tratamiento para después ser bombeado hacia dos trenes de 500 l/s cada uno y continuar con el tratamiento secundario en un arreglo en “paralelo”. Para mayor detalle de las estimaciones empleadas para el cálculo de la

<sup>66</sup> La purga del lodo (excedencias) se realiza con el propósito de mantener un número óptimo de microorganismos (protozoos, hongos, rotíferos, filamentosas, etc) en el sistema de tratamiento. El personal debe realizar análisis de laboratorio semanales con el propósito de estimar la periodicidad y la cantidad correcta de lodo que debe ser extraído del sistema. Si esta no es calculada correctamente, la calidad del agua a la salida de la planta es deficiente, el consumo de oxígeno y/o aire es mayor (mayor cantidad de microorganismos mayor demanda de oxígeno), formación de espumas (nocardia) y una elevada concentración de los Sólidos Suspendidos en el Licor Mezcla (SSLM).- (los SSLM se producen en el tanque de aireación (también llamado bioreactor, reactor biológico o reactor aeróbico) combinando el agua residual afluyente (también llamada influente o cruda) con el lodo activado reciclado procedente de los tanques de sedimentación secundarios. Esta mezcla debe de ser aireada a través de sopladores o difusores de aire u oxígeno (superficiales o sumergidos) para formar el licor mezcla. La concentración óptima de oxígeno debe de ser 1.5 a 2.0 mg/L en todas las áreas del tanque de aireación y debe contener de 1,200 a 4,000 mg/L de SST).

<sup>67</sup> Estimación de acuerdo a la cobertura de saneamiento y del caudal medio anual tratado. Tablero y Evaluación de COMAPA de Reynosa, 2017.



### 8.3.1).- Pretratamiento

- *Rejillas de desbaste y cribado (fino y grueso)*: Retiene y separa los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)<sup>69</sup> de gran volumen, llantas, redes de pesca, etc. Por otro lado, las cribas retienen sólidos de menor tamaño tales como, piedras, vegetación, cabello, preservativos e incluso cigarrillos y colillas. En la PTAR No.1 cuentan con dos unidades de cribado, una gruesa (>20mm) y una fina (<6mm).
- *Desarenador*: elimina las arenas y gravilla del agua arrastradas por la succión de las bombas con el fin de evitar problemas operaciones tales como azolves, taponamientos en tuberías, daños en equipos de bombeo (mecanismo) y en medidores de flujo. Cuentan con dos unidades desarenadoras tipo “vortex” de geometría circular. En la parte central del desarenador hay un mecanismo agitador con aspas que induce una corriente tipo “vortex” (remolino) que fuerza el paso de las partículas inorgánicas, es decir, la arena y la gravilla hacia una cámara central instalada en el fondo. Las partículas sedimentadas se extraen del desarenador de manera continua mediante un dispositivo “air lift”. Posteriormente son conducidas a un transportador/ lavador de arena tipo tornillo que finalmente deposita el material en contenedores de almacenamiento. El agua utilizada en el lavado es enviada al cárcamo de recuperación.

### 8.3.2).- Tratamiento Secundario

- *Reactor Pre-anóxico*: antes de describir la fase pre-anóxica<sup>70</sup> es importante dar a conocer que la elección de este proceso es evitar la eutrofización antrópica en suelo arcilloso<sup>71</sup> por la presencia de nitrógeno en el agua residual, derivado de la actividad industrial. Aclarado este punto, es fundamental hacer hincapié que la eliminación de nitrógeno será a través de bacterias (*Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*,

---

<sup>69</sup> Son los residuos producidos por los habitantes, generalmente está compuesta por *i) Materiales plásticos*: botellas, bolsas, taparrosas, popotes, cubiertos, embalajes etc. *ii) Papel y Cartón*: periódico, revistas, cajas, embalajes etc. *iii) Vidrio*: botellas, *iv) metales*: latas.

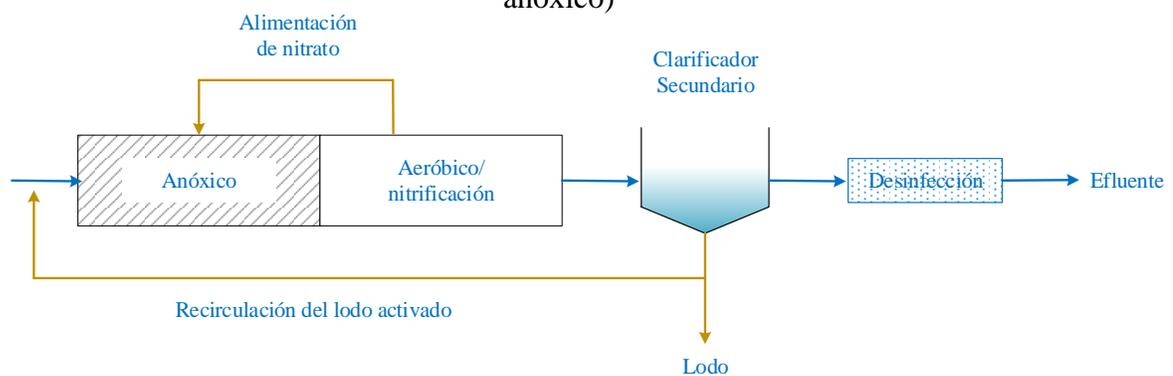
<sup>70</sup> Proceso de tratamiento biológico que ocurre en ausencia de oxígeno disuelto donde el nitrato y el nitrito son usados como aceptores principales de electrones en reacciones de oxidación/ reducción biológica. La desnitrificación biológica es un ejemplo de proceso anóxico (Metcalf & Eddy, 2014).

<sup>71</sup> Suelos de los ríos. Compuesto –principalmente- por silicio y aluminio.

Bacillus, Chromobacterium, Corynebacterium, Flavobacterium, Halobacterium, Hypomicrobium, Methanomonas, Moraxella, Neisseria, Paracoccus, Propionibacterium, Pseudomonas, Rhizobium, Rhodopseudomonas, Spirillum y Vibrio (Payne, 1981 y Gayle, 1989)). Razón por la cual, se denota el término “biológico”. Estas deben “trabajar y reproducirse” en un medio óptimo para degradar y finalmente, eliminar la presencia de sales nitrificantes en el agua. Dicho de otra manera, la eliminación total de nitrógeno se lleva a cabo a través de la reducción<sup>72</sup> de nitratos (NO<sub>3</sub>-N) y nitritos (NO<sub>2</sub>-N) a gas nitrógeno (N<sub>2</sub>).

El sustrato orgánico o materia orgánica del influente cede o dona el electrón que le hace falta al nitrito para convertirlo en gas. En caso de no existir dicho sustrato orgánico (el cual proporcionan naturalmente las aguas residuales influentes en forma de DBO<sub>5</sub> biodegradable) se debe optar por fuentes de material carbonoso externo tales como metanol, etanol o ácido acético para que ocurra la desnitrificación sin embargo, esta acción incrementaría los costos por adición de reactivos e infraestructura adicional. Los organismos operadores municipales que emplean este tipo de procesos se inclinan hacia el suministro natural de agua residual como fuente de carbono. A esta configuración se le conoce Luzdak-Ettinger- Modificada (U. S EPA, 1993) (Figura 6).

**Figura 6.** Diagrama esquemático de la configuración Luzdak-Ettinger Modificada (Pre-anóxico)



Fuente: Elaboración propia con base a Metcalf & Eddy, 2014

<sup>72</sup> Compuesto o elemento químico que recibe, gana o capta electrones para alcanzar en estado de equilibrio químico.

Por cuestiones teóricas y de diseño, la reacción óxido- reducción (donador-receptor de electrones) debe efectuarse en tanques rectangulares o semicirculares y obligatoriamente debe proceder a este proceso un tanque aeróbico, biológico o también llamado de aireación debido a que ahí ocurre la reacción de nitrificación. Químicamente la nitrificación-nitritación ocurre cuando el amoníaco se oxida (en presencia de oxígeno o aire) en un 75 por ciento dando lugar a la formación de un mol de nitrito. Posteriormente, este contenido nutritivo debe recircularse hacia el reactor anóxico para que al entrar en contacto con la fuente de carbón externa –proporcionada por el agua residual influente- se lleve a cabo la reducción del nitrito a gas nitrógeno y por lo tanto, la desnitrificación.

Es importante mencionar que en condiciones anóxicas, las bacterias heterotróficas sólo requieren el 60 por ciento del contenido carbonoso presente en el agua residual. Existe un arreglo similar denominado post-anóxico; en esta configuración el tanque de aireación es ubicado antes de la eliminación biológica de nitrógeno. Algunos autores coinciden en que optar por sistemas post-anóxicos sólo es viable cuando se desea una etapa de pulido antes de descargar el efluente al cuerpo receptor, debido a que la tasa de desnitrificación es mucho más lenta, en un factor de 3 a 6 en comparación con la pre-anóxica, la cual elimina más el 75 por ciento de compuestos nitrogenados (Metcalf & Eddy, 2014).

- *Reactor biológico o tanque de aireación:* El proceso básico de lodos activados se lleva a cabo en un reactor o tanque de aireación, ahí los microorganismos/bacterias deben mantenerse suspendidas y en aireación. El diseño del tanque de aireación principal de la planta No.1 permite que todos los componentes del agua residual (coloides, partículas suspendidas, sustancias orgánicas solubles -en forma de DBO<sub>5</sub> y Sólidos Suspendidos Totales-) sean mezclados de forma completa, (Complete-Mix Activated Sludge (CMAS) por sus siglas en inglés); la idealidad de este sistema es homogeneizar las concentraciones de los sólidos solubles (DQO, DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub>-N), sólidos coloidales y suspendidos y, que esta no varíe con la ubicación de la zona de aireación. Al resultado de airear y combinar todos los componentes se le conoce como *licor mezcla*. Por otro lado, al mecanismo que inyecta

aire al sistema se le conoce como difusor, existe la modalidad de burbuja fina<sup>73</sup> o gruesa<sup>74</sup> y la elección de este dependerá de las características de diseño. Los difusores empleados en el sistema de aireación de la planta 1 son del tipo burbuja fina.

Análogamente, para la planta 1 se optó por incluir un tanque selector precedente al de aireación para controlar el crecimiento de bacterias filamentosas<sup>75</sup>; en este tanque selector, el cual debe ser más pequeño que el de aireación, las aguas residuales entrantes o influentes se mezclan con el lodo de retorno en condiciones aeróbicas (procedente del clarificador secundario- también llamado Sólidos Suspendidos en el Licor Mezcla (SSLM)) a fin de favorecer el crecimiento de los microorganismos bacteriológicos formadores de flóculos y suprimir el crecimiento de bacterias filamentosas que causan la acumulación de lodo; además, al eliminarse permite que la materia orgánica biodegradable sea consumida únicamente por las bacterias formadoras de flóculos (Metcalf & Eddy, 2014). El resultado, será un lodo activado con mejores propiedades de sedimentación y espesamiento; a este tanque selector se le conoce como reactor pre-anóxico (para mayor información leer el apartado anterior).

Es importante mencionar que se debe tener cuidado con dos aspectos fundamentales; el primero es asegurarse que el contenido del reactor aeróbico este completamente mezclado y el segundo, que al seleccionarse los puntos de recirculación y alimentación del influente estos se encuentren separados de la salida del agua hacia clarificador secundario para evitar un cortocircuito en el agua previamente tratada con el agua cruda.

- *Clarificadores secundarios:* Antes de dar inicio a este apartado, es necesario aclarar que el sistema de tratamiento de la PTAR No.1 no cuenta con clarificadores primarios debido a que las condiciones climáticas cálidas de la ciudad estimula y/o acelera la descomposición de la materia orgánica contenida en el agua residual dando como resultado, la generación de malos olores. Aclarado este punto, los sistemas de clarificación secundarios toman un rol

---

<sup>73</sup> Es un sistema de poros finos en el que el aire es generado a través de dispositivos cerámicos, plásticos o membranas flexibles, tales como, cúpulas, tubos, discos, placas o configuraciones de paneles.

<sup>74</sup> Los difusores de aire del tipo burbuja gruesa son mecanismo no porosos, es decir, en el cual el aire es generado a través de dispositivos con orificios, inyectores y boquillas. Esto significa que el tamaño de la burbuja de aire generada es de mayor dimensión.

<sup>75</sup> Promueven la acumulación de lodo y producción de espumas.

importante en la continuidad y soporte del sistema de lodos activados por dos razones; la primera es eliminar el 99.5 por ciento los Sólidos Suspendidos Totales (SST) del licor mezcla en el efluente tratado y dos, espesar el lodo sedimentado a fin de reducir su volumen antes de que este sea recirculado hacia el reactor preanóxico para mezclarlo y tratarlo con aguas residuales afluentes (Metcalf & Eddy, 2014).

El propósito de incluir en los sistemas de tratamiento de lodos activados decantadores secundarios es obtener un efluente estable, bien clarificado y con baja concentración de materia orgánica en forma de  $DBO_5$  y SST (Metcalf & Eddy, 2014). El diseño de los tanques clarificadores en la planta son del tipo circular, en la parte central posee un mecanismo que permite recolectar el lodo y remover las natas que se forman en la superficie (eliminación de espumas); este lodo es dirigido hacia una tolva central la cual permite que éste se aglomere para formar una sola masa y posteriormente por gravedad pueda sedimentar y a su vez, depositarse en el fondo del tanque. “A medida de que las partículas continúan asentándose, comienzan a fusionarse formando una suspensión espesa” (Metcalf & Eddy, 2014: 889); esta manta o colchón de lodos como también se le conoce operativamente sufre un engrosamiento en la parte inferior del clarificador. La Tasa de Desbordamiento de Superficie (SOR, por sus siglas en inglés) y la Tasa de Carga de Sólidos (SLR, por sus siglas en inglés) son los dos parámetros empelados para analizar el rendimiento del clarificador y de ellos depende la fracción de lodo a recircular (Return Activated Sludge-RAS) hacia el tanque de aireación. Para mayor detalle acerca de las reacciones que ocurren al retornar lodo residual activado hacia el tanque de aireación leer el apartado anterior.

Se debe tener especial cuidado en no exceder el volumen del manto de lodos (depositado en el inferior del tanque) debido a que al ocupar mayor área de la que originalmente (por el diseño) se tiene contemplada, puede haber desbordamientos en los vertederos e incluso en el tanque ocasionado por el incremento en la velocidad del flujo, principalmente en horarios pico; por tal motivo para mantener niveles regulados y un proceso estable, estas excedencias deben eliminarse del sistema. A esta acción se le conoce como purgado de lodos, los cuales son dirigidos hacia dos tanques rectangulares denominados digestores aerobios para su estabilización. Para mayor información leer el apartado 8.3.4. Finalmente, el efluente clarificado es enviado hacia el tanque de contacto

de cloro para la eliminación de patógenos. En el siguiente apartado se describirá a detalle el proceso de desinfección.

### **8.3.3).- Desinfección**

- *Tanque de contacto de cloro:* la desinfección se efectúa concluidas todas las etapas del tratamiento físico, químico- biológico. Después de permanecer en el clarificador secundario, el agua es dirigida hacia un tanque de cloración con el propósito de maximizar el tiempo de contacto entre el agente desinfectante (gas cloro) y el líquido a desinfectar (Metcalf & Eddy, 2014). El diseño de la unidad de desinfección de la planta 1 consiste en tanque rectangular con tuberías largas que se utilizan para la aplicación de cloro diluido. En este sitio el agua debe permanecer 15-90 minutos a fin de garantizar una desinfección efectiva. Finalmente el agua tratada es vertida en el dren “El Anheló” el cual desemboca directamente en el río Bravo.

### **8.3.4).- Tratamiento de lodos:**

- *Digestor aerobio convencional:* Antes de iniciar con el presente apartado es preciso señalar que el principal objetivo de la digestión aeróbica es reducir la masa de sólidos (de 30-35 %) para su eliminación (Metcalf & Eddy, 2014). Emplear este tipo de tecnología permite obtener lodos con clasificación B. La digestión aeróbica de los lodos es muy similar al proceso de lodo activado; es decir, a medida que se agota el suministro de sustrato orgánico carbonoso (materia orgánica) el cual se desempeña como alimento, los microorganismos (bacterias) comienzan a consumir su propio protoplasma para obtener energía. Aproximadamente del 75 al 80 por ciento del tejido celular de la bacteria puede oxidarse formando dióxido de carbono, agua y amoníaco; el 20 al 25 por ciento restante que no se oxida está integrado por compuestos inertes y compuestos orgánicos que no son biodegradables. El amoníaco se oxida a medida que avanza la digestión, por otro lado, los sólidos suspendidos volátiles (SSV) permanecerán en los lodos digeridos.

Es importante recapitular que al igual que los tanques de aireación, los digestores aerobios cuentan con dispositivos de inyección de aire del tipo burbuja fina para asegurar la

correcta homogenización de la mezcla y actuar como agente oxidante. El resultado será un lodo digerido color café a café oscuro y con un aspecto floculante, el olor es inofensivo y tiende a compararse con un olor a “tierra mojada”. Es importante destacar que el tiempo del proceso de digestión para obtener lodos tipo B es de 40 días a 20°C o 60 días a 15°C con un contenido (en líquido) de oxígeno disuelto de 1-2 mg/l (Metcalf & Eddy, 2014: 1541). Después de concluir esta etapa los lodos digeridos deben de secarse en camas de secado o en filtros prensa para su deshidratación o desaguado. Sin embargo, en la PTAR No.1 el área destinada para desaguado se encuentra fuera de servicio desde más de 5 años por lo que al concluir con la estabilización y reducción de volumen del ahora llamado “biosólido” este es conducido (sin desaguar) hacia el sistema lagunar que anteriormente se utilizaba para la depuración de aguas residuales. Finalmente es importante agregar que no se adicionan activos acondicionadores (polímeros) para mejorar las propiedades de secado.

- *Lagunas de secado:* habiendo descrito anteriormente la falta de camas de secado y de acondicionamiento al lodo digerido, las lagunas desde hace cinco años se emplean como sustituto de estos equipos para desaguar el agua contenida en los biosólidos. Este sistema está comprendido por 16 unidades rectangulares. Por lo general, este tipo de sistemas se emplean en áreas con climas cálidos en los que existen altas tasas de evaporación, el cual servirá como mecanismo de deshidratación de los biosólidos. Debido a las condiciones geológicas y topográficas de la ciudad, el empleo de lagunas no impacta a los sistemas de drenaje subsuperficial debido a que más del 80 por ciento del suelo está compuesto por arcilla. Para mayor detalle sobre la topografía, relieve y edafología del suelo ver el apartado 8.1.4.2.1. El agua -producto de la decantación- es recirculada hacia el reactor preanóxico.

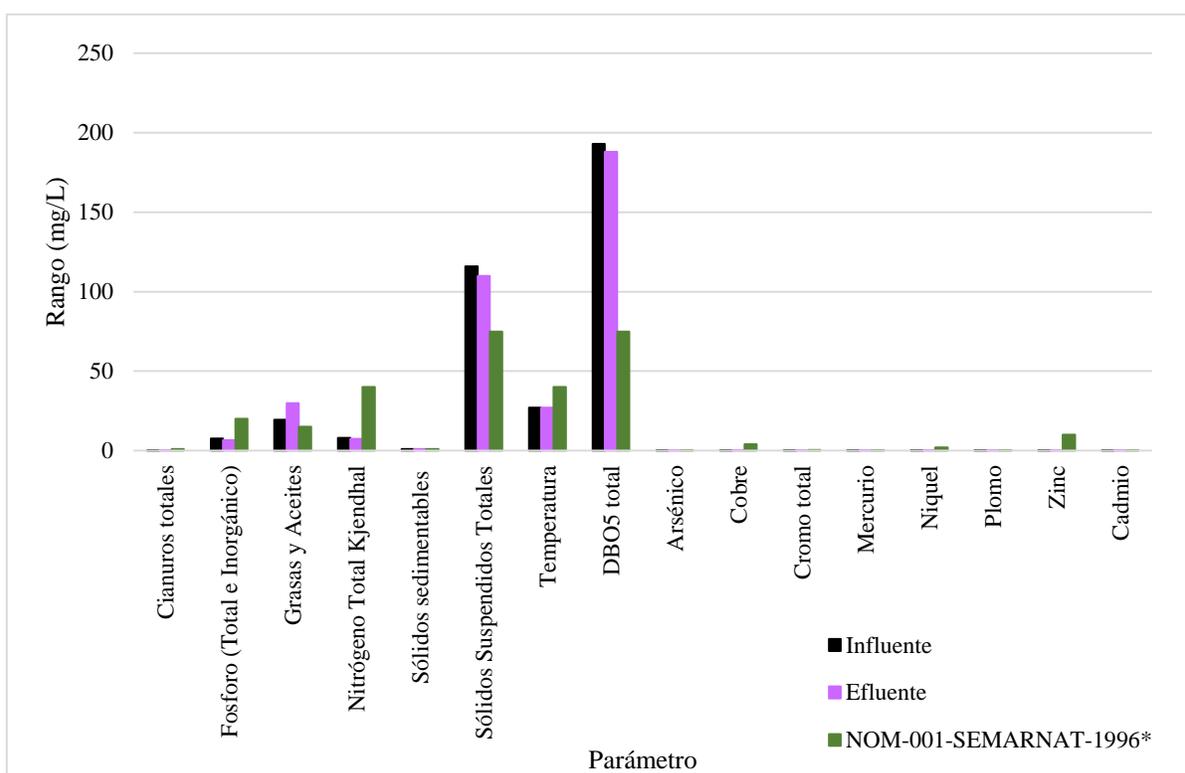
Es importante destacar que cuando se realizan recirculaciones en sistemas que operan con sistemas de eliminación biológica de nutrientes (nitrógeno o fósforo) como la PTAR No.1, se debe tener cuidado de no desestabilizar el proceso debido a que el agua rica en nutrientes a recircular entra al sistema y por ende demandará mayor cantidad de aire y químicos (carbón orgánico externo) (Metcalf & Eddy, 2014). Finalmente, el empleo de las lagunas como sistemas de almacenamiento de agua y biosólidos a largo plazo se considera

una práctica simple y económica, siempre y cuando esta se ubique en lugares alejados de la zona urbana.

### 8.3.5 Calidad de Agua y lodo residual de la PTAR No.1

Durante el trabajo de campo realizado fue posible detectar algunas deficiencias en la operación. Los datos de calidad del agua influente de la planta 1 presentan altas concentraciones de DQO, grasas y aceites y sólidos suspendidos; en la siguiente gráfica se dan a conocer algunos de los parámetros de calidad del agua medidos en abril del 2017.

**Gráfica 19.** Calidad del Agua (influyente-efluente) de la PTAR No.1, 2017



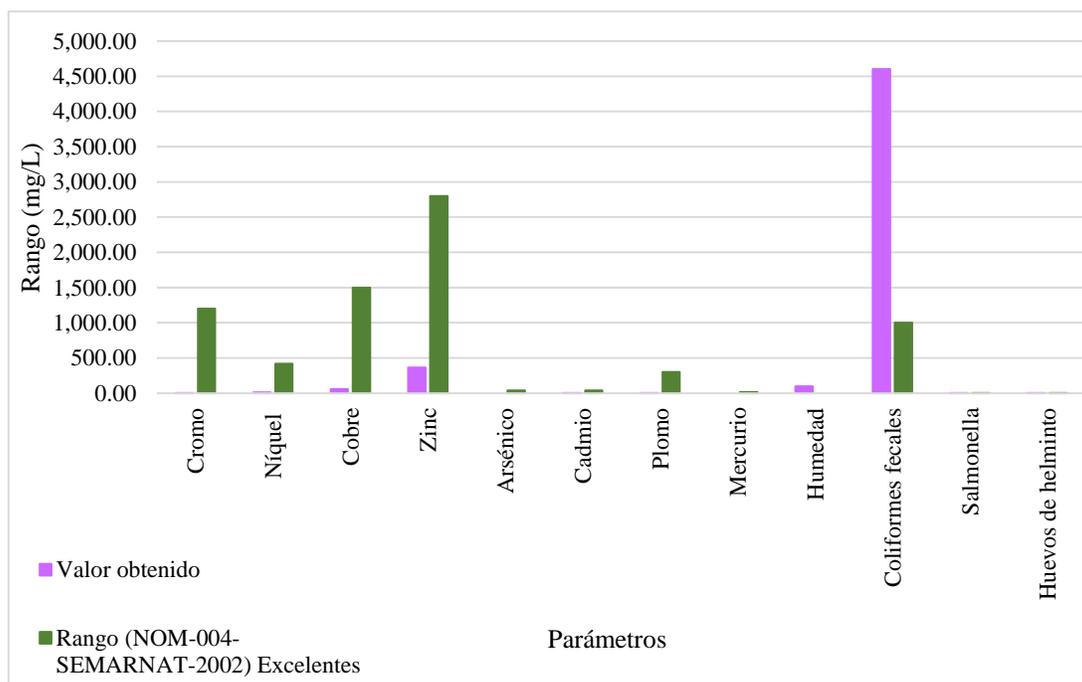
Fuente: Elaboración propia con base a datos de la COMAPA, 2017

Gráficamente es posible apreciar el incremento de grasas y aceites a la salida del agua tratada, la casi nula remoción de carga contaminante en forma de DBO<sub>5</sub> y el alto contenido de sólidos suspendidos totales. Es importante mencionar que esta unidad de tratamiento recibe gran

cantidad de descargas domésticas, hecho que se refleja en la alta concentración de contaminantes orgánicos y la baja concentración de compuestos inorgánicos (fósforo y nitrógeno) y metales pesados, incluso algunos por debajo de lo establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996. Los límites máximos permisibles considerados en el presente análisis corresponden a los propuestos para cuerpos receptores naturales. En el caso de la planta 1, el agua residual tratada se vierte en el dren “Anheló” el cual desemboca directamente al río bravo, por lo que la selección de rangos fue dentro de los propuestos para ríos, uso público urbano y promedios diarios **(Anexo Q)**.

Por otro lado, la calidad de los lodos residuales (de ambas plantas) se clasifica como excelente con base a lo establecido por la NOM-004-SEMARNAT-2002. Es posible atribuir la eficiencia en la remoción de gran cantidad de contaminantes debido al sistema lagunar existente, de cierta manera, contribuye a mejorar las condiciones físicas y químicas del biosólido. Para mayor información acerca del funcionamiento de este sistema leer el apartado 8.3.4. A continuación se presentan los resultados de laboratorio realizados a una muestra de lodos extraída del sistema lagunar a finales del mes de abril del 2017. Para mayor detalle sobre los resultados de la calidad del lodo y la metodología empleada para la medición de dichos parámetros ver el **(Anexo R)**.

**Gráfica 20.** Calidad del lodo residual (biosólidos) de la PTAR No.1 y No.2, 2017



Fuente: elaboración propia con base a datos de la COMAPA, 2017

Gráficamente es posible apreciar la gran cantidad de coliformes fecales presentes en el lodo residual estabilizado; es relevante mencionar que un proceso depende del otro, por lo que la baja remoción de materia orgánica en el agua tratada (en forma de  $DBO_5$  y SST) se ve representada en la baja eficiencia de eliminar las coliformes fecales (excretas) en los lodos residuales por dos razones; i) los digestores aerobios y las lagunas no son sistemas complementarios al tratamiento del agua residual, únicamente actúan como medios estabilizadores de lodo para inhibir la generación de malos olores, reducir el volumen de lodos y patógenos (gusanos, salmonella, huevos de helminto y larvas); ii) la concentración de excretas presentes en el lodo indica que éste actúa como medio filtrante del agua; es decir, ocurre un proceso de percolación del agua debido a que esta fluye a través de 16 unidades lagunares antes de ser recirculada al reactor preanóxico. En el siguiente apartado se dan a conocer las actividades y prácticas de operación que impactan negativamente en la calidad química del agua y lodo residual. Finalmente, los datos de calidad del agua reflejan un diagnóstico de la situación actual del proceso y a su vez, se consideran como el primer paso para contrarrestar un mal funcionamiento y poder tomar acciones oportunas.

### *8.3.6 Prácticas operativas en la PTAR No.1*

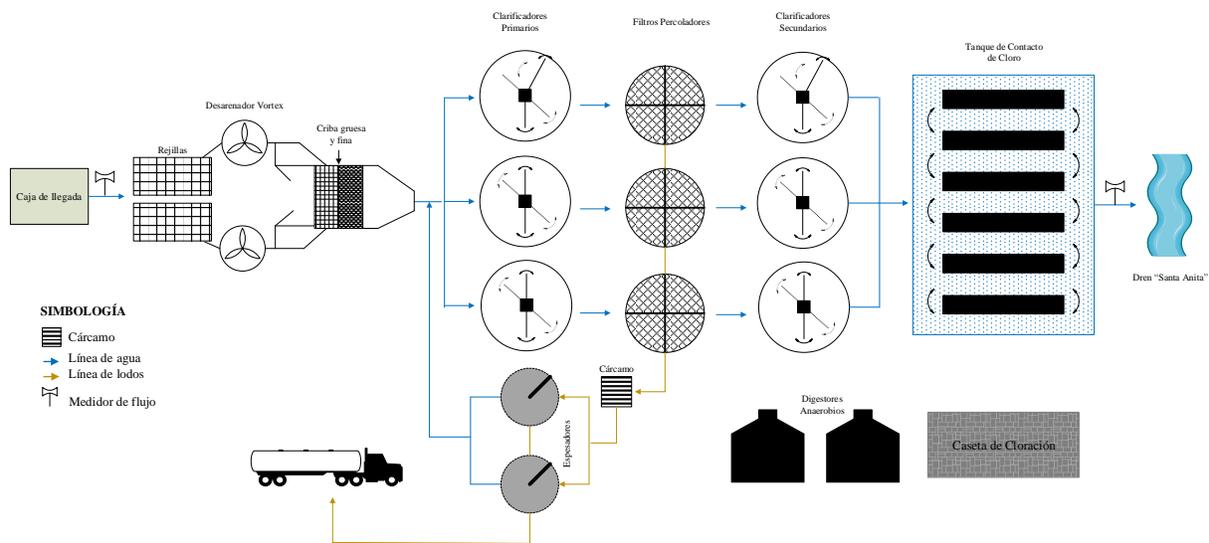
Durante el desarrollo y la descripción de la tecnología de tratamiento descrita en el apartado 8.3.1, se dieron a conocer las prácticas empíricas realizadas y cómo el personal operativo maneja dichas instalaciones. Existe una gran diferencia entre lo real y lo establecido metodológicamente para tratar el agua residual de manera exitosa. En primer lugar, la falta de desengrasadores en el pretratamiento inhibe la degradación de la materia orgánica contenida en el agua residual; ii) no se realizan recirculaciones del reactor aeróbico hacia el reactor anóxico, por lo que la desnitrificación no ocurre y por ende, la falta de bacterias heterotróficas que consuman la materia orgánica biodegradable –presente en las aguas residuales afluentes– incrementa la concentración de  $DBO_5$  y SST en todo el sistema; iii) al tener altas concentraciones de materia orgánica se requiere mayor cantidad de oxígeno en el tanque de aireación; acción que conlleva al incremento del consumo eléctrico; iv).- el empleo de digestores aerobios se considera como una vía correcta de tratar lodos por sistemas de lodos activados. “Los sistemas de digestión aerobia son comúnmente empleados para tratar lodos de

procesos aeróbicos (procesos de lodos activados, procesos híbridos de filtro percolador con lodo activado, sistemas unitarios de filtros percoladores y procesos de aireación extendida)” (Metcalf & Eddy, 2014: 1541). Finalmente es importante mencionar que el empleo del sistema lagunar como lagunas de almacenamiento de biosólidos es una práctica positiva que permite mejorar la calidad del lodo residual y del agua residual recirculada. No obstante, se debe tomar acción inmediata en corregir los problemas operacionales anteriormente descritos a fin de garantizar un efluente de calidad. En el apartado 8.4.9 se describe el potencial energético de los lodos residuales de la planta 1.

## 8.4 Planta Tratadora de Aguas Residuales “Reynosa No.2”

En el presente apartado se dará a conocer la infraestructura y las etapas que conforman el proceso de tratamiento de la PTAR No.2. Se debe tener en consideración que cada etapa cuenta con una función en específico que al unirse o complementarse debe proporcionar un efluente<sup>76</sup> de calidad. A continuación se presenta el diagrama de flujo y se describen las etapas del sistema de tratamiento, las operaciones unitarias y la bioquímica del proceso aeróbico natural de filtros percoladores del tipo soporte sólido no sumergido de la PTAR No. 2.

**Figura 7.** Diagrama de flujo de la Planta Tratadora de Aguas Residuales “Reynosa No.2”



Fuente: Elaboración propia

### 8.4.1 Pretratamiento

- *Rejillas de desbaste y cribado (fino y grueso):* Retiene y separa los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)<sup>77</sup> de gran volumen, llantas, redes de pesca, etc. Por otro lado, las cribas retienen sólidos de menor tamaño tales como, piedras, vegetación, cabello, preservativos e

<sup>76</sup> Salida del agua tratada.

<sup>77</sup> Son los residuos producidos por los habitantes, generalmente está compuesta por i) *Materiales plásticos:* botellas, bolsas, taparrosas, popotes, cubiertos, embalajes etc. ii) *Papel y Cartón:* periódico, revistas, cajas, embalajes etc. iii) *Vidrio:* botellas, iv) *metales:* latas.

incluso cigarrillos y colillas. En la PTAR No.2 cuentan con dos unidades de cribado, una gruesa (>20mm) y una fina (<6mm).

- *Desarenador*: elimina las arenas y gravilla del agua arrastradas por la succión de las bombas con el fin de evitar problemas operaciones tales como azolves, taponamientos en tuberías, daños en equipos de bombeo (mecanismo) y en medidores de flujo. Cuentan con dos unidades desarenadoras tipo “vortex” de geometría circular. En la parte central del desarenador hay un mecanismo agitador con aspas que induce una corriente tipo “vortex” (remolino) que fuerza el paso de las partículas inorgánicas, es decir, la arena y la gravilla hacia una cámara central instalada en el fondo. Las partículas sedimentadas se extraen del desarenador de manera continua mediante un dispositivo “air lift”. Posteriormente son conducidas a un transportador/ lavador de arena tipo tornillo que finalmente deposita el material en contenedores de almacenamiento. El agua utilizada en el lavado es enviada al cárcamo de recuperación.

#### **8.4.2).- Tratamiento primario**

- *Clarificador primario*: antes de dar inicio al presente apartado es preciso hacer hincapié en que la sedimentación tiene como principal objetivo la eliminación de sólidos fácilmente sedimentables y material flotante contenido en el agua residual afluyente. La sedimentación primaria es considerada como el primer paso en el tratamiento químico-biológico del agua residual, después de la eliminación de sólidos gruesos y finos (tratamiento físico). En este sitio ocurre la sedimentación de aproximadamente el 50-70 por ciento de los sólidos en suspensión y del 25-40 por ciento de materia orgánica en forma de DBO<sub>5</sub> (Metcalf & Eddy, 2014: 382). La planta No.2 cuenta con tres tanques sedimentadores circulares tipo cono invertido, sin embargo dos se encuentran fuera de servicio. En la parte central posee un muelle central que soporta un mecanismo que permite recolectar el lodo y remover las natas que se forman en la superficie (eliminación de espumas); este lodo es dirigido hacia una tolva central la cual permite que éste se aglomere para formar una sola masa y posteriormente por gravedad pueda sedimentar y a su vez, depositarse en el fondo del tanque.

#### 8.4.3).- Tratamiento Biológico

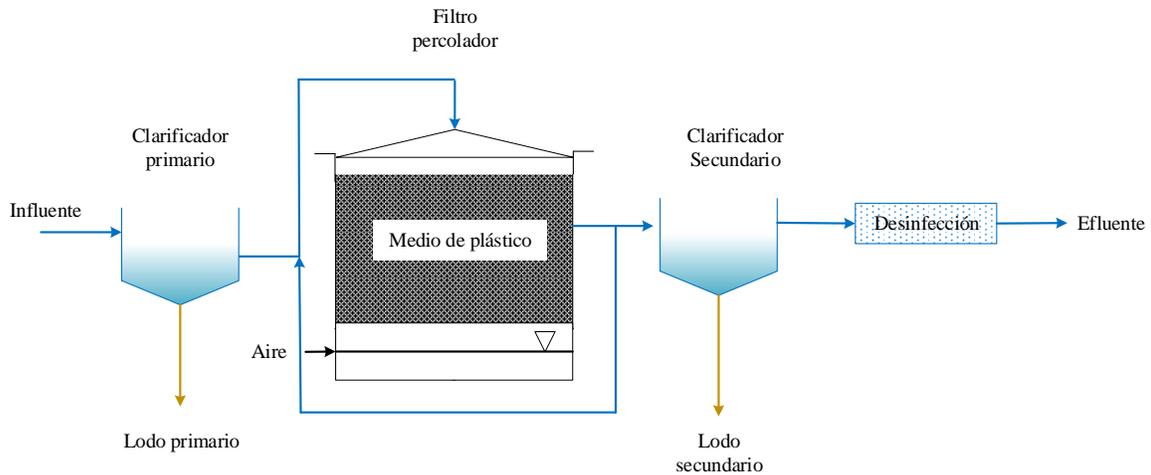
- *Filtro percolador:* Antes de dar inicio al presente apartado es necesario definir las tres características principales del sistema de filtros percoladores, la primera es que emplean un embalaje o empaquetadura como medio filtrante del agua residual –la planta 2 emplea medios filtrantes de plástico-; la segunda es que la distribución del agua residual se realiza a través de goteo y finalmente, cuenta con un sistema de desagüe subterráneo. El agua clarificada procedente del sedimentador/clarificador primario es conducida hacia los filtros percoladores del tipo soporte sólido no sumergido para la remoción de carga orgánica. Básicamente, la esencia del sistema es hacer pasar el agua residual sobre un soporte rocoso o de plástico inerte – el cual no debe reaccionar químicamente con el agua a fin de evitar la formación de nuevas sustancias químicas que perjudiquen al sistema bacteriano- de forma ascendente.

El agua residual al estar en contacto directo con el medio plástico permite que las partículas que conforman la materia orgánica contenida en el agua residual se vayan adhiriendo a él, formando una película (biofilm) de bacterias-principalmente facultativas- , las cuales degradaran dicho sustrato orgánico. Este tipo de sistemas se pueden operar a través de sistemas aeróbicos o anaeróbicos. La planta No. 2 al operar únicamente con una unidad principal de percolación y dos sedimentadores (primario y secundario) se le atribuye un funcionamiento aeróbico para la remoción únicamente de carga orgánica (Figura ilustrativa 8).

Es preciso destacar que es necesaria la aireación descendente en el filtro percolador a fin de proveer una fuente segura de oxígeno. Finalmente los sólidos remanentes contenidos en el agua residual al salir del filtro se eliminan a través de la clarificación secundaria. Es relevante mencionar que en estos sistemas no se realizan recirculaciones de lodo residual primario ni secundario (no es un sistema de lodos activados); estos al igual que la pequeña fracción de lodos producida en el filtro percolador se colectan y se destinan hacia unidades de digestión de lodos. De acuerdo con la metodología propuesta y los diseños preestablecidos para este tipo de tecnología,

los lodos derivados de sistemas percoladores deben de estabilizarse aeróbicamente (Metcalf & Eddy, 2014: 1541).

**Figura 8.** Diagrama esquemático de la configuración del sistema de Filtros percoladores del tipo soporte sólido no sumergido para la remoción de carga orgánica ( $DBO_5$ )



Fuente: Elaboración propia con base a Metcalf & Eddy, 2014

#### 8.4.4).- Tratamiento secundario

- *Clarificador secundario:* La función de emplear clarificadores secundarios después de unidades de percolación es únicamente producir un efluente clarificado. Este tipo de tanques secundarios se diferencian de los empleados para sistemas de lodo activado por su bajo contenido de sólidos en la alimentación, es decir, a la salida del filtro percolador. Finalmente, los lodos residuales excedentes son eliminados del sistema a través de la apertura de válvulas; a esta acción se le denomina purgado de lodos.

#### 8.4.5).- Desinfección

- *Tanque de contacto de cloro:* Tanque de contacto de cloro: la desinfección se efectúa concluidas todas las etapas del tratamiento físico, químico- biológico. Después de

permanecer en el clarificador secundario, el agua es dirigida hacia un tanque de cloración con el propósito de maximizar el tiempo de contacto entre el agente desinfectante (gas cloro) y el líquido a desinfectar (Metcalf & Eddy, 2014). El diseño de la unidad de desinfección de la planta No. 2 consiste en un tanque rectangular integrado por siete baffles tipo “serpentin” a fin de incrementar el tiempo de retención del agua en el tanque. En este sitio el agua debe permanecer 15-90 minutos a fin de garantizar una desinfección efectiva. Finalmente el agua tratada es vertida en el dren “Santa Anita” el cual desemboca directamente en el canal “Rhode”.

#### **8.4.6).- Tratamiento de lodos:**

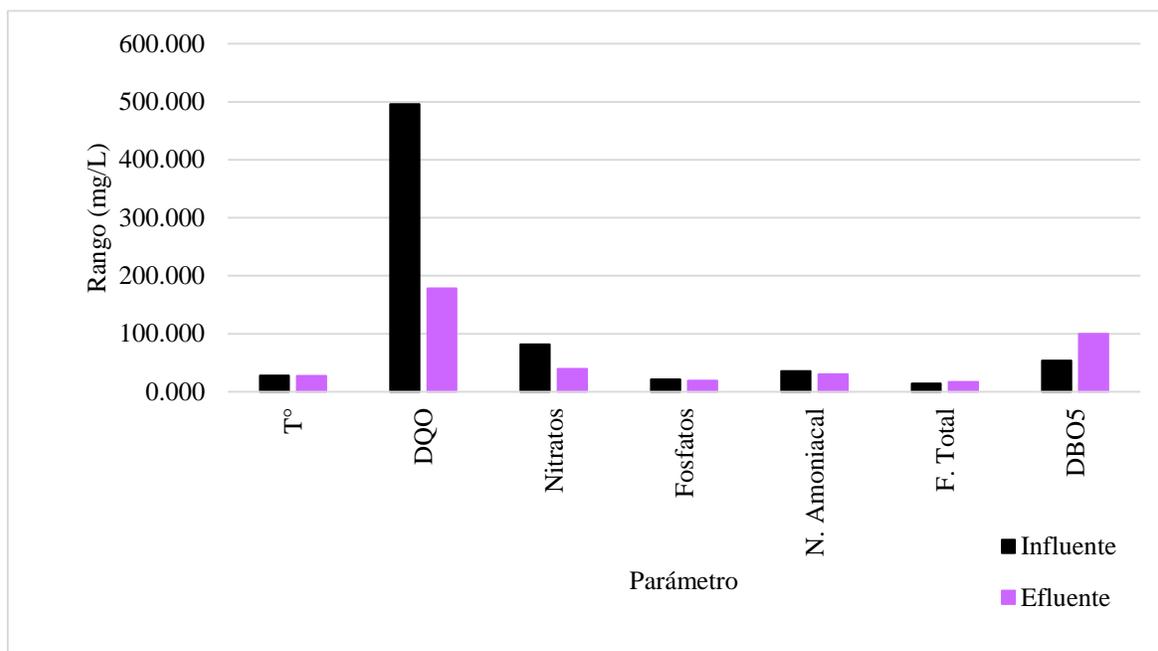
- *Espesador de lodos:* aun cuando la metodología sugiere descartar el empleo de espesadores de lodos (Metcalf & Eddy, 2014), la modernización de la planta efectuada en el 2014 incorporó dos unidades de espesamiento. Unos meses después de haber iniciado su operación quedaron fuera de servicio, la única utilidad que se le da es almacenar los lodos de purga procedentes de los clarificadores. Por otro lado, la estabilización de los lodos residuales producidos por esta unidad depuradora se lleva a cabo en la planta No.1 a través de sistemas aerobios. Para mayor información acerca de la digestión de lodos leer el apartado 8.3.4. Las imágenes de la infraestructura de tratamiento de la PTAR No.2 se exhiben en el **(Anexo H)**.

#### *8.4.7 Calidad de Agua y lodo residual de la PTAR No.2*

Para dar inicio a la presente sección es preciso recapitular que la planta No.2 colecta gran cantidad de aguas residuales procedentes de la industria manufacturera -principalmente de los rubros mineros-metalúrgicos, papel, celulosa, plástico y hule- (ver Mapa 2) Durante el trabajo de campo realizado fue posible detectar varias fallas, limitaciones y carencias; estas incluyen la falta de material, equipos y reactivos químicos para realizar diariamente los análisis de calidad de agua y lodo. Por otro lado, al recorrer y evaluar la infraestructura que conforma la unidad de depuración y cotejarla con los datos de calidad de agua, muestra un desfase provocado por la incorrecta selección de tecnología. Los datos de calidad de agua del influente presentan altas

concentraciones de fósforo, nitrógeno y DQO; en la siguiente gráfica se dan a conocer algunos de los parámetros de calidad del agua medidos en el año 2017. Para mayor detalle ver el **(Anexo S)**.

**Gráfica 21.** Calidad del Agua (Influente-Efluente) de la PTAR No.2



Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionados por la COMAPA, 2017.

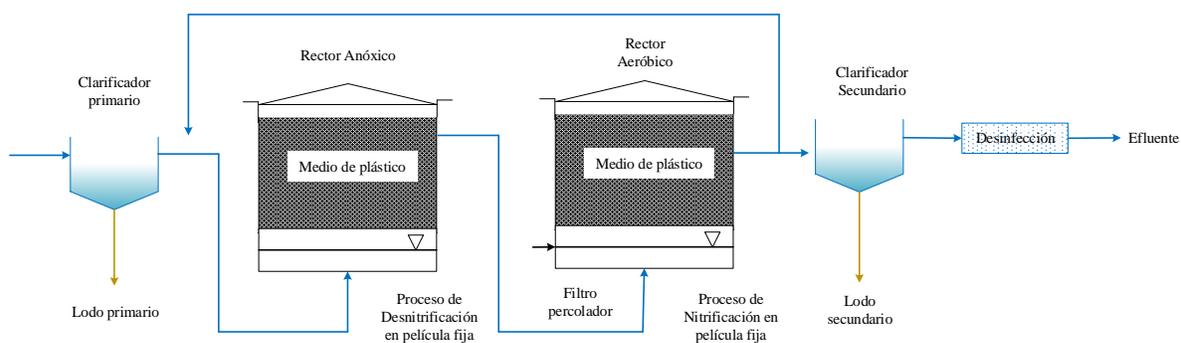
Aunque se logren sobrellevar las carencias de materiales, equipos y reactivos e incluso si se monitorea tres veces al día la calidad del agua, la carencia de la tecnología correcta seguirá impactando negativamente al proceso. No se debe olvidar que la información referente a la calidad del agua refleja un diagnóstico de la situación actual del proceso en general y que el primer punto para contrarrestar un mal funcionamiento y tomar acción, son precisamente dichos análisis. Los datos de calidad de lodo se exhiben en el apartado 8.3.5.

#### 8.4.8 Prácticas operativas en la PTAR No.2

Durante el desarrollo y la descripción de la tecnología de tratamiento descrita en el apartado 8.4.1, se dieron a conocer las prácticas empíricas realizadas y cómo el personal operativo maneja

dichas instalaciones. Existe una gran diferencia entre lo real y lo establecido metodológicamente para tratar el agua residual de manera exitosa. En primer lugar, la falta de desengrasadores en el pretratamiento inhibe la degradación de la materia orgánica contenida en el agua residual; 2) no existen sistemas de aireación contracorriente en los filtros percoladores. El diseño de sistemas de percolación limita la transferencia de oxígeno y por lo tanto, el rendimiento del filtro disminuye la degradación de la materia orgánica adherida al medio filtrante (plástico); además las concentraciones de 400 a 500 mg/L de DBO<sub>5</sub> limitan en mayor medida la transferencia de oxígeno (Schroeder & Tchobanoglous, 1976); 3) no se realizan recirculaciones del efluente del filtro percolador hacia el afluente del mismo filtro, esta acción mantiene la humedad en el medio filtrante, mejora el suministro de oxígeno y el rendimiento en el tratamiento; 4) las altas concentraciones de fósforo y nitrógeno se debe a la falta de infraestructura que permita la remoción biológica de los mismos; una propuesta viable sería adaptar sistemas preanóxicos y aeróbicos (Figura 9) para la remoción de nitrógeno y fósforo (contaminantes inorgánicos). Adaptar este tipo de sistemas implicarían eficiencias del 85 al 90 por ciento (Metcalf & Eddy, 2014: 950).

**Figura 9.** Proceso de desnitrificación en sistemas de crecimiento adherido.



Fuente: Elaboración propia con base a Nasr et al; 2000; Dorias & Baumenn, 1994.

#### 8.4.9 Exploración del potencial energético de los lodos residuales en la PTAR No.1 y No.2

Habiendo descrito anteriormente la tecnología de tratamiento y las prácticas de operación, el presente apartado se enfoca en analizar si existe la posibilidad de aprovechar energéticamente los lodos residuales producidos por estos sistemas. Antes de dar inicio al presente apartado, es importante dar a conocer las experiencias de otros países con respecto a la generación de biogás

y el aprovechamiento in situ. El estado de California cuenta con las PTAR's más grandes de Estados Unidos; la infraestructura de operación y las configuraciones empleadas están enfocadas a la recuperación de biogás.

Para lograrlo, en sus sistemas emplean tratamientos primarios avanzados (adición de polímero y sulfato de aluminio o de hierro) a fin de obtener mejores rendimientos en la producción de lodo (PTAR's Hyperion y No.1 del Condado de Orange, ver **Anexo T**). A su vez, cuentan con sistemas duales (anaerobios-aerobios) a fin de producir un efluente de mayor calidad. Sin embargo, vale la pena mencionar que todo el año utilizan gas natural para complementar la demanda energética en todas sus instalaciones. En entrevista se dio a conocer que la planta Hyperion, la cual trata en promedio 450 MGD, utiliza el metano que produce para calentar el agua residual influente y los digestores, y por otro lado, emplea gas natural para suministrar energía a equipos de bombeo e instalaciones eléctricas en general. En temporadas con alta humedad y lluvia (noviembre-marzo) registra más de 800MGD de agua tratada, esto significa que solo una fracción del metano producido durante esta temporada se destina para la generación de energía eléctrica a través de microturbinas.

Algunas otras plantas de menor capacidad (10MGD) han optado por instalar paneles solares o generadores eólicos (PTAR No.4 del Rancho Cucamonga, ver **Anexo U**), lo cual les permite tener mayor flexibilidad y cumplir con la demanda energética en sus instalaciones todo el año. En entrevista, se dio a conocer que a pesar de incrementar la eficiencia del sistema y mantener sus sistemas controlados, la producción de sólidos es muy variable y por ende, la producción de biogás. Con este antecedente se procede a describir los sistemas de tratamiento para la estabilización de lodos en Reynosa. En el 2014, se construyeron tres digestores anaerobios para la recuperación de biogás en la planta No.2; sin embargo, en dicha modernización –la cual finalizó en el año 2016- no se tomó en consideración el sistema actual aeróbico de depuración de agua; este sistema incluye filtros percoladores del tipo soporte sólido no sumergido para la remoción de carga orgánica.

Brevemente se recapitula que estos sistemas producen bajo contenido de sólidos e incluso la metodología propuesta por Metcalf & Eddy sugiere no emplear sistemas de espesamiento de lodos porque no es necesario. Para mayor información acerca de los sistemas de percolación leer el apartado 8.4.3. Dar uso a estos sistemas anaerobios implicaría no sólo

modernizar la planta, sino también cambiar la configuración de tratamiento existe, debido a que tendrían que incorporarse sistemas anaerobios antes de los filtros percoladores, además de reestructurar el sistema pretratamiento se deben incorporar equipos para la adición de activos químicos a fin de incrementar el volumen de sólidos. Además, la descarga de aguas residuales industriales con alto contenido de sales inorgánicas, limitaría en gran medida el buen funcionamiento del proceso y de los equipos. La capacidad actual de la planta 2 es de 750 l/s, sin embargo por problemas de diseño solo se puede operar con 250 l/s, por lo que se tendría que restaurar la infraestructura. Por ende, plantear la recuperación de biogás en esta unidad de tratamiento podría implicar más costos que beneficios; y no precisamente atenuaría la demanda energética si no que el metano que logre producirse se destinaria a calentar el agua residual y los digestores anaerobios. La meta –antes de recuperar biogás- debe de ser reestructurar las deficiencias internas en el sistema (ver apartado 8.4.8), las cuales implicarían definitivamente menores costos y mayores beneficios (eliminación de nutrientes inorgánicos, excelente calidad del agua)

Por otro lado, la planta No.1 a diferencia de la 2 recibe más del 80 por ciento de descargas domésticas y por ende altas concentraciones de  $DBO_5$  y SST, lo que conlleva a idealizar a esta unidad de depuración como opción viable para la generación de biogás. Sin embargo, plantear el aprovechamiento energético en esta planta implicaría grandes cambios en la infraestructura de tratamiento y configuración del sistema; al igual que la planta 2, la planta 1 opera con sistemas aeróbicos por lo que en primera instancia se deberán requerir sistemas anaerobios, los cuales deberán ubicarse antes del tratamiento anóxico. La limitante es que no existe el espacio suficiente para la construcción ni establecimiento de dos sistemas anaerobios en paralelo (respetando el acomodo actual de la infraestructura) y en menor medida para la construcción de digestores anaerobios. Por otro lado, el área de pretratamiento tendría que modernizarse por completo a fin de integrar equipos de eliminación de grasas y aceites; metales pesados, acondicionamiento de sólidos, equipos para ajuste de pH y temperatura, entre otros.

Adicionalmente, los lodos deben de espesarse, acondicionarse (adición de polímeros), centrifugarse para posteriormente ser fermentados en los digestores anaerobios, lo que implica mayor requerimiento de superficie. A su vez, la cercanía que existe con la población (200m la colonia más próxima) requerirá adoptar equipo para el control de olores. Claramente (al igual que la planta 2) plantear la recuperación de biogás en esta unidad de tratamiento implicaría más

costos que beneficios; y no precisamente atenuaría la demanda energética si no que el metano que logre producirse también se destinaria a calentar el agua residual y los digestores anaerobios. Antes de evaluar esta posibilidad, primero se debería reestructurar las deficiencias internas en el sistema (ver apartado 8.3.6), las cuales implicarían definitivamente menores costos y mayores beneficios.

Claramente, en busca de alternativas para atenuar la gran demanda energética (más de 12 millones de kW/anales), el organismo operador optó por construir este tipo de instalaciones anaeróbicas en la planta 2 sin previamente analizar la viabilidad de poderles dar utilidad a corto plazo. Existen otras vías de generación de energía eléctrica, la cuales pueden atenuar e incluso prescindir totalmente de la red de CFE demandado por ambas unidades de tratamiento; emplear paneles solares sería de gran utilidad debido a que las condiciones climáticas de la ciudad de Reynosa son favorables<sup>78</sup>, es decir, posee buenos índices de radiación global - 283.13 w/m<sup>2</sup>- y temperaturas superiores a los 30°C (INIFAP, 2015). En relación a la generación de emisiones de GEI directas por consumo eléctrico podrían minimizarse las 6, 178.77 TonCO<sub>2</sub>eq/kWh por implementar sistemas solares. Otro punto importante a mencionar es la reducción de emisiones indirectas -asociadas al agua residual sin tratamiento- (5, 062.53 TonCO<sub>2</sub>eq, ver Anexo N) si se operara con los 750 l/s originalmente diseñados en la PTAR No.2. El desarrollo y uso de tecnologías para la generación de energía eléctrica renovable no se aborda en el presente trabajo de investigación, sólo se hace alusión a fin de considerar la existencia de nuevas tecnologías que ofrecen atenuar la demanda energética.

---

<sup>78</sup> Véase en: Estación Meteorológica” Martín Rocha”, datos de febrero del 2017; <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/historicos.aspx?est=35894&edo=27&m=10&an=2017>

## **IX. CONCLUSIONES**

Es preciso señalar que a partir de la identificación y estimación de los flujos metabólicos urbanos (agua, agua residual y energía) fue posible detectar cinco deficiencias que influyen en la alteración lineal del Ciclo Urbano del Agua según Vladimir Novotny, 2013 (ver Figura 3). Adicionalmente, es importante destacar que la evaluación energética en los procesos de saneamiento se realizó a través de la conceptualización del nexo agua-energía-carbono.

- I)** Flujos de agua residual sin colección ni tratamiento, principalmente del sector autoabastecido. Esta problemática se vincula a la falta de infraestructura en el sistema de alcantarillado y deficiente capacidad de tratamiento en las PTAR´s.
- II)** La falta de infraestructura en el sistema de alcantarillado y capacidad de tratamiento en las plantas tratadoras se deriva a que el organismo operador no contempla en su plan maestro: factores de retorno, cuantificación de escorrentía superficial, precipitaciones en temporada de alta humedad (precipitaciones intensas y huracanes) y finalmente, no incluye a la industria autoabastecida en su padrón de usuarios; por lo tanto, el volumen de agua residual industrial vertido al sistema de alcantarillado no se incluye como parte del agua residual que deben coleccionar las EBAR´s y tratar las plantas.
- III)** Baja remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua tratada y lodo residual por la incorrecta selección de tecnología de tratamiento de aguas y por prácticas desinformadas realizadas por personal operativo.
- IV)** Alto consumo energético en el tanque de aireación y digestores aerobios de la PTAR No.1
- V)** Emanación de GEI asociados a la quema de combustibles fósiles (carbón) por uso de energía eléctrica y principalmente, del agua residual cruda o sin tratamiento, la cual emite grandes cantidades de metano y óxido nitroso.

Una vez identificadas las deficiencias en el CUA, y realizado el análisis de los datos que integran el balance hídrico local con aplicación geográfica se concluye lo siguiente:

- No hay colección de aguas residuales en los sectores Haciendas y Cavazos. Además existen muy pocos colectores secundarios en los sectores Rancho Grande, Oriente y Juárez-poniente; en estos últimos sectores existe gran afluencia del sector maquilador.

- El 16 por ciento de agua superficial y subterránea se destina a la industria autoabastecida. Durante los doce años del estudio se concesionaron 100, 547,000.00 m<sup>3</sup> de agua para fines consuntivos.
- Durante los doce años que comprende el presente estudio 32, 285, 201.16 m<sup>3</sup> de agua residual urbana retornada no se colectó y 55, 634, 772.06 m<sup>3</sup> de agua residual urbana retornada se colectó, pero no se trató. Esto significa que más de 87 millones de m<sup>3</sup> de agua residual quedaron expuestos al medio ambiente. En el año 2017, más de 6 millones de m<sup>3</sup> de agua residual no recibió tratamiento; en entrevista se dio a conocer que esta agua fue mezclada con el agua residual tratada a fin de minimizar la concentración de DBO<sub>5</sub> y SST; además de dosificar 1ppm de cloro antes de ser vertida a los cuerpos receptores.
- El volumen correspondiente a escorrentía superficial en el año 2017 fue de 3, 330, 788.42 m<sup>3</sup> de agua. Es decir, 525, 159.03 m<sup>3</sup> de agua es interceptada por vegetación y suelo desnudo (19.93 %) y; 2,805, 629.39 m<sup>3</sup> de agua es interceptada por áreas pavimentadas (79 %). Es sumamente importante destacar que el suelo arcilloso y las zonas planas o llanas en el municipio inhiben que gran cantidad de agua se infiltre, aunque esta se acumule en superficies vegetativas. Por tal motivo, en el presente trabajo de investigación se consideraron los 3, 330, 788.42 m<sup>3</sup> de agua como el volumen total de escurrimiento en el año 2017. Durante los doce años del estudio 47, 345, 706.37 m<sup>3</sup> de agua se consideraron como producto de escorrentías.
- El empleo de un análisis geoespacial terrestre como herramienta complementaria al balance hídrico urbano permitió identificar las características topográficas y de relieve que conforman el suelo Reynosense y con ello, se detectó gran vulnerabilidad y tendencia a inundaciones además de riesgos por socavones. Como se detalló en el apartado 8.1.4.2.2, el 84 por ciento del suelo es arcilloso, motivo por el cual, los escurrimientos, hundimientos y reblandecimientos del suelo por humedad son una problemática que debe considerarse en el diseño de sistemas de alcantarillado, principalmente en el refuerzo de tuberías a fin de evitar su fracturación.
- El alto consumo energético se detectó en las zonas de aireación; es decir, en el tanque aireación y en los digestores aerobios de la planta 1. Esta situación se debe a que el personal no realiza recirculaciones de agua del reactor aeróbico hacia el anóxico, por lo que la

desnitrificación no ocurre y por ende, la falta de bacterias heterotróficas que consuman la materia orgánica biodegradable –presente en las aguas residuales afluentes- incrementa la concentración de DBO<sub>5</sub> y SST en todo el sistema. Por tal motivo, al tener altas concentraciones de materia orgánica demanda mayor cantidad de oxígeno en el tanque de aireación; acción que conlleva al incremento del consumo eléctrico. Como se mencionó en el apartado 6.4, los lodos procedentes de la planta 2 se estabilizan en la planta 1. Esto significa que 1, 760m<sup>3</sup>/ mensuales de lodo adicional deben de airearse en los digestores aerobios, situación que incrementa aún más el consumo energético.

- El 58.91 por ciento del consumo energético se deriva al proceso de saneamiento y el 41.09 por ciento por colección de aguas residuales. En este último, el alto consumo energético puede deberse a distintos factores tales como; la antigüedad del equipo de bombeo y equipos mal dimensionados es decir, que la capacidad de la bomba sea menor al diámetro de la tubería.
- Los datos de calidad del agua efluente de las planta 1 y 2 presentan altas concentraciones de DBO<sub>5</sub> (188 ppm), DQO (402.38 ppm), sólidos suspendidos totales (110 ppm), grasas y aceites (29.79 ppm). La CONAGUA establece un agua fuertemente contaminada cuando posee concentraciones de DBO<sub>5</sub> mayores a 120 ppm, DQO mayores a 200ppm y SST en calidad de aceptable cuando oscilan entre los 75 y 150ppm. Claramente, se debe tomar acción inmediata debido a que la presencia de cargas contaminantes tan elevadas deterioran la flora y fauna presente en el cuerpo receptor, además de atentar contra la salud pública. La presencia de casos poliomiéltis, hepatitis infecciosa, disentería amebiana y cólera podrían presentarse por estar en contacto con agua contaminada; e incluso por consumo de peces u otras especies acuáticas contaminadas.
- Se generaron 9, 231 TonCO<sub>2eq</sub> de GEI por producción de electricidad y 6, 555 TonCO<sub>2eq</sub> por el proceso de saneamiento en el año 2017. Es importante destacar que 5, 063 TonCO<sub>2eq</sub> corresponden a GEI emitidos por agua residual sin tratamiento. Es decir, el 48.89 por ciento del total de las emisiones es por metano y el 28.37 por ciento por óxido nitroso.
- el consumo energético y la emisión de GEI por m<sup>3</sup> de agua saneado es de 0.37kWh y 0.47 KgCO<sub>2eq</sub> respectivamente.
- El costo por m<sup>3</sup> saneado es de \$0.05dlls, equivalente a \$0.89M/N.

- Se detectó gran volumen de biosólidos en la planta 1 debido a que el alto contenido de coliformes fecales (4600NMP/g) y la falta de mercado restringe su uso como fertilizantes o acondicionadores de suelo.
- Idealizar la recuperación de biogás a partir de los lodos residuales con el propósito de atenuar la demanda energética en la planta 2, implicaría cambiar la configuración de tratamiento existente debido a que tendría que incorporarse sistemas anaerobios antes de los filtros percoladores, además de reestructurar el sistema de pretratamiento se deben incorporar equipos para la eliminación de grasas y para la adición de reactivos químicos a fin de incrementar el volumen de sólidos. Adicionalmente se debe reestructurar la infraestructura para poder operar con los 750 l/s originalmente diseñados. Por otro lado, la planta 1 al igual que la 2 requiere de grandes cambios en la infraestructura de tratamiento y configuración del sistema principalmente sistemas de control de olores debido a la cercanía que existe con la población (200m la colonia más próxima). Adicionalmente se requerirá reestructurar la etapa de pretratamiento y complementarla con equipos detectores de metales pesados, ajuste de PH, eliminación de grasas y aceites y por supuesto, equipos de espesamiento, acondicionamiento y centrifugación de lodos para posteriormente ser fermentados en los digestores anaerobios que también tendrán que construirse. Evidentemente, antes de evaluar esta posibilidad se debe reestructurar y corregir las deficiencias internas.
- A diferencia de los balances de agua propuestos a nivel cuenca que emplean enfoques macros del Ciclo Hidrológico, el estudio local propuesto contempló la zona urbana del municipio con el propósito de conocer el manejo, la distribución y el consumo del agua urbana, la cual es administrada por organismos operadores. Es fundamental que las jurisdicciones municipales reconozcan sus responsabilidades en cuanto a la planeación y gestión de agua urbana.
- La planeación de agua urbana no solo implica mejorar la sustentabilidad medioambiental en las ciudades, sino también, puede significar ahorros en el costo de mejorar la calidad de vida, reducir la vulnerabilidad de sufrir desastres, mejorar la eficiencia y garantizar la seguridad de provisión de los servicios públicos básicos. Asimismo, gestionar correctamente los recursos hídricos evitaría la realización de trasvases en un futuro.

Finalmente, la estancia realizada en la Universidad de California, Irvine, la cual incluyó visitas técnicas a plantas de tratamiento de agua residual, fundamentó teórica y empíricamente los principios y buenas prácticas que deben regir a los sistemas de tratamiento. Con base al conocimiento adquirido, la evaluación realizada a los sistemas depuradores en Reynosa, contempló corregir las deficiencias internas que perjudican la calidad del agua debido a que idealizar un aprovechamiento energético de los lodos residuales es un escenario muy alejado de la realidad operativa de dichas plantas. Sin embargo, es posible atribuir que mejorar el CUA además de la recuperación energética, también incluye reducir los volúmenes de agua residual sin tratamiento, eliminar los contaminantes presentes en el agua, reducir las emisiones de GEI y estabilizar correctamente los biosólidos a fin de evitar impactos negativos al ambiente y a la sociedad.

### *9.1 Recomendaciones*

- A. El balance hídrico urbano con aplicación geográfica propuesto podría integrarse exitosamente como metodología y herramienta cuantitativa para la elaboración de planes de control de riesgos por inundación e identificación de zonas vulnerables. Además de coadyuvar con el diseño de sistemas de alcantarillado y realizar diagnósticos a plantas tratadoras a fin de potencializar su operación. Adicionalmente, cuantificar con mayor precisión los volúmenes producidos de agua residual urbana permitirá construir y/o modernizar unidades depuradoras y sistemas de alcantarillado que garanticen coleccionar, transportar y sanear el volumen total de agua residual urbana que ingresa a las PTAR's; así como, minimizar el impacto ambiental y nocivo a cuerpos receptores y afectaciones a la salud pública por riesgos químicos y microbiológicos asociados a la baja calidad del agua tratada o por el agua residual sin tratamiento.
- B. En la planta 1 se sugiere incluir equipos de eliminación de grasas y aceites además de realizar una adecuación al tanque de aireación con la finalidad de recircular el agua hacia el reactor pre-anóxico y finalmente, realizar una limpieza a los difusores de burbuja fina instalados en las zonas de aireación.

- C. En la planta 2 se sugiere instalar un sistema de aireación contracorriente en los filtros percoladores, así como realizar recirculaciones del efluente del filtro percolador hacia el influente del mismo filtro con la finalidad de mejorar el suministro de oxígeno y mantener húmedo el medio filtrante; adicionalmente se recomienda adaptar un sistema de desnitrificación en película fija; es decir, un reactor preanóxico para eliminar la presencia de nitrógeno y fosforo en el agua residual y finalmente, instalar un sistema de digestión aeróbica de lodos.
- D. Se sugiere la construcción de una “línea morada” en la planta No.1 que transporte agua residual tratada a los parques industriales ubicados en el sector oriente de la ciudad. Idealizar un mercado de agua tratada debe ser una realidad a fin de recuperar los costos de sanear el agua.
- E. La adaptación de la propuesta metodológica sugerida puede aplicarse en primera instancia en la ciudad de Reynosa a fin de que otras ciudades tamaulipecas con población semejante (Nuevo Laredo, Matamoros, Victoria, Tampico, Madero y Altamira) la puedan integrar como modelo de planeación de agua urbana.
- F. La planeación de agua urbana debe ser un parteaguas para la integración de aspectos sociales, ambientales y económicos que incluya la participación de profesionales de distintas disciplinas, no sólo de los expertos en agua. Es sumamente importante incluir la opinión social ya que gran parte del éxito en proyectos, programas y planes radica en la aceptación de una sociedad que debe estar organizada, comprometida, consciente y activa.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arnold, M y Osorio, F. (1998). *Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas*. Pág 40-49
2. Asano, T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse-Issues, Technologies and Applications*. Metcalf & Eddy/ WECOM, McGraw-Hill. New York.
3. Athanassiadis, Aristide., Christis, Maarten., Bouillard, Philippe., Vercauteren, A., Crawford, Robert., Khan, Ahmed. (2016). *Comparing a territorial-based and a consumption-based approach to assess the local and global environmental performance of cities*. Journal of Cleaner Production. Pág. 1-12.
4. Ayres, Robert (1998). *Turning point: And end to the growth paradigm*. Earthscan Publications Ltd. London.
5. Ayres, Robert; Kneese, Allen (1969). *Production, consumption and externalities*. American Economic Review 59. Pág. 282-297
6. Baker, L.A., Hope, D., Xu, Y., Edmonds, J., Lauver, L. (2001). *Nitrogen balance for the central Arizona-Phoenix (CAP) ecosystem*. Ecosystem 4. Pág. 582-602.
7. Baynes, T.M., Bai, X.M. (2012). *Reconstructing the energy history of a city: Melbourne's population, urban development, energy supply and use from 1973 to 2005*. J. Ind. Ecol, 16 (6). Pág. 862-874.
8. Bertalanffy, Ludwig Von (1976). *La Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. Publicado por George Braziller, Nueva York. ISBN 968-16-0627-2. Documento recuperado:[http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/eureka/pudgvirtual/Teoria%20general%20de%20los%20sistemas\\_v4.pdf](http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/eureka/pudgvirtual/Teoria%20general%20de%20los%20sistemas_v4.pdf)
9. Browne, David; O'Regan, Bernnadette; Moles, Richard (2009). *Assessment of total urban metabolism and metabolic inefficiency in an Irish city-region*. Journal of Waste Management (Elsevier). Waste Management 29 (10). Pág. 2765-2771.
10. Brunner, Paul (2002). *Beyond Materials Flow Analysis*. Massachusetts Institute of Technology and Yale University. Journal of Industrial Ecology. Pág. 8-10

11. Cao, Yucheng; Pawłowski, Artur (2012). *Life Cycle Assessment of two emerging sewage sludge-to-energy systems: Evaluating energy and greenhouse gas emissions implications*. Journal of Bioresource Technology 127. Pág. 81-91
12. Comisión Nacional del Agua (2016). Subdirección General de Planeación, Gerencia de Coordinación Interinstitucional. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>.
13. Commission for Environmental Cooperation of North America (2004). *North America Power Plant Air Emissions*. CEC. Québec, Canada. Pág. 34, 52, 80.
14. Daniels, P (2006). *Reducing society's metabolism*. In *Business within limits: deep ecology and buddhist economics*. Edited by Im. L. Zsolnai and Knut J. Pág. 103–148. Oxford: Peter Lang Academic.
15. Decker, E., Elliott, S., Smith, F., Blake, D., & Rowland, S. (2000). Energy and material flow through the urban ecosystem . *Annual Review of Energy and the Environment* 25. Pág. 685-740.
16. Díaz Álvarez, Cristian Julián (2014). *Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades*. Interdisciplinar 2, núm. 2. Pág. 51–70.
17. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), 2017. Documento recuperado: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
18. Domínguez Serrano, Judith (2010). *El acceso al agua y saneamiento: Un problema de capacidad institucional local, análisis del estado de Veracruz*. El Colegio de México. Pág. 311-350.
19. Dorias, B; Baumenn, P (1994). *Denitrification in Trickling Filters*. Water Sci. Technol., 30, 6. Pág. 181–184.
20. Duvigneaud, P., & Denayeyer-De Smet, S. (1977). L'Ecosystème Urbain Bruxellois [The Brussels urban ecosystem]. In *Productivité en Belgique, Duvigneaud P., Kestemont P. (Eds), Travaux de la Section Belge du Programme Biologique International, Bruxelles*. Pág. 581-597
21. Encuesta Intercensal 2015-INEGI. Documento recuperado: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>

22. Equihua, Miguel; García Alanis, Nashieli; Pérez-Maqueo, Octavio; Kolb, Melanie (2011). *Integridad ecológica como indicador de la calidad ambiental*. Documento recuperado: [https://www.researchgate.net/profile/Nashieli\\_Garcia-Alaniz/publication/308260305\\_Integridad\\_ecologica\\_como\\_indicador\\_de\\_la\\_calidad\\_ambiental](https://www.researchgate.net/profile/Nashieli_Garcia-Alaniz/publication/308260305_Integridad_ecologica_como_indicador_de_la_calidad_ambiental).
23. European Environment Agency. (1995). *Europe's Environment: The Dobbris Assessment*. Earthscan, London.
24. Eurostat (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicator: a methodological guide*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities
25. Fernández, J. E. (2010). *Urban Metabolism of Ancient Caral, Peru*. School of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA. Pág. 1-7.
26. Ferrel, J., Spierre, S., & Chester, M. (2012). *Urban Metabolism and the Energy-Water Nexus in Phoenix, Arizona*. Arizona State University. Pág. 2-46.
27. Ferro, Gustavo; Lentini, Emilio (2015). *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/L.3949, Santiago de Chile.
28. Fischer-Kowalski, M. (1998). *Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860-1970*. *Journal of Industrial Ecology* 2. Pág. 61-78
29. Gandy, M. (2004). *Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city*. *City* 8 (3). Pág. 363-379.
30. García-Serna, M.I., Morales-Pinzón, T., Guerrero, Erazo, J. (2014). *Análisis de flujos de agua en áreas metropolitanas desde la perspectiva del metabolismo urbano*. *Revista Luna Azul*, 39. Pág. 234-249.
31. Gayle, B. P. (1989). *Biological Denitrification of Water*. *J. Environ. Eng.*, 115. Pág. 5, 930.
32. GIZ (Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit) (2016). *Informe Taller: El diálogo regional nexo en Latinoamérica*. 31 de marzo, sede subregional de la CEPAL, cd. México. Programa Global Diálogos Regionales Nexo.

33. Hanya, T., & Ambe, Y. (1975). A study on the metabolism of cities. . *In Science for Better Environment Proceedings of the International Congress on the Human Environment (HESC)*. Science Council of Japan. Pág. 228-233.
34. Hermanowics, S.W., & Asano, T. (1999). *Abel Wolman's the metabolism of cities, revisited: a case for water recycling*. Water Science & Technology 40 (4). Pág. 29-36.
35. Howard, B., Parshall, L., Thompson, J., Hammer, S., Dickinson, J. & Modi, V. (2012). *Spatial distribution of urban building energy consumption by end use, Energy & Buildings*, 45. Pág. 141–151, (Report).
36. Huang, S. (1998). *Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis*. Journal of Environment Management. 52. Pág. 39-51.
37. Hunt, Dexter., Leach, Joanne., Lee, Susan., Bouch, Chris., Braithwaite, Peter., Rogers, Christopher. (2014). *Material Flow Analysis (MFA) for Liveable Cities*. The 4<sup>th</sup> World Sustainability Forum-Conference Proceedings Paper. Pág. 1-31.
38. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (2015). Documento recuperado: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/historicos.aspx?est=35894&edo=27&m=1&an=2015>
39. Kennedy, C, Iain D. Stewart, Nadine Ibrahim, Angelo Facchini, Renata Mele (2014). *Developing a multi-layered set for urban metabolism studies in megacities*. Journal of Ecological Indicators (Elsevier).
40. Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel Yan, J. (2007). *The changing metabolism of cities*. Journal of Industrial Ecology. Pág. 43-59.
41. Kennedy, C., Pincetl, S., & Bunje, P. (2010). *The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design*. Elsevier. Pág. 1965-1973.
42. Kenway, S. (2013). *The Water-Energy Nexus and Urban Metabolism-Connections in Cities*. Queensland, Australia : Urban Water Security Research Alliance Technical Report No.100. Pág. 1-68.
43. Lazarova, Valentina; Ho Choo, Kwang; Cornel, Peter (2012). *Water Energy*. The International Water Association. Págs.21-33, 37-57, 61-72, 87-123, 161-167.

44. Lefebvre, H (1976). *The survival of Capitalism: reproduction of the relations of production*. Londres, Reino Unido, Allison & Busby.
45. Lin, Chen. (2009). Hybrid input-output analysis of wastewater treatment and environmental impacts: A case study for the Tokyo Metropolis.
46. Liu, Yu; Tay, Joo-Hwa (2001). *Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process*. Journal of Biotechnology Advances 19. Pág 97-107.
47. Lozada, Gabriel (1995). *Georgescu-Roegen's defense of classical thermodynamics revisited*. Department of Economics, University of Utah, Salt Lake City. Journal of Ecological Economic 14. Pág. 31-44.
48. Manual de Agua potable, alcantarillado y saneamiento (2016). *Comisión Nacional del Agua Documento recuperado: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>*
49. Marsalek, J (2007). *Urban water cycle processes and interactions*. Urban water UNESCO-IHP urban water series. Paris: UNESCO and Taylor & Francis. The Netherlands. Pág. 3.
50. Meda, A., & Cornel, P. (2010). *Energy and Water: Relationships and Recovery Potential*. Amsterdam: IWA Water and Energy Conference.
51. Metcalf & Eddy (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, fifth edition. McGraw Hill Education. Pág. 633-634.
52. Moleschott, J. (1852). *Der Kreislauf des Lebens*. Mainz Von Zabern.
53. Mostafavi, Nariman; Farzinmoghadam, Mohamad; Hoque, Simi; Weil, Benjamin. (2013). *Integrated Urban Metabolism Analysis Tool (IUMAT)*. Urban Policy and Research, DOI:10.1080/08111146.2013.826578. Pág. 1-16
54. Mumford, Lewis (1961). *The City in History: Its Origins, Its Transformations and Its Prospects*. Nueva York, Estados Unidos. Harcourt, Brace & World.
55. Nasr, S. M; Hankins, W. D; Messick, C; Winslow, D (2000). *Full Scale Demonstration of an Innovative Trickling Filter BNR Process*, Proceedings of the WEF 73rd ACE, Anaheim, CA.
56. Newcombe, K., Kalma, J., & Aston, A. (1978). *The metabolism of a city: the case of Hong Kong*. Ambio 7. Pág. 3-15.

57. Newman, P.W.G. (1999). *Sustainability and cities: extending the metabolism model*. *Landscape Urban Plan*. 44. Pag. 219-226.
58. Ngo, N.S., Pataky, D.E. (2008). *The energy and mass balance of Los Angeles County*. *Urban ecosystems* 11. Pág. 121-139.
59. Nolasco, Daniel (2010). *Desarrollo de Proyectos MDL en Plantas Tratadoras de Aguas Residuales*. Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de Infraestructura y Medio Ambiente. Ficha Técnica No.116. Pág. 13-20
60. Novotny, V. (2012). *Water and energy link in the cities of the future-achieving net zero carbon and pollution emissions footprint*. In V. Lazarova, K. Ho Choo, & P. Cornel, *Water-Energy Interactions in Water Reuse*. London, UK: IWA Publishing. Pág. 37-38
61. Novotny, Vladimir; Ahern, Jack; Brown, Paul (2010). *Water Centric Sustainable Communities: Planning, Retrofitting and Building the Next Urban Environment*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons Ltd., ©2010 9780470476086.
62. Odum, T.H.(1987). *Systems ecology, an introduction*. Wiley-Interscience. New York, NY
63. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado*. Place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia
64. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007). Informe de Síntesis. Documento recuperado: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)
65. Payne, W. J. (1981) *Denitrification*, Wiley, New York.
66. Periódico Oficial (2013). *Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Reynosa, Tamaulipas, 2013*. Victoria, Tamaulipas. Documento recuperado: <http://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2013/09/cxxxviii-110-110913F-ANEXO1.pdf>
67. Reddy, B. S. (2013). *Metabolism of Mumbai: Expectations, Impasse and the Need for a New Begining*. Indira Gandhi Institute of Development Research: Mumbai, 1-26. [https://econpapers.repec.org/paper/esswpaper/id\\_3a5239.htm](https://econpapers.repec.org/paper/esswpaper/id_3a5239.htm)

68. Rodríguez, Manuel (2011). *El ciclo urbano del agua*. Revista Rehabilitación Eficiente de la ciudad consolidada. Documento recuperado: [http://www.sdeurope.org/wp-content/uploads/downloads/2010/11/Rehabilitaci%C3%B3n-Urbana-Eficiente\\_Caso-de-Canillas\\_IJH.pdf](http://www.sdeurope.org/wp-content/uploads/downloads/2010/11/Rehabilitaci%C3%B3n-Urbana-Eficiente_Caso-de-Canillas_IJH.pdf).
69. Sahely, Halla; Dudding, Shauna; Kennedy, Christopher (2003). *Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto area Case study*. State University. Pág.468-483.
70. Schroeder, E; Tchobanoglous, G. (1976). *Mass Transfer Limitations in Trickling Filter Designs*. J. WPCF, 48, 4. Pág. 771–775.
71. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010. Documento recuperado: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_R\\_INDUSTRIA01\\_01&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_INDUSTRIA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
72. Stanhill, G. (1977). *An urban agro-ecosystem: the example of nineteenth-century. Paris*. Agro-ecosystems. 3. Pág. 269-284
73. Stepping, Katharina (2016), *Urban Sewage in Brazil: Drivers of and Obstacles to Wastewater Treatment and Reuse*, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik gGmbH, Bonn.
74. Thériault, J., Laroche, A. (2009). *Evaluation of the urban hydrologic metabolism of Greater Moncton region, New Brunswick*. Canadian Water Resources Journal 34 (3). Pág. 255-268.
75. Toledo, Víctor (2008). *Metabolismos Rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza*. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 1-27
76. Tortajada, C. (2006). *Water Management in Mexico City Metropolitan Area*. Water Resources Development, 22 (2). Pág. 353-376.
77. U.S. EPA (1993) *Nitrogen Control Manual*. EPA/625/R-93/010, Office of Research and Development. Cincinnati, OH.
78. Venkatesh, G., Saegrov, Sveinung., Brattebo, Helge. (2014). *“Dynamic metabolism modelling of urban water services-Demonstrating effectiveness as a decision-support tool for Oslo, Norway”*. Water research 61. Pág. 19-33.

79. Weston, Roy; Ruth, Matthias (1997). *A dynamic, hierarchical approach to understanding and managing natural economic systems*. Department of Geography and the center of Energy and Environmental studies. Boston University. *Ecological Economics* 2. Pág. 1-17.
80. Wolman, A. (1965). *The Metabolism of Cities*. *Scientific American* 213, Pág. 179-190.
81. WWAP. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales: El recurso desaprovechado*. París, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
82. Zhang, Y., Yang, Z., & Yu, X. (2009). *Evaluation of Urban Metabolism based on energy synthesis: a case study for Beijing*. *Ecological Modelling* 220 (13-14). Pág. 1690-1696.
83. Zucchetto, J. (1975). *Energy, economic theory and mathematical models for combining the systems of man and nature. Case study, the urban region of Miami*. *Ecological Modeling*. 1. Pág. 241-265.

**A. ANEXO: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas**  
(DENUE), 2017 de la Cd. De Reynosa, Tamaulipas.

INDUSTRIA ALIMENTICIA			
No.	NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO	ACTIVIDAD	FECHA DE ALTA
1	DULCES FAMOSOS DE MEXICO S DE RL DE CV	Elaboración de dulces, chicles y productos de confitería que no sean de chocolate	JULIO 2010
2	ELABORACIÓN DE BOTANAS	Elaboración de botanas	DICIEMBRE 2014
3	BOTANAS LA GLORIA	Elaboración de botanas	JULIO 2010
4	FOOD SERVICE INTERNATIONAL	Elaboración de otros alimentos	JULIO 2010
5	INDUSTRIAS BLUZ	Elaboración de concentrados, polvos, jarabes y esencias de sabor para bebidas	DICIEMBRE 2014
6	MOLINO NIXTAMAL DOS HERMANOS	Elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal	JULIO 2010
7	REYFRUIT DE REYNOSA SRL, DE C.V.	Conservación de frutas y verduras por procesos distintos a la congelación y la deshidratación	JULIO 2010
8	ALIMENTOS SBF DE MEXICO S DE RL DE CV	Corte y empaquetado de carne de ganado, aves y otros animales comestibles	JUNIO 2012
9	3 GARCIA RANCHO	Elaboración de otros alimentos	DICIEMBRE 2014
10	SAN MANUEL	Elaboración de alimentos para animales	DICIEMBRE 2014
11	CONDIMENTOS DEL ÁNGEL	Elaboración de condimentos y aderezos	DICIEMBRE 2014
12	MOLINO DE NIXTAMAL	Elaboración de derivados y fermentos lácteos	DICIEMBRE 2014
13	MERCOPLAN DEL GRAIN ALAZAN NORESTE SA DE CV	Elaboración de otros alimentos	DICIEMBRE 2014
14	CONDIMENTOS DEL ÁNGEL	Elaboración de condimentos y aderezos	DICIEMBRE 2014
15	GRUPO DE RL AGROPECUARIO OLMO SPR	Elaboración de alimentos para animales	DICIEMBRE 2014
16	DULCES Y BOTANAS RAGO, S.A. DE C.V.	Elaboración de dulces, chicles y productos de confitería que no sean de chocolate	DICIEMBRE 2014

INDUSTRIA DEL PLÁSTICO Y HULE			
No.	NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO	ACTIVIDAD	FECHA DE ALTA
1	HCP PACKAGING MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	DICIEMBRE 2014
2	DISEÑOS Y MERCADOTECNIA SA DE CV (DIMER)	Fabricación de espumas y productos de poliestireno	JULIO 2010
3	TECHNIMARK DE REYNOSA SA DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	JULIO 2010
4	MULTI EMPAQUES INTERNACIONAL	Fabricación de bolsas y películas de plástico flexible	DICIEMBRE 2014
5	RPI DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	ENERO 2016
6	TROSTEL MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos de hule	JULIO 2013
7	MINNESOTA RUBBER MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos de hule	JULIO 2013
8	SAMKWANG INDUSTRIES DE MEXICO	Fabricación de otros productos de plástico sin reforzamiento	JULIO 2010
9	PENTAIR WATER MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	ENERO 2016
10	STARION REYNOSA SA DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	MARZO 2017
11	INDUSTRIAS VARI-FORM DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de autopartes de plástico con y sin reforzamiento	JULIO 2010
12	FILTERTECK DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de autopartes de plástico con y sin reforzamiento	JULIO 2010
13	MAQUIRO, S.A. DE C.V.	Fabricación de tubería y conexiones, y tubos para embalaje	DICIEMBRE 2014
14	ESPUMAS CHICAS S DE RL DE CV	Fabricación de espumas y productos de poliestireno	JULIO 2013
15	NETAFIM MANUFACTURING MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de bandas y mangueras de hule y de plástico	DICIEMBRE 2014
16	VAZBROS METALES Y PLÁSTICOS	Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje con y sin	DICIEMBRE 2014
17	STARION REYNOSA SA DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	MARZO 2011
18	CEBAL AMERICAS DE REYNOSA S DE R L DE CV	Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje con y sin	JULIO 2010
19	SAMKWANG INDUSTRIES DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	DICIEMBRE 2014
20	CORPORACION DE PLASTICOS INDUSTRIALES DEL NORTE SA DE CV	Fabricación de botellas de plástico	JULIO 2010
21	CONSORCIO FLEXIPACK	Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje con y sin	JULIO 2010
22	NUTRIGO SA DE CV	Fabricación de productos de plástico para el hogar con y sin reforzamiento	DICIEMBRE 2014
23	QUALITIS PARKING SERVICE	Fabricación de bolsas y películas de plástico flexible	DICIEMBRE 2014
24	CORNING SCIENCE MEXICO SA DE CV	Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje con y sin	JULIO 2010
25	SHIN ETSU POLYMER DE MEXICO, S.A. DE C.V.	Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje con y sin	DICIEMBRE 2014
26	PENTAIR WATER MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	JULIO 2010
27	J COX MÉXICO	Fabricación de espumas y productos de poliestireno	DICIEMBRE 2014
28	RECICLADOS Y SERVICIOS DEL NORESTE	Fabricación de bolsas y películas de plástico flexible	DICIEMBRE 2014
29	QIS REYNOSA, S.A. DE C.V.	Fabricación de autopartes de plástico con y sin reforzamiento	ENERO 2016
30	KWANG SUNG ELECTRONICS	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	DICIEMBRE 2014
31	PRIME PACK SA DE CV	Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje con y sin	MARZO 2017
32	MEDICAL MOLDING Y MANUFACTURING DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento	DICIEMBRE 2014
33	SAVCOR MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos de plástico sin reforzamiento	JULIO 2013
34	ECONEU, S. DE R.L. DE C.V.	Revitalización de llantas	ENERO 2016

**INDUSTRIA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO**

No.	NOMBRE DE ESTABLECIMIENTO	ACTIVIDAD	FECHA DE ALTA
1	US COMTECH DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de componentes electrónicos	JUNIO 2012
2	IQOR GLOBAL	Fabricación de equipo de transmisión y recepción de señales de radio y televisión, y equipo de comunicación inalámbrico	JULIO 2010
3	EMERPOWSYS S DE RL DE CV	Fabricación de componentes electrónicos	JULIO 2010
4	GSW DE MÉXICO S DE RL DE CV	Fabricación de cables de conducción eléctrica	ENERO 2016
5	HD ELECTRONICS REYNOSA S DE RL	Fabricación de equipo de audio y de video	DICIEMBRE 2014
6	CONTRACT ENGINEER TEAM CETSA SA DE CV	Fabricación de otros instrumentos de medición, control, navegación, y equipo	JULIO 2010
7	ANDREW TELECOMMUNICATIONS DE REYNOSA S DE RL DE CV	Fabricación de equipo de transmisión y recepción de señales de radio y televisión, y equipo de comunicación inalámbrico	JULIO 2010
8	CORNING OPTICAL COMMUNICATIONS S DE RL DE C V	Fabricación de otros equipos de comunicación	DICIEMBRE 2014
9	CORNING OPTICAL COMMUNICATIONS S DE RL DE CV	Fabricación de equipo telefónico	DICIEMBRE 2014
10	EMERSON TOOL AND APPLIANCE COMPANY S DE RL DE CV	Fabricación de enseres electrodomésticos menores	JULIO 2010
11	STANDARD MOTOR PRODUCTS DE MEXICO S DE R L DE C V	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos automotores	JULIO 2010
12	CORNING OPTICAL COMMUNICATIONS S DE RL DE C V	Fabricación de otros equipos de comunicación	JULIO 2013
13	PANASONIC AUTOMOTIVE SYSTEMS DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de equipo de audio y de video	JULIO 2010
14	LG ELECTRONICS REYNOSA SA DE CV	Fabricación de equipo de audio y de video	JULIO 2010
15	EMERSON	Fabricación de componentes electrónicos	DICIEMBRE 2014
16	CORNING OPTICAL COMMUNICATIONS S DE RL DE CV	Fabricación de cables de conducción eléctrica	JULIO 2010
17	FUJITSU TEN DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de equipo de audio y de video	JULIO 2010
18	MAVERICK ELECTRONICS	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos	JULIO 2010
19	CINCH CONNECTORS DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de componentes electrónicos	JULIO 2010
20	CEQUENT ELECTRICAL PRODUCTS DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos automotores	ENERO 2016
21	PROMOTORA MERHEN SA DE CV	Fabricación de enseres electrodomésticos menores	JULIO 2010
22	LANDIS & GYR SA DE CV	Fabricación de otros instrumentos de medición, control, navegación, y equipo	JULIO 2010
23	BBB INDUSTRIES DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos	JULIO 2010
24	AM MEX PRODUCTOS INTERNACIONAL S DE RL DE CV	Fabricación de componentes electrónicos	JULIO 2010
25	EMERSON	Fabricación de cables de conducción eléctrica	JUNIO 2012
26	EMERSON	Fabricación de cables de conducción eléctrica	JUNIO 2012
27	TRW ELECTRONICA ENSAMBLES S DE RL DE CV	Fabricación de componentes electrónicos	JULIO 2010
28	CAL-COM ELECTRONICS DE MEXICO CO. SA DE CV	Fabricación de equipo de transmisión y recepción de señales de radio y televisión, y equipo de comunicación inalámbrico	JULIO 2013
29	ALCOM ELECTRONICOS DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos	OCTUBRE 2016
30	SEMTECH CORPUS CHRISTI SA DE CV	Fabricación de componentes electrónicos	DICIEMBRE 2014
31	CORNING OPTICAL COMMUNICATIONS S DE RL DE C V	Fabricación de otros equipos de comunicación	JULIO 2010
32	MCI MIRROR CONTROLS INTERNATIONAL S DE RL DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos automotores	DICIEMBRE 2014
33	SANMINA SCI MÉXICO	Fabricación de computadoras y equipo periférico	JULIO 2010
34	BISELL MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de enseres electrodomésticos menores	DICIEMBRE 2014
35	PANASONIC INDUSTRIAL DEVICES DE TAMAULIPAS SA DE CV	Fabricación de equipo de audio y de video	JULIO 2010
36	ALCOM ELECTRONICOS DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos	JULIO 2010
37	NEXUS MAGNETICOS DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de equipo y aparatos de distribución de energía eléctrica	JULIO 2010
38	SANMINA SCI DE MEXICO, S.A. DE C.V.	Fabricación de computadoras y equipo periférico	ENERO 2016
39	MEGA TECH WAY DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos	DICIEMBRE 2014
40	DELPHI DELCO ELECTRONICS DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de equipo de audio y de video	JULIO 2010
41	WELLS MANUFACTURERA DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos automotores	JULIO 2010
42	SCHNEIDER ELECTRIC	Fabricación de componentes electrónicos	JULIO 2010
43	KIMBALL ELECTRONICS MEXICO S A DE C V	Fabricación de componentes electrónicos	JULIO 2010
44	CARPLASTIC SA DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos	OCTUBRE 2016
45	LAIRD TECHNOLOGIES S DE RL DE CV	Fabricación de equipo de transmisión y recepción de señales de radio y televisión, y equipo de comunicación inalámbrico	JULIO 2010
46	SMP ENGINE MANAGEMENT S DE RL DE CV	Fabricación de equipo eléctrico y electrónico y sus partes para vehículos	ENERO 2016
47	LG ELECTRONICS REYNOSA SA DE CV	Fabricación de equipo de audio y de video	JULIO 2010
48	V-TEK	Fabricación de componentes electrónicos	JULIO 2010
49	SEASON GROUP MX, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de componentes electrónicos	ENERO 2016

**SECTOR MINERO Y METALÚRGICO**

<b>No.</b>	<b>NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>FECHA DE ALTA</b>
1	TORNOS MUCCINI	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
2	MUCCINI SA DE CV	Fabricación de productos metálicos forjados y troquelados	OCTUBRE 2016
3	PTD SERVICIOS MULTIPLES, S. DE R.L. DE C.V.	Perforación de pozos petroleros y de gas	ENERO 2016
4	SAPA PRECISION	Industria básica del aluminio	MARZO 2017
5	LADRILLERA BARAJAS	Fabricación de ladrillos no refractarios	DICIEMBRE 2014
6	CONCRETOS GOCASA SA DE CV	Fabricación de concreto	MARZO 2017
7	LAPIDAS GARCIA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	DICIEMBRE 2014
8	TALLER DE TORNOS WONG	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
9	TALLER DE TORNOS EL PAVO	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
10	MATERIALES CANTU DE REYNOSA SA DE CV	Fabricación de tubos y bloques de cemento y concreto	JULIO 2010
11	TALLER SAN ANGEL	Fabricación de estructuras metálicas	JULIO 2010
12	TALLER DE MAQUINADOS SIN NOMBRE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
13	TALLER DE TORNO	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
14	MAQUINADOS MANUFACTURA E INTEGRACIÓN	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
15	SERVICIOS INTEGRALES SANJEL, S. DE R.L. DE C.V.	Otros servicios relacionados con la minería	ENERO 2016
16	JS MANUFACTURAS S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos metálicos	OCTUBRE 2016
17	MAQUINADOS DEL ÁNGEL	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
18	PENTAIR	Fabricación de otros productos metálicos	DICIEMBRE 2014
19	ARTE MANUALIDADES Y ARTESANIAS	Fabricación de alambre, productos de alambre y resortes	DICIEMBRE 2014
20	KUNPLATING DE MÉXICO	Recubrimientos y terminados metálicos	DICIEMBRE 2014
21	GRABADOS EN VIDRIO FLORES DEL ANELO	Fabricación de otros productos de vidrio	JULIO 2010
22	CONCREMEX	Fabricación de concreto	JULIO 2010
23	DINAMIC MAQUINADOS INDUSTRIALES S DE RL DE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	OCTUBRE 2016
24	SAXON ENERGY SERVICES DE MEXICO, S.A. DE C.V.	Perforación de pozos petroleros y de gas	DICIEMBRE 2014
25	REY LAM	Fabricación de productos metálicos forjados y troquelados	JULIO 2010
26	HERRERIA SIN NOMBRE	Fabricación de estructuras metálicas	DICIEMBRE 2014
27	TECGLOBA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
28	PENTAIR	Fabricación de otros productos metálicos	JULIO 2010
29	GIH DE CERRALVO, S. DE R.L. DE C.V.	Minería de arena y grava para la construcción	DICIEMBRE 2014
30	MAQUINADOS HERLOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
31	MAQUINADOS MAPEREY	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
32	MUEBLES METALICOS VALO	Fabricación de estructuras metálicas	DICIEMBRE 2014
33	MACHINE SHOP DE REYNOSA	Fabricación de herrajes y cerraduras	DICIEMBRE 2014
34	SAPA PRECISION TUBING REYNOSA S DE RL DE CV	Industria básica del aluminio	JULIO 2013
35	MULTIBLOCK SA DE CV	Fabricación de tubos y bloques de cemento y concreto	DICIEMBRE 2014
36	TALLER DE MAQUINADOS ROLE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
37	CONSTRUCTORA INDUSTRIAL RIO BRAVO SA DE	Fabricación de tubos y bloques de cemento y concreto	JULIO 2010
38	TORNOS VICSA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
39	MARMOLERIA SIN NOMBRE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	DICIEMBRE 2014
40	TALLER DE TORNOS CARSED	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
41	MAQUINADO INDUSTRIAL	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
42	LADRILLERA SIN NOMBRE	Fabricación de ladrillos no refractarios	DICIEMBRE 2014
43	TORNOS Y SOLDADURAS FASEHERR	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
44	DISEÑOS MAQUINADOS INDUSTRIALES	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
45	BALCONES	Fabricación de concreto	DICIEMBRE 2014
46	PENTAIR	Fabricación de otros productos metálicos	DICIEMBRE 2014
47	WEATHERFORD	Otros servicios relacionados con la minería	OCTUBRE 2016
48	TALLER DE TORNOS Y SOLDADURA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
49	LA PIDAS	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	JULIO 2010
50	EATON CONTROLS S DE RL DE CV	Fabricación de válvulas metálicas	JULIO 2010
51	TALLER DE MAQUINADOS FIMA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
52	SCHLUMBERGER	Otros servicios relacionados con la minería	JULIO 2010
53	VIDRIERA INDUSTRIAL TARAHUMARA	Fabricación de otros productos de vidrio	JULIO 2010
54	MAQUINADOS HERLOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014

## Continuación...

55	ANLY ENTERPRICES	Metalistería de metales no preciosos	JULIO 2010
56	CANTERA REYNOSA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	JULIO 2010
57	MAQUINADO DEL SUR	Fabricación de otros productos metálicos	JULIO 2010
58	TRITURADOS Y PREMEZCLADOS DEL NORTE	Fabricación de concreto	JULIO 2010
59	TORNOSMMODEL SHOP	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
60	TALLER DE MAQUINADOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
61	MARMOLERIA SANCHEZ	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	JULIO 2010
62	OIL AND GAS SERVICES MEX DE, S.A. DE C.V.	Otros servicios relacionados con la minería	ENERO 2016
63	NOV DH DE MÉXICO	Perforación de pozos petroleros y de gas	JULIO 2010
64	TALLER DE TORNOS SIN NOMBRE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
65	FAI, S.A. DE C.V.	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
66	TALLER DE TORNOS SIN NOMBRE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
67	LAMONS MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de tornillos, tuercas, remaches y similares	MARZO 2017
68	VIDRIOS Y ALUMINIOS SAN JUAN	Fabricación de otros productos de vidrio	JULIO 2010
69	MAQUINADOS INDUSTRIALES DEL NORTE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
70	FRESYMAQ	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
71	MAQUIRO, S.A. DE C.V.	Fabricación de tubería y conexiones, y tubos para embalaje	DICIEMBRE 2014
72	TALLER DE TORNOS MAQUINADOS DE LA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
73	MARMOLERIA RANGEL	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	JULIO 2010
74	ALFARERIA LA CONCHA	Fabricación de yeso y productos de yeso	JULIO 2010
75	ULTRA BLOCK	Fabricación de tubos y bloques de cemento y concreto	JULIO 2010
76	FRONTIER AUTOMATION	Fabricación de herramientas de mano metálicas sin motor	OCTUBRE 2016
77	CARZON SERVICIOS PETROLEROS, S. DE R.L. DE	Perforación de pozos petroleros y de gas	JUNIO 2012
78	QMAX	Otros servicios relacionados con la minería	OCTUBRE 2016
	MAQUINADO DE PIEZAS METÁLICAS PARA		
79	MAQUINARIA Y EQUIPO EN GENERAL	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
80	MAQUILADORA Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS	Fabricación de estructuras metálicas	JULIO 2010
81	LADRILLERA SIN NOMBRE	Fabricación de ladrillos no refractarios	JULIO 2010
82	MAQUINADOS INDUSTRIALES RANGEL	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
83	TALLER DE SOLDADURA Y MANTENIMIENTO	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
84	CONCRETOS SILOH, S.A. DE C.V.	Fabricación de concreto	ENERO 2016
85	MAQUINADOS SALDAÑA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
86	FABRICACIÓN DE MAQUINADOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
87	MULTISERVICIOS DE LA FRONTERA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
88	CERCAS REYNOSA	Fabricación de alambre, productos de alambre y resortes	JULIO 2010
89	MAQUINADOS INDUSTRIALES SEGURA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
90	INDUSTRIAL PERFORADORA DE CAMPECHE, S.A.	Perforación de pozos petroleros y de gas	MARZO 2011
91	SERVICIOS Y MAQUINADOS MAYHER	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
92	VIDRIOS Y ALUMINIO SIN NOMBRE	Fabricación de otros productos de vidrio	DICIEMBRE 2014
93	SMALL PARTS	Fabricación de productos metálicos forjados y troquelados	OCTUBRE 2016
94	LAMINADOS Y ESTRUCTURADOS VILLARREAL	Fabricación de estructuras metálicas	DICIEMBRE 2014
95	LADRILLERA SIN NOMBRE	Fabricación de ladrillos no refractarios	JULIO 2010
96	CONCRETOS GOCASA	Fabricación de concreto	MARZO 2017
97	CEYMI DE LEON, S. DE R.L. DE C.V.	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JUNIO 2012
98	QMAX MEXICO, S.A. DE C.V.	Otros servicios relacionados con la minería	ENERO 2016
99	TALLER TORNO	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
100	CAMERON DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de válvulas metálicas	MARZO 2011
101	ABASTECEDORA INDUSTRIAL Y PETROLERA	Fabricación de estructuras metálicas	JULIO 2010
102	FRAMAR	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
103	VIDRIO Y ALUMINIO ARQUITECTÓNICO	Fabricación de otros productos de vidrio	DICIEMBRE 2014
104	FIGURAS DE YESO	Fabricación de yeso y productos de yeso	JULIO 2010
105	QIS REYNOSA SA DE CV	Recubrimientos y terminados metálicos	DICIEMBRE 2014
106	WELDMEX INDUSTRIES S DE RL DE CV	Fabricación de tanques metálicos de calibre grueso	JULIO 2010
107	MARMOLERIA HERNANDEZ	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	DICIEMBRE 2014
108	SIMA 3G, S.A. DE C.V.	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
109	CANTERAS VASQUEZ	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	DICIEMBRE 2014
110	TALLER DE TORNO BARRAS CARDAN	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010

## Continuación...

111	MAQUINADOS XPRESS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
112	PROMAC	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
113	AC DISEÑOS Y MAQUINADOS, S.A. DE C.V.	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	ENERO 2016
114	NIBCO DE REYNOSA SA DE CV	Fabricación de válvulas metálicas	JULIO 2010
115	NOVALINK	Recubrimientos y terminados metálicos	DICIEMBRE 2014
116	MAQUINADOS RIM	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
117	METOKOTE	Recubrimientos y terminados metálicos	JULIO 2010
118	MAQUINADOS INDUSTRIALES ALONSO	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
119	LADRILLERA SIN NOMBRE	Fabricación de ladrillos no refractarios	JULIO 2010
120	BETTCHEER MANUFACTURING CORPORATION S DE	Fabricación de productos metálicos forjados y troquelados	JULIO 2010
121	TALLERES FLORES	Fabricación de piezas metálicas troqueladas para vehículos automotrices	JULIO 2010
122	LINTOR MAQUINADOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
123	KOHLER REYNOSA S DE RL DE CV	Fabricación de otros productos metálicos	JULIO 2010
124	LADRILLERA DON JESUS	Fabricación de ladrillos no refractarios	JULIO 2010
125	MPS TOOL	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
126	PROCESOS ESLABONADOS	Fabricación de estructuras metálicas	DICIEMBRE 2014
127	MAQUINADOS Y SERVICIOS QUIROGA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
128	LADRILLERA EL SABINITO	Fabricación de ladrillos no refractarios	JULIO 2010
129	MAQUINADOS Y SERVICIOS SAN LUIS, S.A. DE C.V.	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
130	CENTRO INDUSTRIAL DE MAQUINADOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
131	SERVICIOS INDUSTRIALES RAMIREZ	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
132	DESVASTES DE MAQUINADO REYNOSA, S.A. DE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
133	FIXTURA Y MAQUINADOS DEL NORTE	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
134	ZAPATA INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.	Perforación de pozos petroleros y de gas	JULIO 2010
135	MAQUINADOS Y SERVICIOS ESPECIALIZADOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
136	ACERREY	Industria básica del aluminio	JULIO 2010
137	CORGON	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
138	CORE LAB OPERATIONS SA DE CV	Otros servicios relacionados con la minería	OCTUBRE 2016
139	LAMINADOS LA LUNA	Fabricación de tanques metálicos de calibre grueso	DICIEMBRE 2014
140	NEGOCIO DE MARMOLES	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	JULIO 2010
141	MAQUINADOS ORLI	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
142	MG MAQUINADOS GENERALES	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
143	TALLER DE HERRERIA	Fabricación de herrajes y cerraduras	DICIEMBRE 2014
144	DESTTECH	Fabricación de productos metálicos forjados y troquelados	OCTUBRE 2016
145	TALLER DE SOLDADURA BC CONSTRUCCIONES	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
146	TALLER AUXILIAR DE FENORREY	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
147	FERCO SERVICIOS PETROLEROS, S.A. DE C.V.	Perforación de pozos petroleros y de gas	JULIO 2010
148	SERVICIOS INDUSTRIALES Y MAQUINADOS ALFA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
149	SQ ENERGY	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
150	PROBADORES PETROLEROS, S.A. DE C.V.	Perforación de pozos petroleros y de gas	JULIO 2010
151	HERRERIA GOMEZ	Fabricación de alambre, productos de alambre y resortes	JULIO 2010
152	TIS MAQUINADOS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010
153	LADRILLERA SIN NOMBRE	Fabricación de ladrillos no refractarios	JULIO 2010
154	VIDRIERA	Fabricación de otros productos de vidrio	DICIEMBRE 2014
155	ESTRUCTURAS METALICAS JORMORA	Fabricación de estructuras metálicas	DICIEMBRE 2014
156	DIFASA	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
157	AUTOCENTRO METÁLICO	Recubrimientos y terminados metálicos	JULIO 2010
158	CNN MANUFACTURING, S.A. DE C.V.	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	DICIEMBRE 2014
159	PD0052 REYNOSA 1 CEMEX CONCRETOS SA DE CV	Fabricación de concreto	JULIO 2010
160	DISEÑOS Y MAQUINADOS TAMAULIPAS	Maquinado de piezas metálicas para maquinaria y equipo en general	JULIO 2010

**SECTOR AUTOMOTRIZ Y MAQUINARIA**

No.	NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO	ACTIVIDAD	FECHA DE ALTA
1	HUTCHINSON TRANSFERENCIA DE FUIDOS MEXICO SA DE CV	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	ENERO 2016
2	AUTOMOTIVE MAQUILADORA	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	MARZO 2011
3	ARC AUTOMOTRIZ DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	JULIO 2010
4	OFICINAS ADMINISTRATIVAS DE TI AUTOMOTIVE REYNOSA	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	JULIO 2010
5	VELVAC DE REYNOSA S.DE.R.L.DE.C.V	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	JULIO 2010
6	EATON CONTROL S DE RL DE CV	Fabricación de partes de sistemas de frenos para vehículos automotrices	JULIO 2010
7	TRW VEHICLE SAFETY SYSTEMS	Fabricación de asientos y accesorios interiores para vehículos automotrices	JULIO 2010
8	TI AUTOMOTIVE	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	ENERO 2016
9	MONROE MEXICO SA DE CV	Fabricación de partes de sistemas de dirección y de suspensión para vehículos automotrices	JULIO 2010
10	CEQUENT ELECTRICAL PRODUCTS DE MEXICO, S. DE R.L.	Fabricación de carrocerías y remolques	JULIO 2013
11	LYM DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de otra maquinaria y equipo para la industria en general	JULIO 2010
12	CORPORACION CONSTRUCTORA AZTECA SA DE CV	Fabricación de otra maquinaria y equipo para la industria en general	DICIEMBRE 2014
13	CORNELIUS MANUFACTURING DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de otra maquinaria y equipo para el comercio y los servicios	DICIEMBRE 2014
14	EATON INDUSTRIES S DE RL DE CV	Fabricación de partes de sistemas de transmisión para vehículos automotrices	JULIO 2010
15	JR TRANSPORT	Fabricación de carrocerías y remolques	DICIEMBRE 2014
16	FANSTEEL DE MEXICO	Fabricación de motores de gasolina y sus partes para vehículos automotrices	JULIO 2010
17	TALLER Y MAQUINARIA, S.A. DE C.V.	Fabricación de carrocerías y remolques	JULIO 2010
18	Z INDUSTRIES MEX, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	DICIEMBRE 2014
19	BLACK & DECKER DE REYNOSA S DE RL DE CV	Fabricación de partes de sistemas de dirección y de suspensión para vehículos automotrices	JULIO 2010
20	SOCIEDAD DE MOTORES DOMESTICOS S DE RL DE CV	Fabricación de motores de combustión interna, turbinas y transmisiones	JULIO 2010
21	SOLUCIONES TECNOLOGICAS DE REYNOSA, S.A. DE C.V.	Fabricación de partes de sistemas de dirección y de suspensión para vehículos automotrices	ENERO 2016
22	JOHNSON CONTROLS AUTOMOTRIZ MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	DICIEMBRE 2014
23	TRW VEHICLE SAFETY SYSTEMS DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de asientos y accesorios interiores para vehículos automotrices	JULIO 2010
24	RBC DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de partes de sistemas de dirección y de suspensión para vehículos automotrices	OCTUBRE 2016
25	TI AUTOMOTIVE REYNOSA, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	ENERO 2016
26	KONGSBERG AUTOMOTIVE S DE RL DE CV	Fabricación de asientos y accesorios interiores para vehículos automotrices	JULIO 2010
27	TENNECO	Fabricación de partes de sistemas de dirección y de suspensión para vehículos automotrices	MARZO 2017
28	EATON CONTROL S DE RL DE CV	Fabricación de otra maquinaria y equipo para la industria en general	DICIEMBRE 2014
29	MUNICIPAL TRUCK AND EQUIPMENT SA DE CV	Fabricación de carrocerías y remolques	ENERO 2016
30	TI GROUP AUTOMOTIVE SYSTEMS S DE R L DE C V	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	MARZO 2017
31	TALLER DE SOLDADURA JYMMY	Fabricación de carrocerías y remolques	JULIO 2010
32	AUTOMOTIVE MAQUILADORA, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	ENERO 2016
33	TI GROUP AUTOMOTIVE SYSTEMS S DE RL DE CV PLANTA 4	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	JULIO 2010
34	TI AUTOMOTIVE REYNOSA S DE RL DE CV (PLANTA 8)	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	JULIO 2010
35	HUTCHINSON TRANSFERENCIA DE FLUIDOS MEXICO SA DE CV	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	JULIO 2013
36	AUTOMOTIVE MAQUILADORA S DE RL DE CV	Fabricación de partes de sistemas de frenos para vehículos automotrices	JULIO 2010
37	DYMHERR	Fabricación de otra maquinaria y equipo para la industria en general	JULIO 2010
38	TI AUTOMOTIVE REYNOSA S DE RL DE CV PLANTA 7	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	JULIO 2010
39	SMP FOUR SEASONS DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de otras partes para vehículos automotrices	ENERO 2016

**SECTOR QUÍMICO**

No.	NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO	ACTIVIDAD	FECHA DE ALTA
1	TEXAS ORGANICS DE MEX, S.A. DE C.V.	Fabricación de productos abrasivos	JUNIO 2012
2	C D TECHNOLOGIES	Fabricación de acumuladores y pilas	JULIO 2010
3	SAINT-GOBAIN ABRASIVOS SA DE CV	Fabricación de productos abrasivos	JULIO 2010
4	TOPLINE PRODUCTS MEXICO DE RL DE CV	Fabricación de cosméticos, perfumes y otras preparaciones de tocador	OCTUBRE 2016
5	TONERS Y TINTA EXPRESS DEL NORTE SA DE CV	Fabricación de otros productos químicos	OCTUBRE 2016
6	GLCC LAUREL DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de otros productos químicos básicos inorgánicos	JULIO 2010
7	INICS AMERICA	Fabricación de adhesivos	OCTUBRE 2016
8	ECO QUÍMICA DE MÉXICO	Fabricación de jabones, limpiadores y dentífricos	DICIEMBRE 2014
9	SCI TECHNOLOGIES	Fabricación de resinas sintéticas	JULIO 2010
10	COMPLEJO PROCESADOR DE GAS REYNOSA	Fabricación de petroquímicos básicos del gas natural y del petróleo refinado	ENERO 2016
11	BODEGA DE EMPRESA PLASTIREYSA	Fabricación de resinas de plásticos reciclados	DICIEMBRE 2014
12	TONERS Y TINTA EXPRESS	Fabricación de tintas para impresión	OCTUBRE 2016
13	CHAMPION TECHNOLOGIES DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de materias primas para la industria farmacéutica	MARZO 2017
14	PRODUCTOS DE LIMPIEZA	Fabricación de jabones, limpiadores y dentífricos	DICIEMBRE 2014

**SECTOR DEL PAPEL, CELULOSA Y CARTÓN**

No.	NOMBRE DE ESTABLECIMIENTO	ACTIVIDAD	FECHA DEL ALTA
1	CARPINTERÍA	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
2	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
3	TARIMERA	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
4	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE MADERA PARA LA CONSTRUCCIÓN	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
5	COMERCIALIZADORA CLOSETMAID	Fabricación de otros productos de madera	ENERO 2016
6	PROIN REYSA	Fabricación de envases de cartón	OCTUBRE 2016
7	CARPINTERÍA LOS VERACRUZANOS	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
8	CARPINTERÍA LAGO	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
9	CARPINTERÍA	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
10	SI EMPAQUES REYNOSA	Fabricación de envases de cartón	OCTUBRE 2016
11	PIÑATERÍA CHELI	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
12	WOORI	Fabricación de envases de cartón	ENERO 2016
13	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
14	TALLER CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
15	LA FUERZA FRONTERIZA	Fabricación de otros productos de madera	DICIEMBRE 2014
16	TALLER DE CARPINTERÍA	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
17	PROTEMEX	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	MARZO 2017
18	CARPINTERÍA LOERA	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
19	PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
20	PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
21	CARBÓN DE MEZQUITE	Fabricación de otros productos de madera	DICIEMBRE 2014
22	FABRICACIÓN DE MUEBLES SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
23	TALLER DE CARPINTERÍA TELEO	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
24	GALERÍA PUERTAS FINAS	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
25	TALLER CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
26	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
27	COMERCIALIZADORA PRONTO	Fabricación de envases de cartón	JULIO 2010
28	CARPINTERÍA MORGAN	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
29	PIÑATERÍA	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
30	EMPAQUE MEX	Fabricación de envases de cartón	JULIO 2010
31	BODEGA DE TARIMAS Y REICLADOS DEL NORESTE, S.A. DE C.V.	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
32	PIÑATERÍA CELLAVEL	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
33	STRONG BOX USA DE MÉXICO S DE RL DE CV	Fabricación de envases de cartón	JULIO 2010
34	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
35	TECNO PALLETS	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
36	VICTORY PACKAGING	Fabricación de envases de cartón	DICIEMBRE 2014
37	RECICLADO DE TARIMAS GENESIS	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	JULIO 2010
38	FABRICACIÓN DE OTROS PRODUCTOS DE CARTÓN Y PAPEL	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
39	FABRICA DE TARIMAS TECNOMADERAS DE REYNOSA	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	JULIO 2010
40	CARPINTERÍA POMPA	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010

## Continuación...

41	TARIMAS EL SABINO	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
42	CONVERTIDORA DE PAPEL DEL NOROESTE SA DE CV	Fabricación de papel a partir de pulpa	JULIO 2010
43	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PARA EMBALAJE Y ENVASES DE MADERA	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
44	MADEDERA EL SABINO	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
45	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
46	EZGRAPH	Fabricación de envases de cartón	MARZO 2017
47	IB SUPPLY SA DE CV	Fabricación de otros productos de cartón y papel	ENERO 2016
48	CARPINTERIA.	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
49	PROTEMEX	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	JULIO 2010
50	DISEÑOS VETA	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
51	PURTAS Y VITRALES EL ÁNGEL	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
52	BANABOX DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de envases de cartón	DICIEMBRE 2014
53	FABRICACIÓN DE OTROS PRODUCTOS DE CARTÓN Y PAPEL	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
54	AMERICA EMPACK S DE RL DE CV	Fabricación de envases de cartón	JULIO 2010
55	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
56	SI EMPAQUES REYNOSA SA DE CV	Fabricación de envases de cartón	OCTUBRE 2016
57	PIÑATERÍA DONYS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
58	CARPINTERÍA SALINAS	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
59	CARPINTERÍA ARCO	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
60	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
61	PIÑATERÍA DONY	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
62	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
63	PROGACA	Fabricación de envases de cartón	JULIO 2010
64	VENTA DE PUERTAS EL ANGELITO	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
65	MANUALIDADES LA CASITA DE CECI	Fabricación de artículos y utensilios de madera para el hogar	JULIO 2010
66	TALLER DE CARPINTERÍA CAMPESTRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
67	PIÑATERÍA RUIZ	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
68	TARIMAS UNIVERSALES	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
69	INPACK	Fabricación de envases de cartón	OCTUBRE 2016
70	TALLER DE CARPINTERÍA BALDERAS	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
71	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
72	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
73	CARPINTERÍA CASTILLO	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
74	FABRICACIÓN DE OTROS PRODUCTOS DE CARTÓN Y PAPEL	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
75	PIÑATERÍA MARY	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
76	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PARA EMBALAJE Y ENVASES DE MADERA	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
77	PACKAGING SOLUTIONS AND LOGISTICS DE MEXICO S DE RL DE CV	Fabricación de envases de cartón	DICIEMBRE 2014
78	CLOSETMAID REYNOSA, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de otros productos de madera	ENERO 2016
79	LILIBETH	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
80	CARPINTERÍA AGO	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
81	TARIMAS HEREDIA	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	JULIO 2010

Continuación...

82	PIÑATERÍA RAMÍREZ	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
83	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
84	CARPINTERÍA LAS 15	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
85	TARIMAS UNIVERSALES DEL NORTE SA DE CV	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
86	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
87	J Y R MANUFACTURING SERVICE SA DE CV	Fabricación de envases de cartón	DICIEMBRE 2014
88	DANHIL DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de envases de cartón	JULIO 2010
89	NARICITAS ROJAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
90	FABRICACIÓN DE PIÑATAS SIN NOMBRE	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
91	LONDON INTEGRATION	Fabricación de envases de cartón	DICIEMBRE 2014
92	AGE EMPAQUES DE MEXICO SA DE CV	Fabricación de envases de cartón	DICIEMBRE 2014
93	TALLER DE CARPINTERÍA	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
94	PROTOREY, S.A. DE C.V.	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	ENERO 2016
95	GRUPO WIC S DE RL DE CV	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	ENERO 2016
96	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
97	CLOSETS Y COCINAS	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
98	CARPINTERÍA SUÁREZ	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
99	CARPINTERÍA LAS CHOAPAS	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
100	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
101	GRUPO EME	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
102	VENTA DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
103	CARPINTERÍA Y EBANISTERÍA BAUTISTA	Fabricación de productos de madera para la construcción	JUNIO 2012
104	PIÑATERÍA JUNIORS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
105	CARPINTERÍA CACHITO	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010
106	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
107	AMERICA EMPACK S DE RL DE CV	Fabricación de envases de cartón	OCTUBRE 2016
108	INTERNACIONAL PAPER MEXICO COMPANY, S. DE R.L. DE C.V.	Fabricación de envases de cartón	ENERO 2016
109	CARPINTERÍA EL CHATO	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
110	TARIMAS VALLE ALTO	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
111	STANDARD PALLETS DE MÉXICO	Fabricación de productos para embalaje y envases de madera	DICIEMBRE 2014
112	VENTAS DE PUERTAS	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
113	ELABORACIÓN DE PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
114	PIÑATERÍA	Fabricación de otros productos de cartón y papel	DICIEMBRE 2014
115	PIÑATAS	Fabricación de otros productos de cartón y papel	JULIO 2010
116	TALLER DE CARPINTERÍA ASH	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
117	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
118	BANA BOX	Fabricación de envases de cartón	OCTUBRE 2016
119	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	DICIEMBRE 2014
120	CARPINTERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos de madera para la construcción	JULIO 2010

Fuente: Elaboración propia con base al Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, 2017.



C. ANEXO: Biorremediación de lagunas de estabilización

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES No. 1  
REYNOSA, TAMPS.**

**REMEDIACIÓN DE LAS  
LAGUNAS EXISTENTES**

## **REMEDIACIÓN DE LAS LAGUNAS EXISTENTES**

### **ESPECIFICACION DE OBRA RS-001**

#### **A.- DEFINICIÓN**

Remediación de las lagunas existentes en la planta de tratamiento de aguas residuales No. 1 significa extraer, estabilizar y disponer en forma adecuada los lodos acumulados, considerando que se encuentran a una concentración del 10% de sólidos, de acuerdo a la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 y demás normas ecológicas aplicables.

Para la disposición de los lodos se considera la construcción de un relleno sanitario dentro de las instalaciones de la misma planta.

#### **B.- EJECUCIÓN**

El proceso de remediación de las lagunas existentes consiste en dragar, diluir, bombear, desaguar, estabilizar con cal, secar y compactar en un relleno sanitario los lodos acumulados en las lagunas existentes.

El dragado y bombeado de los lodos se lleva a cabo mediante una draga autopropulsada marca IMS, modelo 5012 LP Versi-Dredge, con motor diesel de 325 Hp, equipada con cuchilla cortadora y bomba hidráulica. Dicho equipo se tienen que mover gradualmente a lo largo y ancho de la laguna hasta extraer la mayor parte de los lodos.

Los lodos extraídos son bombeados a una concentración promedio del 3-4%, por medio de una bomba "Búster" con capacidad de 60 m<sup>3</sup>/hora con motor diesel de 174 Hp, al sistema de deshidratación.

La concentración de los lodos dependiendo de la profundidad de extracción podrá variar en un rango muy amplio, por lo que en caso requerido se deberá diluir con agua para hacer un lodo bombeable.

Para la conducción de los lodos desde las lagunas hasta el sistema de deshidratación, se utiliza manguera para presión de 12" de diámetro

Una vez extraída la mayor parte de los lodos de una laguna se procede a su vaciado bombeando el agua hacia las demás lagunas para terminar su limpieza y reanudar su funcionamiento.

El sistema de deshidratación consta de un espesador GBT (gravity belt thickner) y un filtro de banda BFP (belt filter press) ambos con ancho efectivo de banda de 1.5 m que funcionan en serie; incluyendo un sistema de preparación de polímeros con capacidad adecuada para ambos equipos.

Los lodos deshidratados se descargan por medio de una banda transportadora a camión de volteo o contenedor para su transporte al relleno sanitario localizado en la misma planta.

En el relleno sanitario construido se descargan los lodos para su secado y estabilización con cal a razón de 300 kg de cal/ton lodo seco, colocando la cal sobre el lodo y mezclando mediante un tractor agrícola con una rastra de cultivo. Este proceso se ejecuta por el tiempo necesario hasta lograr una concentración del 60% de sólidos. Sobre el lodo se instala una capa de arcilla a razón de 200 kg/ton de lodo seco para lograr una concentración aproximada del 80% de sólidos, se mezcla y compacta hasta el 85% proctor utilizando motoconformadora y rodillo. Una vez estabilizado mecánicamente se procede a colocar una nueva capa de lodo repitiendo el proceso ya mencionado.

C.- MEDICIÓN

La medición del trabajo de remediación de las lagunas será por m<sup>3</sup> de lodo a una concentración del 20% de sólidos medido en la caja de camión de volteo o contenedor.

D.- FORMA DE PAGO

El Precio de del m<sup>3</sup> incluye la extracción, dilución, bombeo, extendido, estabilización, mezclado con cal y con arcilla, compactación y disposición de los lodos en el relleno sanitario de la planta.

Incluye mano de obra, equipo, energía eléctrica, combustibles, reactivos y todo lo requerido para cumplir con las especificaciones mencionadas.

El precio incluye también cumplir con los aspectos de seguridad del personal y el cuidado del medio ambiente.

## D. ANEXO: Matriz de Cálculo del Balance

Población c/ servicio de A. Potable (hab.)	Cobertura de A. Potable	Población total con alcantarillado (hab.)	Cobertura de Alcantarillado	Población total con saneamiento	Cobertura de Saneamiento	Referencias
490,867	98%	400,707	80%	400,707	80%	<a href="http://server.cocef.org/aproyectos/470_PC_D_REYNOSA_Esp.pdf">http://server.cocef.org/aproyectos/470_PC_D_REYNOSA_Esp.pdf</a>
564,868	92.77%	530,649	87.15%	462,757	76%	<a href="http://poarchivo.tamulipas.gob.mx/periodicos/2008/0308/pdf/cxxiii-38-260308F-REYNOSA.pdf">http://poarchivo.tamulipas.gob.mx/periodicos/2008/0308/pdf/cxxiii-38-260308F-REYNOSA.pdf</a>
634,170	95.36%	612,923	92.17%	505,396	76%	Comapa de Reynosa, 2017. <a href="http://www.cocef.org/uploads/files/draft_bd_2016-xx_reynosa_wv_certification_document_span_02_16_2016.pdf">http://www.cocef.org/uploads/files/draft_bd_2016-xx_reynosa_wv_certification_document_span_02_16_2016.pdf</a>

## PRODUCCIÓN

Año	Fuentes Superficiales: río Bravo y Canal "Rhode"						Fuentes subterráneas: Acuífero Bajo-Río Bravo		Industria Autoabastecida	Producción Total de Agua potable por la COMAPA		Producción final de Agua potable para el Sistema Urbano
	PP "Pastor lozano	PP "Benito Juárez"	PP "Los Cavazos"	PP "Rancho Grande"	PP "Las Haciendas"	PP "Las Haciendas"	Agua extraída por concesión	m <sup>3</sup> /anuales		Porcentaje Equivalente	m <sup>3</sup> /anuales	
2005	25,427,710.08	7,416,415.44	0.00	4,120,230.80	0.00	0.00	6,613,000.00	36,964,356.32	98%	43,577,356.32	COMAPA+CONAGUA	
2006	24,779,926.94	7,227,478.69	0.00	4,015,265.94	0.00	0.00	7,846,000.00	36,022,671.58	98%	43,868,671.58		
2007	24,952,298.83	7,277,753.83	0.00	4,043,196.57	0.00	0.00	7,638,000.00	36,273,249.23	98%	43,911,249.23		
2008	28,038,345.26	7,804,106.67	193,336.95	4,854,120.00	118,700.00	0.00	7,771,000.00	41,008,608.89	98%	48,779,608.89		
2009	30,925,281.27	8,238,490.80	210,322.52	4,994,639.00	127,750.00	0.00	7,932,000.00	44,496,483.59	98%	52,428,483.59		
2010	29,579,862.10	8,302,045.06	203,966.40	5,003,675.00	127,750.00	0.00	7,932,000.00	43,217,298.56	92.77%	51,149,298.56		
2011	36,257,619.00	7,876,626.00	231,347.00	4,910,090.00	127,754.00	0.00	7,932,000.00	49,403,436.00	92.77%	57,335,436.00		
2012	30,523,201.80	8,562,820.80	219,505.00	6,324,480.00	128,100.00	0.00	7,928,000.00	45,758,107.60	92.77%	53,686,107.60		
2013	26,072,945.40	7,128,673.20	234,304.00	6,048,000.00	127,750.00	288,576.00	7,677,000.00	39,900,248.60	92.77%	47,577,248.60		
2014	34,615,235.20	8,365,738.03	193,309.00	4,802,005.00	127,750.00	288,576.00	7,677,000.00	48,392,613.23	92.77%	56,069,613.23		
2015	33,091,855.20	10,662,961.20	218,548.00	3,843,850.00	19,600.00	288,576.00	7,785,000.00	48,125,390.40	95.36%	55,910,390.40		
2016	30,398,666.03	12,161,695.80	218,368.00	4,076,987.34	0.00	288,576.00	7,819,000.00	47,144,293.17	95.36%	54,963,293.17		
2017	32,155,971.00	12,325,207.00	251,361.00	4,264,930.47	0.00	315,360.00	7,997,000.00	49,312,829.47	95.36%	57,309,829.47		
<b>Total - Docenio (m<sup>3</sup>/anuales)</b>	<b>386,818,918.11</b>	<b>113,350,012.52</b>	<b>2,174,367.87</b>	<b>61,301,470.13</b>	<b>905,154.00</b>	<b>1,469,664.00</b>	<b>100,547,000.00</b>	<b>566,019,586.63</b>		<b>666,566,586.63</b>		

## D I S T R I B U C I Ó N

Volumen Facturado (m <sup>3</sup> /año) por sector						Total de Agua Facturada (Usuarios directos)		Facturación final de Usuarios Directos e indirectos		Porcentaje equivalente de la facturación final a usuarios directos e indirectos desglosado por sectores				
Doméstico	Comercio	Industrial	Servicio Público Urbano	Industria Autoabastecida *	Usuarios Directos	Porcentaje equivalente	(m <sup>3</sup> /año)	Doméstico	Industria autoabastecida	Comercio	Industria	SPU		
29,142,298.24	1,986,974.88	1,324,649.92	662,324.96	6,613,000.00	33,116,248.00	87.80%	39,729,248.00	73.35%	16.65%	5.00%	3.33%	1.67%		
28,599,623.12	1,606,720.40	1,124,704.28	803,360.20	7,846,000.00	32,134,408.00	82.76%	39,980,408.00	71.53%	19.62%	4.02%	2.81%	2.01%		
28,602,561.68	1,950,174.66	1,300,116.44	650,058.22	7,638,000.00	32,502,911.00	85.45%	40,140,911.00	71.26%	19.03%	4.86%	3.24%	1.62%		
32,020,723.23	2,576,380.03	1,472,217.16	736,108.58	7,771,000.00	36,805,429.00	87.96%	44,576,429.00	71.83%	17.43%	5.78%	3.30%	1.65%		
35,178,245.52	2,398,516.74	1,599,011.16	799,505.58	7,932,000.00	39,975,279.00	88.04%	47,907,279.00	73.43%	16.56%	5.01%	3.34%	1.67%		
33,760,483.11	2,716,360.71	1,552,206.12	776,103.06	7,932,000.00	38,805,153.00	83.30%	46,737,153.00	72.23%	16.97%	5.81%	3.32%	1.66%		
38,634,597.21	3,108,330.81	1,776,303.32	888,151.66	7,932,000.00	44,407,583.00	83.39%	52,339,583.00	73.82%	15.15%	5.94%	3.39%	1.70%		
35,845,086.63	2,884,087.43	1,648,049.96	824,024.98	7,928,000.00	41,201,249.00	83.53%	49,129,249.00	72.96%	16.14%	5.87%	3.35%	1.68%		
31,629,780.16	2,156,575.92	1,437,717.28	718,858.64	7,677,000.00	35,942,932.00	83.57%	43,619,932.00	72.51%	17.60%	4.94%	3.30%	1.65%		
38,032,135.26	3,060,056.86	1,748,603.92	874,301.96	7,677,000.00	43,715,098.00	83.80%	51,392,098.00	74.00%	14.94%	5.95%	3.40%	1.70%		
38,287,987.76	2,610,544.62	1,740,363.08	870,181.54	7,785,000.00	43,509,077.00	86.22%	51,294,077.00	74.64%	15.18%	5.09%	3.39%	1.70%		
37,276,683.81	2,999,273.41	1,713,870.52	856,935.26	7,819,000.00	42,846,763.00	86.67%	50,665,763.00	73.57%	15.43%	5.92%	3.38%	1.69%		
39,522,121.76	2,694,690.12	1,796,460.08	898,230.04	7,997,000.00	44,911,502.00	86.85%	52,908,502.00	74.70%	15.11%	5.09%	3.40%	1.70%		
<b>446,532,327.49</b>	<b>32,748,886.59</b>	<b>20,234,273.24</b>	<b>10,358,144.68</b>	<b>100,547,000.00</b>	<b>509,873,632.00</b>		<b>610,420,632.00</b>							

## C O N S U M O

<i>Cobertura alcantarillado</i>		<i>Volumen de agua colectada por el sistema de alcantarillado (Desglosado por sectores*)</i>								<i>Total de Agua Facturada sin colección</i>	
		<i>Volumen máx. colectado equivalente (m3/anauales)</i>	<i>Doméstico</i>	<i>Comercial</i>	<i>Industrial</i>	<i>Servicio Público Urbano</i>	<i>Industria Autoabastecida</i>	<i>(m3/anauales)</i>	<i>Porcentaje excedente</i>		
80%	30,174,942.95	26,553,949.80	1,810,496.58	1,206,997.72	603,498.86	6,613,000.00	9,554,305.05	25.33%			
80%	31,064,079.42	27,647,030.69	1,553,203.97	1,087,242.78	776,601.99	7,846,000.00	8,916,328.58	22.96%			
80%	30,429,056.05	26,057,517.81	1,776,648.94	1,184,432.63	592,216.31	7,638,000.00	9,711,854.95	25.53%			
80%	33,476,369.04	29,124,481.41	2,343,349.08	1,339,056.62	669,528.31	7,771,000.00	11,100,059.96	26.53%			
80%	36,323,609.75	31,964,820.86	2,179,419.60	1,452,946.40	726,473.20	7,932,000.00	11,583,669.25	25.51%			
87.15%	40,599,210.67	35,321,301.99	2,841,943.84	1,623,967.91	811,983.95	7,932,000.00	6,137,942.33	13.18%			
87.15%	46,410,594.21	40,377,204.04	3,248,740.56	1,856,423.17	928,211.59	7,932,000.00	5,928,988.79	11.13%			
87.15%	42,986,098.45	37,397,893.69	3,009,025.93	1,719,443.39	859,721.69	7,928,000.00	6,143,150.55	12.45%			
87.15%	37,483,106.37	32,985,123.05	2,248,985.66	1,499,323.78	749,661.89	7,677,000.00	6,136,825.63	14.27%			
87.15%	45,461,006.71	39,551,063.18	3,182,269.45	1,818,439.69	909,219.84	7,677,000.00	5,931,091.29	11.37%			
92.17%	46,513,164.38	40,933,632.19	2,790,929.47	1,860,619.64	930,309.82	7,785,000.00	4,780,912.62	9.47%			
92.17%	45,564,934.43	39,643,475.95	3,189,704.96	1,822,688.55	911,344.27	7,819,000.00	5,100,828.57	10.32%			
92.17%	47,660,823.62	41,943,622.83	2,859,792.47	1,906,528.31	953,264.16	7,997,000.00	5,247,678.38	10.15%			

## C O N C E S I O N A D O

Industria Autoabastecida (m <sup>3</sup> /anuales), cuentan con conexión a la red de alcantarillado			
Superficial	<i>Vol. De Retorno (65%)</i>	Subterráneo	<i>Vol. De Retorno (65%)</i>
4,380,000.00	2,847,000.00	2,233,000.00	1,451,450.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,466,000.00	2,252,900.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,258,000.00	2,117,700.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,391,000.00	2,204,150.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,552,000.00	2,308,800.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,552,000.00	2,308,800.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,552,000.00	2,308,800.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,548,000.00	2,306,200.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,297,000.00	2,143,050.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,297,000.00	2,143,050.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,405,000.00	2,213,250.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,439,000.00	2,235,350.00
4,380,000.00	2,847,000.00	3,617,000.00	2,351,050.00

## A L C A N T A R I L L A D O

Red de Drenaje (% de retorno por sector de acuerdo a la American Water Works Association)					Escorrentía Superficial (m <sup>3</sup> /anuales)	Total de Agua de Desecho (m <sup>3</sup> /anuales)
<i>Doméstico (85%)</i>	<i>Comercio (65%)</i>	<i>Industria (65%)</i>	<i>Servicio Público Urbano (85%)</i>	Industria Autoabastecida (65%)		
24,770,953.50	1,291,533.67	861,022.45	562,976.22	4,298,450.00	1,367,568.69	33,152,504.53
24,309,679.65	1,044,368.26	731,057.78	682,856.17	5,099,900.00	4,871,093.47	36,738,955.33
24,312,177.43	1,267,613.53	845,075.69	552,549.49	4,964,700.00	4,855,462.22	36,797,578.35
27,217,614.75	1,674,647.02	956,941.15	625,692.29	5,051,150.00	5,739,742.15	41,265,787.36
29,901,508.69	1,559,035.88	1,039,357.25	679,579.74	5,155,800.00	2,365,802.30	40,701,083.87
28,696,410.64	1,765,634.46	1,008,933.98	659,687.60	5,155,800.00	6,656,742.38	43,943,209.06
32,839,407.63	2,020,545.03	1,154,597.16	754,928.91	5,155,800.00	617,363.82	42,542,642.54
30,468,323.64	1,874,656.83	1,071,232.47	700,421.23	5,153,200.00	1,411,680.98	40,679,515.15
26,885,313.14	1,401,774.35	934,516.23	611,029.84	4,990,050.00	3,448,748.82	38,271,432.38
32,327,314.97	1,989,036.96	1,136,592.55	743,156.67	4,990,050.00	4,062,953.11	45,249,104.25
32,544,789.60	1,696,854.00	1,131,236.00	739,654.31	5,060,250.00	6,309,357.48	47,482,141.39
31,685,181.24	1,949,527.72	1,114,015.84	728,394.97	5,082,350.00	2,308,402.53	42,867,872.29
33,593,803.50	1,751,548.58	1,167,699.05	763,495.53	5,198,050.00	3,330,788.42	45,805,385.08
<b>379,552,478.37</b>	<b>21,286,776.28</b>	<b>13,152,277.61</b>	<b>8,804,422.98</b>	<b>65,355,550.00</b>	<b>47,345,706.37</b>	<b>535,497,211.60</b>

### E. ANEXO: Uso de Suelo y Vegetación

<i>Area (Km2)</i>	<i>Uso de Suelo y Cobertura Vegetal</i>
6.8540	ASENTAMIENTOS HUMANOS
17.3369	ASENTAMIENTOS HUMANOS
2.9545	ASENTAMIENTOS HUMANOS
8.6803	ASENTAMIENTOS HUMANOS
0.5005	ASENTAMIENTOS HUMANOS
1.1743	ASENTAMIENTOS HUMANOS
34.7222	ASENTAMIENTOS HUMANOS
2.1844	CUERPO DE AGUA
4.0222	PASTIZAL INDUCIDO
1.4999	PASTIZAL INDUCIDO
4.1669	PASTIZAL INDUCIDO
1.9822	MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO
2.3767	MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO
2.9482	ZONA URBANA
0.4205	ASENTAMIENTOS HUMANOS
2.7107	ASENTAMIENTOS HUMANOS
6.8540	ASENTAMIENTOS HUMANOS
17.3369	ASENTAMIENTOS HUMANOS
4.0222	PASTIZAL INDUCIDO

<i>Area (Km2)</i>	<i>Uso de Suelo y Cobertura Vegetal</i>
0.3325	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0894	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0570	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0291	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.2959	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0252	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.1282	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
1.7374	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.3853	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.1453	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0155	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
7.2703	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
1.9687	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.4367	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.8766	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.3984	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0716	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0257	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0126	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.4346	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
1.5611	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
2.7426	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.5255	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.4571	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.1192	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.3109	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.6244	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0378	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.4385	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.7198	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0081	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.5406	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.0632	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL
0.5255	AGRICULTURA -PECUARIA -FORESTAL

## F. ANEXO: Interpolación del Método de Peñuelas

**Fórmula 2.** Interpolación del Método de Peñuelas

$$C = \left( \frac{C_{\text{máx}} - C_{\text{min}}}{k_{\text{máx}} - k_{\text{min}}} \right) (k_p - k_{\text{min}}) + (C_{\text{min}}), \text{ complementar los datos con el Cuadro 9.}$$

$$C = \left( \frac{0.50 - 0.35}{50 - 30} \right) (45 - 30) + (0.35) = \left( \frac{0.15}{20} \right) (15) + (0.35) = \mathbf{0.4625}$$

## G. ANEXO: Estimaciones de Retorno de Agua Residual

### ALCANTARILLADO

Red de Drenaje (% de retorno por sector de acuerdo a la American Water Works Association)					Escorrentía Superficial (m <sup>3</sup> /anuales)	Total de Agua de Desecho (m <sup>3</sup> /anuales)
Doméstico (85%)	Comercio (65%)	Industria (65%)	Servicio Público Urbano (85%)	Industria Autoabastecida (65%)		
24,770,953.50	1,291,533.67	861,022.45	562,976.22	4,298,450.00	1,367,568.69	33,152,504.53
24,309,679.65	1,044,368.26	731,057.78	682,856.17	5,099,900.00	4,871,093.47	36,738,955.33
24,312,177.43	1,267,613.53	845,075.69	552,549.49	4,964,700.00	4,855,462.22	36,797,578.35
27,217,614.75	1,674,647.02	956,941.15	625,692.29	5,051,150.00	5,739,742.15	41,265,787.36
29,901,508.69	1,559,035.88	1,039,357.25	679,579.74	5,155,800.00	2,365,802.30	40,701,083.87
28,696,410.64	1,765,634.46	1,008,933.98	659,687.60	5,155,800.00	6,656,742.38	43,943,209.06
32,839,407.63	2,020,545.03	1,154,597.16	754,928.91	5,155,800.00	617,363.82	42,542,642.54
30,468,323.64	1,874,656.83	1,071,232.47	700,421.23	5,153,200.00	1,411,680.98	40,679,515.15
26,885,313.14	1,401,774.35	934,516.23	611,029.84	4,990,050.00	3,448,748.82	38,271,432.38
32,327,314.97	1,989,036.96	1,136,592.55	743,156.67	4,990,050.00	4,062,953.11	45,249,104.25
32,544,789.60	1,696,854.00	1,131,236.00	739,654.31	5,060,250.00	6,309,357.48	47,482,141.39
31,685,181.24	1,949,527.72	1,114,015.84	728,394.97	5,082,350.00	2,308,402.53	42,867,872.29
33,593,803.50	1,751,548.58	1,167,699.05	763,495.53	5,198,050.00	3,330,788.42	45,805,385.08

Volumen de Agua Retornado (m<sup>3</sup>/anuales) = (Vol. Facturado) (Porcentaje de retorno)

Ejemplo 1:

- Sector doméstico:

$$\text{m}^3/\text{anuales retornados} = (29,142,298.24 \text{ m}^3/\text{anuales})(0.85) = \mathbf{24,770,953.5}$$

Ejemplo 2:

- Sector comercial:

$$\text{m}^3/\text{anuales retornados} = (1,986,974.88 \text{ m}^3/\text{anuales})(0.65) = \mathbf{1,291,533.672}$$

## H. ANEXO: Infraestructura de la PTAR No.2



Personal de la PTAR No.2



Caja de llegada



Desarenador tipo "vortex"



Cribado fino y grueso



Canal "Parshall"



Clarificador primario



Filtro percolador



Clarificador secundario



Cárcamo de lodos



Espesador de lodos



Caseta de cloración (izq.) y Caseta de filtros banda (der.)



Digestores anaerobios (Sin operar).



Tanque de contacto de cloro.

Fuente: Elaboración propia con base al trabajo de campo, noviembre-diciembre 2017

## I. ANEXO: Volumen tratado (efluente) PTAR No.1 y No.2

\*\*Datos del efluente estimados a partir de la lectura de medidores de flujo.

Planta Tratadora de Aguas Residuales No.1, 2017												
Volumen Tratado : m3/mensuales												
Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	80,803	84,194	68,449	77,590	123,394	72,034	53,749	75,949	52,474	66,984	70,880	59,578
2	80,985	83,752	68,517	74,837	118,432	75,070	55,396	78,420	80,563	67,892	84,332	59,052
3	80,835	84,502	68,289	70,320	81,635	70,821	57,412	78,985	84,501	72,770	66,849	58,291
4	80,272	84,601	67,859	71,064	73,418	65,474	55,913	77,249	69,767	83,338	70,905	62,826
5	79,246	83,608	68,034	102,631	65,650	49,339	60,728	80,772	70,952	76,107	65,345	62,511
6	43,829	83,496	68,002	97,055	56,406	79,956	58,505	75,107	63,418	65,831	65,699	87,896
7	45,429	84,295	67,553	99,261	59,239	82,285	63,272	87,374	69,622	60,267	74,909	88,903
8	45,738	83,640	68,172	96,714	90,649	82,464	77,608	75,394	66,206	52,989	71,946	44,602
9	44,898	57,616	68,516	95,830	106,888	82,761	62,293	75,483	44,291	97,500	72,439	50,807
10	44,251	103,192	69,310	92,920	86,081	83,499	88,991	75,334	53,950	92,563	73,694	56,313
11	44,229	108,321	64,538	88,891	93,745	84,127	90,915	73,311	60,511	80,959	72,574	47,987
12	44,646	52,453	67,402	112,788	76,247	80,744	90,512	76,800	68,382	76,734	49,856	75,316
13	44,725	94,267	68,202	100,293	72,310	81,779	90,205	68,979	67,648	83,258	67,901	77,123
14	43,872	110,387	68,379	96,346	69,785	85,546	83,360	74,359	59,652	70,069	73,735	67,854
15	44,865	109,614	68,172	95,109	70,492	85,792	80,918	74,014	56,015	63,712	78,176	69,274
16	46,237	109,540	68,284	104,889	72,905	83,126	81,687	84,754	60,504	69,637	69,947	69,427
17	47,438	109,255	68,160	105,468	81,766	84,929	81,242	69,207	59,589	66,976	68,268	66,399
18	47,862	107,670	68,243	92,692	95,160	83,148	80,947	74,227	57,042	64,990	69,078	66,383
19	47,723	106,602	69,558	81,529	101,137	78,749	83,679	74,320	63,837	97,798	54,653	65,027
20	93,837	107,761	68,792	87,290	101,988	77,291	85,230	73,513	80,675	93,899	43,606	61,578
21	108,631	59,438	90,239	90,866	107,215	73,880	87,067	70,489	83,542	74,968	77,279	48,003
22	108,146	49,809	87,966	106,996	84,442	101,443	85,502	73,193	90,838	57,066	78,609	52,182
23	106,511	68,121	89,845	142,941	85,500	105,236	84,932	75,058	84,329	102,212	76,687	57,751
24	102,076	67,778	89,252	70,056	89,949	128,609	88,868	80,437	80,428	65,362	57,329	62,650
25	55,421	68,489	89,196	68,562	87,851	134,522	89,725	79,368	83,370	69,341	62,800	59,136
26	83,268	67,040	89,021	116,458	82,531	102,747	88,317	82,258	86,326	87,263	68,157	45,769
27	84,488	67,891	89,153	102,463	84,174	62,993	56,245	80,994	98,709	90,896	66,918	41,798
28	82,864	67,542	89,755	99,776	89,450	68,672	56,035	57,707	59,887	65,368	67,275	41,624
29	83,516		90,070	112,175	87,838	84,980	54,996	75,818	70,677	58,532	66,540	40,883
30	83,870		111,264	130,150	81,418	68,807	46,939	68,267	71,285	79,800	66,669	40,870
31	83,388		88,516		75,201		67,927	61,694		69,088		41,522
<b>Volumen tratado</b>	<b>2,113,899</b>	<b>2,364,874</b>	<b>2,366,708</b>	<b>2,883,960</b>	<b>2,652,896</b>	<b>2,500,823</b>	<b>2,289,115</b>	<b>2,328,834</b>	<b>2,098,990</b>	<b>2,324,169</b>	<b>2,053,055</b>	<b>1,829,335</b>
<b>Promedio diario</b>	<b>74,749</b>											
<b>Promedio Mensual</b>	<b>2,317,221.50</b>											
<b>Total Anual (m3)</b>	<b>27,806,658.00</b>											

\*\*Datos del efluente estimados a partir de la lectura de medidores de flujo.

Planta Tratadora de Aguas Residuales No.2, 2017												
Volumen tratado: m3/anales												
Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	22,363.00	26,728.00	17,575.00	18,166.00	9,412.00	24,947.00	15,178.00	12,453.00	24,388.00	11,025.00	8,847.00	11,002.00
2	22,158.00	27,203.20	25,058.00	18,166.00	8,337.00	25,197.00	18,946.00	12,337.00	26,541.00	9,230.00	10,217.00	12,597.00
3	23,145.00	24,882.80	21,340.00	15,133.00	6,676.00	23,635.00	21,917.00	23,054.00	25,717.00	11,665.00	17,843.00	9,038.00
4	23,724.00	25,359.23	23,732.00	24,408.00	7,369.00	23,542.00	18,839.00	23,587.00	28,293.00	10,611.00	4,666.06	7,704.00
5	22,112.00	24,907.47	20,623.00	25,348.00	6,436.00	24,384.00	18,148.00	22,683.00	27,770.00	12,901.00	4,206.94	7,615.00
6	20,886.00	24,229.29	21,209.00	26,943.00	7,207.00	27,410.00	18,545.00	22,354.00	29,149.00	11,902.00	7,493.00	5,783.00
7	22,777.27	25,268.01	25,013.00	24,696.00	4,352.00	24,645.00	18,829.00	24,358.00	21,743.00	12,451.00	7,270.00	13,470.00
8	23,051.73	29,031.00	28,254.00	16,566.00	9,186.00	26,335.00	19,407.00	24,938.00	22,078.00	11,592.00	7,509.00	13,079.50
9	25,468.00	25,774.00	26,079.00	16,763.00	7,994.00	24,136.00	14,488.00	24,228.00	30,194.00	12,126.00	6,618.00	13,079.50
10	28,199.00	23,733.60	27,145.00	8,756.00	9,397.00	21,067.00	16,305.00	24,008.00	18,426.00	14,547.00	9,066.00	8,584.00
11	25,977.00	23,207.40	24,122.00	7,964.00	10,468.00	22,737.00	17,606.00	23,326.00	15,335.00	12,114.00	11,284.00	4,935.00
12	25,785.00	22,692.00	24,760.00	10,037.00	7,050.00	23,677.00	19,094.00	25,031.00	9,788.00	11,643.00	8,194.00	5,55.00
13	25,510.20	23,534.00	26,867.00	10,535.00	9,979.00	25,096.00	17,966.00	19,819.00	10,375.00	10,380.00	8,679.00	7,332.00
14	22,795.80	20,990.00	26,847.00	9,044.00	9,239.00	23,705.00	16,412.00	23,233.00	10,337.00	9,721.00	8,224.00	9,417.00
15	24,269.00	23,918.00	26,023.20	10,415.00	9,612.00	23,251.00	17,224.00	22,426.00	11,585.00	10,506.00	5,899.00	9,417.00
16	25,778.00	24,963.00	25,689.73	8,793.00	9,391.00	18,966.00	16,296.00	24,346.00	12,530.00	9,857.00	6,894.00	8,976.00
17	20,921.00	22,778.90	26,760.07	8,346.00	11,169.00	20,106.00	17,798.00	8,949.00	14,710.00	7,774.00	9,910.00	9,723.00
18	25,445.00	25,363.10	21,908.00	9,321.00	8,976.00	19,706.00	18,610.00	12,705.00	12,999.00	9,024.00	7,962.00	7,569.00
19	27,256.00	25,224.00	19,895.00	7,753.00	8,315.00	15,596.00	10,921.00	12,036.00	12,964.00	7,284.00	9,608.00	8,333.00
20	25,368.00	29,270.00	23,578.00	12,076.00	6,504.00	14,913.00	7,085.00	12,247.00	12,791.00	9,071.00	8,062.00	5,714.00
21	22,247.20	27,567.00	23,056.00	16,374.00	5,061.00	19,456.00	5,772.00	8,115.00	12,833.00	13,312.00	7,860.00	9,488.00
22	23,188.80	28,404.00	25,040.00	13,452.00	7,444.00	21,833.00	5,574.00	9,667.00	10,413.84	8,538.00	7,697.00	10,028.00
23	24,616.90	28,503.00	22,530.00	13,802.00	8,871.00	21,631.00	5,991.00	7,751.00	13,757.16	6,570.00	5,784.00	9,893.00
24	23,809.47	26,044.00	23,288.00	15,027.00	22,552.00	24,367.00	7,612.00	13,704.00	11,203.00	8,917.00	7,681.00	8,870.00
25	22,739.63	24,424.00	22,685.00	15,913.00	19,587.00	7,868.00	6,787.00	13,282.00	9,841.00	8,463.00	9,148.00	8,642.00
26	24,742.00	24,532.00	21,017.00	11,920.00	23,260.00	11,419.00	8,188.00	14,247.00	9,157.00	7,188.00	7,899.00	8,827.00
27	27,224.00	27,315.00	23,395.00	14,236.00	20,272.00	20,469.00	8,309.00	11,293.00	11,009.00	8,692.00	5,803.00	9,994.00
28	28,371.00	24,488.00	24,158.00	8,429.00	21,797.00	22,633.00	6,169.00	25,821.00	9,153.00	8,797.00	5,527.00	9,733.00
29	19,762.00	0.00	21,816.00	9,902.00	22,489.00	20,508.00	5,397.93	27,882.00	12,310.00	8,273.00	4,470.00	9,825.00
30	28,114.00	0.00	22,524.00	9,655.00	22,747.00	19,044.00	5,569.07	26,660.00	12,909.00	8,311.00	5,071.00	9,790.00
31	30,297.00	0.00	19,984.00	0.00	23,604.00	0.00	5,826.00	26,736.00	0.00	8,573.00	0.00	10,601.00
<b>Volumen tratado</b>	<b>758,101.00</b>	<b>710,334.00</b>	<b>731,971.00</b>	<b>417,939.00</b>	<b>364,753.00</b>	<b>642,279.00</b>	<b>410,809.00</b>	<b>583,276.00</b>	<b>490,299.00</b>	<b>311,058.00</b>	<b>235,392.00</b>	<b>279,614.00</b>
<b>Promedio diario</b>	<b>15,956.52</b>											
<b>Promedio Mensual</b>	<b>494,652.08</b>											
<b>Total Anual (m3)</b>	<b>5,935,825.00</b>											

Fuente: Comapa de Reynosa-coordinación PIS, 2017

## J. ANEXO: Volumen de llegada (influyente) PTAR No.2

\*\*Datos del influente estimados a partir de la lectura de medidores de flujo.

<b>Planta Tratadora de Aguas Residuales No.2, 2017</b>												
Volumen de operación ( <b>Influente</b> ) LPS												
Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	260.34	311.97	200.43	214.19	105.71	306.41	196.89	146.52	308.36	130.76	117.57	140.64
2	258.32	312.34	278.25	214.19	98.95	311.01	242.54	154.94	326.79	122.93	130.84	163.08
3	266.11	288.77	237.95	175.22	74.81	289.96	270.49	292.01	316.85	144.95	229.09	112.93
4	276.57	294.48	258.09	284.78	86.91	289.53	230.13	299.99	349.91	128.67	59.51	100.52
5	257.49	288.94	229.08	293.00	70.14	300.57	213.86	287.10	340.75	157.26	50.05	100.17
6	244.44	289.48	237.62	308.45	81.83	331.52	215.34	282.52	359.85	154.12	100.22	78.18
7	264.38	290.79	290.48	286.18	46.18	299.34	220.39	308.50	382.96	158.10	94.20	176.59
8	263.09	327.02	315.98	192.69	109.33	321.07	222.97	314.05	257.87	144.71	103.38	170.00
9	297.34	289.34	290.38	191.12	93.65	299.19	171.36	304.24	364.50	153.33	86.22	170.00
10	328.12	266.22	299.26	101.56	107.05	261.06	190.07	301.40	227.15	179.72	116.97	109.06
11	303.53	261.19	267.28	58.41	117.12	280.89	211.77	295.42	187.19	154.88	145.00	59.10
12	294.77	256.44	274.64	116.37	80.09	291.08	216.01	313.54	126.78	143.33	102.23	7.40
13	279.42	271.00	309.94	120.90	112.48	310.40	211.11	250.62	130.56	132.97	113.96	106.10
14	230.58	226.75	327.08	105.80	105.14	292.38	191.36	294.81	130.56	123.41	106.67	125.49
15	349.46	266.76	292.06	114.95	106.63	286.87	197.78	288.58	159.84	132.53	79.58	125.49
16	319.52	278.52	298.32	100.38	112.04	241.54	188.17	303.41	152.96	119.84	91.54	120.05
17	261.90	262.72	310.75	91.51	129.09	250.76	206.29	119.87	182.91	100.50	128.24	124.21
18	278.31	277.26	258.14	106.37	102.95	249.85	218.73	168.38	163.24	112.65	105.09	99.43
19	329.02	283.54	237.09	93.11	98.86	189.21	124.69	161.99	160.34	87.84	22.99	107.60
20	293.08	319.63	274.31	148.58	69.81	193.61	82.31	152.88	160.97	120.14	99.69	77.16
21	261.85	306.53	272.20	194.44	51.01	238.31	59.45	103.36	163.13	166.37	103.17	123.04
22	269.00	314.87	291.15	156.47	87.88	270.03	68.94	129.92	132.35	102.86	100.82	126.40
23	283.06	318.31	265.81	161.59	101.34	272.94	68.46	98.71	172.72	80.34	79.46	129.28
24	282.94	283.56	274.97	176.42	263.86	295.11	145.75	180.54	141.89	112.95	107.11	114.36
25	268.01	275.69	260.82	186.54	235.35	101.62	77.27	175.81	125.17	105.68	114.36	109.12
26	289.84	274.42	248.81	139.56	297.13	152.66	93.31	177.71	116.52	92.65	101.40	116.18
27	292.39	305.32	272.53	167.56	246.87	257.41	93.95	153.29	140.17	119.27	76.61	132.07
28	285.86	277.14	283.54	99.05	270.52	284.20	68.79	322.08	113.43	108.38	76.63	131.45
29	300.91		254.14	116.36	258.85	261.56	56.05	344.42	155.31	102.16	60.74	128.21
30	322.92		259.60	111.47	282.82	244.26	59.50	330.59	163.06	103.60	69.39	128.99
31	358.74		232.55		292.58		65.08	330.96		107.89		137.88
<b>Promedio Mensual (l/s)</b>	<b>286.17</b>	<b>286.39</b>	<b>271.07</b>	<b>160.91</b>	<b>138.61</b>	<b>265.81</b>	<b>157.38</b>	<b>238.33</b>	<b>207.14</b>	<b>125.96</b>	<b>99.09</b>	<b>117.75</b>
<i>Promedio anual (l/s)</i>	<b>196</b>											

Fuente: Comapa de Reynosa-coordinación PIS, 2017

## K. ANEXO: Cálculos de agua residual sin tratamiento

Año	Total de Agua Residual Cruda (Retornada)	Volumen máximo a coleccionar en el sistema de alcantarillado	Cobertura de Saneamiento	Capacidad máxima a sanear de acuerdo a la infraestructura de tratamiento	Porcentaje equivalente	Agua residual retornada sin colección	Agua residual retornada con colección pero sin tratamiento
2005	33,152,504.53	30,174,984.75	80.00%	23,652,000.00	71.34%	2,977,519.78	6,522,984.75
2006	36,738,955.33	31,064,069.48	80.00%	23,652,000.00	64.38%	5,674,885.85	7,412,069.48
2007	36,797,578.35	30,430,578.21	80%	23,652,000.00	64.28%	6,367,000.14	6,778,578.21
2008	41,265,787.36	33,476,415.42	80%	31,536,000.00	76.42%	7,789,371.95	1,940,415.42
2009	40,701,083.87	36,323,660.07	80%	31,536,000.00	77.48%	4,377,423.80	4,787,660.07
2010	43,943,209.06	40,599,197.68	76%	39,420,000.00	89.71%	3,344,011.38	1,179,197.68
2011	42,542,642.54	46,410,579.36	76%	39,420,000.00	92.66%	0.00	3,122,642.54
2012	40,679,515.15	42,986,084.70	76%	39,420,000.00	96.90%	0.00	1,259,515.15
2013	38,271,432.38	37,483,094.38	76%	39,420,000.00	103.00%	788,338.00	0.00
2014	45,249,104.25	45,460,992.16	76%	39,420,000.00	87.12%	0.00	5,829,104.25
2015	47,482,141.39	46,515,491.12	76%	39,420,000.00	83.02%	966,650.27	7,095,491.12
2016	42,867,872.29	45,567,213.73	76%	39,483,072.00	92.10%	0.00	3,384,800.29
2017	45,805,385.08	47,663,207.77	76%	39,483,072.00	86.20%	0.00	6,322,313.08
						<b>32,285,201.16</b>	<b>55,634,772.06</b>

## L. ANEXO: Consumo Energético del CUAR

\*\*Los meses de octubre, noviembre y diciembre se estimaron por tendencia.

Mes	EBAR 1	EBAR 1	EBAR 2	EBAR 2	EBAR 3	EBAR 3	EBAR 4	EBAR 4	EBAR 5	EBAR 5	EBAR 6	EBAR 6
	(kW/h)	\$kW/h	(kW/h)	\$kW/h	(kW/h)	\$kW/h	(kW/h)	\$kW/h	(kW/h)	\$kW/h	(kW/h)	\$kW/h
	Col. Manuel Tárrega	Col. La Copa	Zona Centro	Zona Centro	Col. Longoria	Col. Longoria	Col. Del Puente	Col. Del Puente	Col. Hidalgo	Col. Hidalgo	Col. Mod. 2000	Col. Mod. 2000
Enero	33,600.00	\$89,835.00	3,920	\$9,214.35	5,312	\$12,657.39	63,000	\$157,551.42	31,760	\$72,703.00	16,520	\$37,553.80
Febrero	72,100.00	\$199,195.47	3,760	\$8,896.22	5,298	\$12,683.83	102,900	\$257,758.17	39,920	\$92,160.81	7,320	\$16,947.11
Marzo	49,700.00	\$134,212.30	3,680	\$8,755.77	5,016	\$12,087.06	96,600	\$240,675.50	33,520	\$77,653.28	13,520	\$31,093.45
Abril	47,600.00	\$125,584.16	3,920	\$9,343.06	4,954	\$11,960.96	107,800	\$268,396.74	25,760	\$59,865.32	8,960	\$20,862.77
Mayo	42,700.00	\$112,380.90	4,720	\$11,220.61	5,086	\$12,318.92	103,600	\$258,537.58	36,880	\$86,394.15	8,720	\$20,439.14
Junio	58,800.00	\$38,856.22	4,880	\$11,645.88	5,596	\$13,538.41	106,400	\$266,844.10	26,800	\$62,895.77	7,320	\$17,275.69
Julio	65,100.00	\$163,038.91	5,680	\$13,553.56	5,380	\$13,044.38	115,500	\$291,612.41	30,640	\$72,280.71	15,800	\$36,949.54
Agosto	60,200.00	\$149,990.48	5,280	\$12,691.64	4,636	\$11,344.46	100,800	\$261,036.96	30,720	\$72,903.43	15,040	\$35,440.46
Septiembre	56,000.00	\$140,909.87	4,000	\$9,765.97	4,531	\$11,490.99	72,100	\$190,499.50	28,400	\$67,833.15	15,560	\$37,059.14
Octubre	65,100.00	\$129,184.05	5,247	\$12,689.49	4,778	\$11,914.74	102,064	\$263,819.42	27,787	\$66,773.88	13,938	\$33,315.66
Noviembre	64,400.00	\$164,801.43	5,411	\$13,114.34	4,716	\$11,828.22	103,172	\$267,851.92	27,024	\$65,357.78	14,308	\$34,342.77
Diciembre	66,436.36	\$168,856.68	5,575	\$13,539.20	4,654	\$11,741.69	104,281	\$271,884.42	26,261	\$63,941.68	14,679	\$35,369.88
<b>TOTAL</b>	<b>681,736.36</b>	<b>\$1,616,845.46</b>	<b>56,072</b>	<b>\$134,430.09</b>	<b>59,957</b>	<b>\$146,611.05</b>	<b>1,178,217</b>	<b>\$2,996,468.13</b>	<b>365,472</b>	<b>\$860,762.96</b>	<b>151,685</b>	<b>\$356,649.42</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>56,811.36</b>	<b>\$134,737.12</b>	<b>4,672.67</b>	<b>\$11,202.51</b>	<b>4,996.39</b>	<b>\$12,217.59</b>	<b>98,184.72</b>	<b>\$249,705.68</b>	<b>30,456.00</b>	<b>\$71,730.25</b>	<b>12,640</b>	<b>\$29,720.78</b>

Mes	EBAR 7	EBAR 7	EBAR 8	EBAR 8	EBAR 9	EBAR 9	EBAR 10	EBAR 10	EBAR 11	EBAR 11	EBAR 12	EBAR 12
	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)
	Zona Centro	Zona Centro	Zona Centro	Zona Centro	Parq. Ind. Reynosa	Parq. Ind. Reynosa	Col. E. Zedillo	Col. E. Zedillo	Col. Las Torres	Col. Las Torres	Col. Bosque Sur	Col. Bosque Sur
Enero	4,646.00	\$10,904.98	743.00	\$2,079.01	3,357.00	\$7,986.56	67,900.00	\$168,066.13	46.00	\$519.90	310.00	\$1,168.04
Febrero	4,703.00	\$11,085.68	868.00	\$2,370.14	2,863.00	\$6,904.09	177,100.00	\$446,896.10	15.00	\$448.09	215.00	\$946.73
Marzo	3,158.00	\$7,614.81	859.00	\$2,360.87	2,668.00	\$6,491.27	93,800.00	\$238,645.09	19.00	\$518.00	151.00	\$797.18
Abril	2,835.00	\$6,910.30	984.00	\$2,657.17	3,229.00	\$7,808.25	88,900.00	\$225,607.10	6.00	\$512.34	222.00	\$971.69
Mayo	3,420.00	\$8,291.04	1,118.00	\$2,976.53	3,247.00	\$7,888.90	97,300.00	\$250,374.52	20.00	\$600.94	222.00	\$977.95
Junio	3,796.00	\$8,981.32	1,364.00	\$3,557.68	3,943.00	\$9,538.09	32,900.00	\$74,608.35	13.00	\$674.85	304.00	\$1,179.95
Julio	4,010.00	\$10,184.56	1,994.00	\$5,032.06	4,318.00	\$10,456.07	177,800.00	\$474,565.72	11.00	\$738.03	306.00	\$1,189.53
Agosto	2,953.00	\$7,779.54	2,424.00	\$6,055.00	3,945.00	\$9,636.97	100,800.00	\$259,039.69	6.00	\$650.70	316.00	\$1,220.58
Septiembre	1,505.00	\$4,183.86	1,942.00	\$4,960.58	3,624.00	\$8,932.22	65,100.00	\$192,270.58	13.00	\$684.43	112.00	\$723.99
Octubre	2,184.92	\$5,971.31	2,375.72	\$5,962.98	4,160.00	\$10,208.11	89,502.78	\$246,737.95	2.56	\$749.85	231.69	\$1,022.71
Noviembre	1,932.43	\$5,478.11	2,577.62	\$6,443.38	4,298.80	\$10,568.79	87,367.78	\$244,306.14	0.00	\$780.99	230.08	\$1,023.35
Diciembre	1,679.95	\$4,984.90	2,779.52	\$6,923.78	4,437.60	\$10,929.46	85,232.78	\$241,874.32	0.00	\$812.14	228.46	\$1,023.99
<b>TOTAL</b>	<b>36,823.30</b>	<b>\$92,370.41</b>	<b>20,028.87</b>	<b>\$51,379.18</b>	<b>44,090.40</b>	<b>\$107,348.78</b>	<b>1,163,703.33</b>	<b>\$3,062,991.70</b>	<b>151.31</b>	<b>\$7,690.26</b>	<b>2,848.23</b>	<b>\$12,245.68</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>3,068.61</b>	<b>\$7,697.53</b>	<b>1,669.07</b>	<b>\$4,281.60</b>	<b>3,674.20</b>	<b>\$8,945.73</b>	<b>96,975.28</b>	<b>\$255,249.31</b>	<b>12.61</b>	<b>\$640.86</b>	<b>237.35</b>	<b>\$1,020.47</b>

Mes	EBAR 13	EBAR 13	EBAR 14	EBAR 14	EBAR 15	EBAR 15	EBAR 16	EBAR 16	EBAR 17	EBAR 17	EBAR 20	EBAR 20
	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)	(kW/h)	(\$kW/h)
	Col. Las Delicias	Col. Las Delicias	Villas de IMAQ	Villas de IMAQ	Col. Mod. 2000	Col. Mod. 2000	Col. Roma	Col. Roma	Fracc. La Cima	Fracc. La Cima	Fracc. Los Muros I	Fracc. Los Muros I
Enero	0.00	\$414.74	9,200.00	\$21,736.20	36.00	\$493.99	2,880.00	\$7,619.77	3,048.00	\$7,255.68	1,281.00	\$2,372.01
Febrero	0.00	\$416.53	4,640.00	\$11,840.12	739.00	\$2,091.54	2,221.00	\$5,990.99	3,281.00	\$7,815.70	1,050.00	\$2,852.13
Marzo	0.00	\$418.32	7,520.00	\$18,781.82	1,106.00	\$2,937.34	3,967.00	\$10,274.10	4,303.00	\$10,168.50	1,001.00	\$2,751.54
Abril	0.00	\$420.13	480.00	\$2,022.30	1,388.00	\$3,596.43	3,845.00	\$9,974.30	2,979.00	\$7,199.91	35.00	\$508.43
Mayo	0.00	\$421.97	5,040.00	\$15,553.56	2,260.00	\$5,621.50	3,453.00	\$9,855.20	1,010.00	\$2,730.07	21.00	\$477.93
Junio	0.00	\$424.85	4,720.00	\$13,089.30	2,294.00	\$5,813.80	2,229.00	\$5,620.62	3,613.00	\$8,730.63	37.00	\$518.49
Julio	0.00	\$426.00	4,720.00	\$13,084.18	2,777.00	\$7,038.84	2,718.00	\$7,195.32	3,803.00	\$9,214.16	251.00	\$1,099.50
Agosto	0.00	\$428.00	880.00	\$2,717.13	2,695.00	\$6,898.51	3,228.00	\$8,634.73	932.00	\$2,588.98	0.00	\$426.42
Septiembre	0.00	\$430.79	640.00	\$2,127.43	2,729.00	\$6,993.36	2,973.00	\$7,927.66	4,130.00	\$10,069.01	326.00	\$1,280.41
Octubre	0.00	\$432.26	297.78	\$2,372.53	3,521.11	\$8,846.04	2,997.03	\$8,009.04	2,753.92	\$6,907.67	0.00	\$120.41
Noviembre	0.00	\$434.24	0.00	\$603.66	3,869.24	\$9,693.35	2,985.01	\$7,986.56	2,702.50	\$6,827.59	0.00	\$0.00
Diciembre	0.00	\$436.22	0.00	\$0.00	4,217.38	\$10,540.67	2,972.99	\$7,964.09	2,651.08	\$6,747.51	0.00	\$0.00
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>\$5,104.05</b>	<b>38,137.78</b>	<b>\$103,928.23</b>	<b>27,631.73</b>	<b>\$70,565.37</b>	<b>36,469.03</b>	<b>\$97,052.38</b>	<b>35,206.50</b>	<b>\$86,255.41</b>	<b>4,002.00</b>	<b>\$12,407.27</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>0.00</b>	<b>\$425.34</b>	<b>3,178.15</b>	<b>\$8,660.69</b>	<b>2,302.64</b>	<b>\$5,880.45</b>	<b>3,039.09</b>	<b>\$8,087.70</b>	<b>2,933.88</b>	<b>\$7,187.95</b>	<b>333.50</b>	<b>\$1,033.94</b>

Mes	EBAR 22	EBAR 22	EBAR	EBAR	EBAR 26	EBAR 26	EBAR 27	EBAR 27	EBAR 28	EBAR 28	EBAR 29	EBAR 29
	(kW/h)	(\$kWh)	23/AP28	23/AP28	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)
	<i>Puerta del Sol</i>	<i>Puerta del Sol</i>	<i>Riv. Del Carmen</i>	<i>Riv. Del Carmen</i>	<i>Loma Real</i>	<i>Loma Real</i>	<i>El Anhel</i>	<i>El Anhel</i>	<i>P. Ind. Colonial</i>	<i>P. Ind. Colonial</i>	<i>El Campanario</i>	<i>El Campanario</i>
Enero	51,200.00	\$129,143.27	8,800.00	\$20,769.67	0.00	\$414.57	3,021.00	\$8,221.77	334.00	\$1,233.98	907.00	\$2,622.78
Febrero	45,600.00	\$115,597.97	8,360.00	\$19,852.45	0.00	\$416.36	3,092.00	\$8,466.38	216.00	\$955.06	900.00	\$2,607.97
Marzo	47,440.00	\$121,129.08	6,720.00	\$16,105.65	0.00	\$418.15	2,854.00	\$7,844.19	854.00	\$2,493.46	4.00	\$507.87
Abril	24,800.00	\$63,571.73	8,080.00	\$19,409.60	0.00	\$419.96	2,857.00	\$7,827.19	314.00	\$1,199.56	918.00	\$2,684.79
Mayo	43,760.00	\$111,138.48	9,400.00	\$22,636.89	0.00	\$422.80	2,921.00	\$8,098.09	221.00	\$980.79	1,295.00	\$3,622.29
Junio	53,040.00	\$133,643.36	12,640.00	\$30,464.39	0.00	\$424.68	2,981.00	\$8,235.86	197.00	\$929.04	1,908.00	\$5,155.02
Julio	40,560.00	\$103,689.80	9,280.00	\$22,661.22	0.00	\$426.60	3,095.00	\$8,646.21	788.00	\$2,376.99	2,690.00	\$7,138.95
Agosto	21,840.00	\$57,327.17	10,080.00	\$24,201.67	0.00	\$427.98	2,847.00	\$7,987.33	1,188.00	\$3,374.43	1,791.00	\$4,901.41
Septiembre	22,080.00	\$58,291.78	11,360.00	\$27,835.58	0.00	\$430.04	2,368.00	\$6,819.23	672.00	\$2,113.89	1,030.00	\$3,017.07
Octubre	24,484.44	\$64,029.30	11,503.33	\$28,116.12	0.00	\$432.21	2,664.47	\$7,596.70	866.47	\$2,595.88	2,065.36	\$5,600.06
Noviembre	21,596.44	\$56,978.88	11,921.33	\$29,207.40	0.00	\$434.18	2,618.79	\$7,512.79	933.46	\$2,767.12	2,224.14	\$6,003.23
Diciembre	18,708.44	\$49,928.45	12,339.33	\$30,298.69	0.00	\$436.16	2,573.11	\$7,428.88	1,000.44	\$2,938.36	2,382.93	\$6,406.39
<b>TOTAL</b>	<b>415,109.33</b>	<b>\$1,064,469.27</b>	<b>120,484.00</b>	<b>\$291,559.33</b>	<b>0.00</b>	<b>\$5,103.69</b>	<b>33,892.37</b>	<b>\$94,684.62</b>	<b>7,584.37</b>	<b>\$23,958.55</b>	<b>18,115.43</b>	<b>\$50,267.83</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>34,592.44</b>	<b>\$88,705.77</b>	<b>10,040.33</b>	<b>\$24,296.61</b>	<b>0.00</b>	<b>\$425.31</b>	<b>2,824.36</b>	<b>\$7,890.39</b>	<b>632.03</b>	<b>\$1,996.55</b>	<b>1,509.62</b>	<b>\$4,188.99</b>

Mes	EBAR 30	EBAR 30	EBAR 31	EBAR 31	EBAR	EBAR	EBAR 33	EBAR 33	EBAR 34	EBAR 34	EBAR 35	EBAR 35
	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)	32/AP59	32/AP59	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)
	<i>Las Fuentes sec. Lomas</i>	<i>Las Fuentes sec. Lomas</i>	<i>Los Almendros II</i>	<i>Los Almendros II</i>	<i>Paseo del Prado</i>	<i>Paseo del Prado</i>	<i>Ramón Pérez III</i>	<i>Ramón Pérez III</i>	<i>Lomas del Pedregal</i>	<i>Lomas del Pedregal</i>	<i>Hda. Los Pinos</i>	<i>Hda. Los Pinos</i>
Enero	37,100.00	\$83,872.70	0.00	\$412.62	1,812.00	\$5,022.24	4,160.00	\$11,336.65	0.00	\$414.12	118.00	\$1,529.99
Febrero	34,100.00	\$78,005.09	1,031.00	\$3,638.91	1,293.00	\$3,753.00	5,200.00	\$13,403.18	0.00	\$415.91	113.00	\$1,512.00
Marzo	29,400.00	\$67,227.94	3,758.00	\$9,831.09	1,608.00	\$4,487.12	4,800.00	\$12,323.97	0.00	\$418.70	113.00	\$672.82
Abril	26,600.00	\$61,083.16	5,938.00	\$15,067.19	1,610.00	\$4,460.20	5,120.00	\$12,137.04	0.00	\$420.51	103.00	\$654.06
Mayo	30,800.00	\$71,090.41	2,578.00	\$6,752.33	1,911.00	\$5,166.29	4,400.00	\$16,346.57	0.00	\$422.35	103.00	\$1,481.29
Junio	26,600.00	\$61,701.32	429.00	\$1,509.09	1,990.00	\$5,398.00	6,800.00	\$17,152.65	0.00	\$424.23	102.00	\$1,483.57
Julio	28,000.00	\$65,776.17	0.00	\$423.97	2,770.00	\$7,310.06	5,280.00	\$14,149.57	0.00	\$426.15	104.00	\$1,187.99
Agosto	25,200.00	\$59,536.53	0.00	\$426.89	2,129.00	\$5,800.74	5,840.00	\$14,061.59	0.00	\$427.98	93.00	\$1,178.19
Septiembre	37,800.00	\$88,374.27	0.00	\$428.87	1,965.00	\$5,457.05	1,760.00	\$4,557.45	0.00	\$430.04	90.00	\$1,441.53
Octubre	28,397.22	\$67,433.78	0.00	\$781.49	2,384.00	\$6,411.59	4,397.78	\$11,456.96	0.00	\$432.10	88.42	\$1,158.59
Noviembre	27,952.22	\$66,772.37	0.00	\$82.43	2,481.07	\$6,652.69	4,313.78	\$11,182.38	0.00	\$434.07	85.23	\$1,148.79
Diciembre	27,507.22	\$66,110.95	0.00	\$0.00	2,578.13	\$6,893.79	4,229.78	\$10,907.80	0.00	\$436.05	82.05	\$1,138.99
<b>TOTAL</b>	<b>359,456.67</b>	<b>\$836,984.69</b>	<b>13,734.00</b>	<b>\$39,354.88</b>	<b>24,531.20</b>	<b>\$66,812.78</b>	<b>56,301.33</b>	<b>\$149,015.80</b>	<b>0.00</b>	<b>\$5,102.21</b>	<b>1,194.70</b>	<b>\$14,587.81</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>29,954.72</b>	<b>\$69,748.72</b>	<b>1,144.50</b>	<b>\$3,279.57</b>	<b>2,044.27</b>	<b>\$5,567.73</b>	<b>4,691.78</b>	<b>\$12,417.98</b>	<b>0.00</b>	<b>\$425.18</b>	<b>99.56</b>	<b>\$1,215.65</b>

Mes	EBAR 36	EBAR 36	EBAR 37	EBAR 37	EBAR 38	EBAR 38	EBAR 39	EBAR 39	EBAR	EBAR	EBAR 41	EBAR 41
	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)	(kW/h)	(\$kWh)	40/AP70	40/AP70	(kW/h)	(\$kWh)
	<i>Las Palmas</i>	<i>Las Palmas</i>	<i>Aeropuerto</i>	<i>Aeropuerto</i>	<i>Los Arcos</i>	<i>Los Arcos</i>	<i>Villa Esmeralda</i>	<i>Villa Esmeralda</i>	<i>Ventura</i>	<i>Ventura</i>	<i>Valle Soleado</i>	<i>Valle Soleado</i>
Enero	0.00	\$411.97	99.00	\$1,426.02	0.00	\$414.16	0.00	\$0.00	4,640.00	\$11,072.14	125.00	\$1,558.52
Febrero	160.00	\$1,088.88	157.00	\$1,727.94	0.00	\$415.95	0.00	\$0.00	4,480.00	\$10,731.78	129.00	\$1,585.88
Marzo	400.00	\$1,344.14	108.00	\$1,486.38	0.00	\$418.74	0.00	\$0.00	5,600.00	\$13,371.42	124.00	\$1,568.16
Abril	80.00	\$985.85	96.00	\$1,431.91	0.00	\$420.55	0.00	\$0.00	7,200.00	\$17,122.44	105.00	\$1,477.22
Mayo	160.00	\$807.86	126.00	\$1,592.97	0.00	\$422.39	0.00	\$0.00	4,720.00	\$11,439.38	114.00	\$1,531.02
Junio	320.00	\$1,190.85	176.00	\$1,861.11	0.00	\$424.27	0.00	\$0.00	6,000.00	\$14,468.96	111.00	\$1,522.77
Julio	240.00	\$2,204.00	183.00	\$923.56	0.00	\$426.19	0.00	\$0.00	5,280.00	\$12,848.23	119.00	\$1,572.73
Agosto	720.00	\$2,419.64	583.00	\$4,012.73	0.00	\$427.98	0.00	\$0.00	5,520.00	\$13,464.63	115.00	\$1,559.39
Septiembre	2,480.00	\$6,261.50	95.00	\$1,461.63	0.00	\$430.04	0.00	\$0.00	6,160.00	\$15,019.26	100.00	\$1,487.62
Octubre	1,466.67	\$4,300.11	304.67	\$2,294.39	0.00	\$432.10	0.00	\$0.00	6,124.44	\$14,972.62	103.61	\$1,514.67
Noviembre	1,658.67	\$4,788.70	329.53	\$2,399.40	0.00	\$434.08	0.00	\$0.00	6,247.11	\$15,310.74	101.18	\$1,509.53
Diciembre	1,850.67	\$5,277.29	354.40	\$2,504.40	0.00	\$436.05	0.00	\$0.00	6,369.78	\$15,648.86	98.74	\$1,504.39
<b>TOTAL</b>	<b>9,536.00</b>	<b>\$31,080.79</b>	<b>2,611.60</b>	<b>\$23,122.44</b>	<b>0.00</b>	<b>\$5,102.50</b>	<b>0.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>68,341.33</b>	<b>\$165,470.47</b>	<b>1,345.53</b>	<b>\$18,391.90</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>794.67</b>	<b>\$2,590.07</b>	<b>217.63</b>	<b>\$1,926.87</b>	<b>0.00</b>	<b>\$425.21</b>	<b>0.00</b>	<b>\$0.00</b>	<b>5,695.11</b>	<b>\$13,789.21</b>	<b>112.13</b>	<b>\$1,532.66</b>

Mes	EBPV 01 (kW/h)	EBPV 01 (\$kWh)	EBPV 03 (kW/h)	EBPV 03 (\$kWh)	EBAT 01 (kW/h)	EBAT 01 (\$kWh)	PTAR No.1 (kW/h)	PTAR No.1 (\$kWh)	PTAR No.2 (kW/h)	PTAR No.2 (\$kWh)	PTAR No.3 (kW/h)	PTAR No.3 (\$kWh)
	Unidad Obrera	Unidad Obrera	Unidad Obrera	Unidad Obrera	PTAR 1	PTAR 1	Col. Nuevo Tamaulipas	Col. Nuevo Tamaulipas	Col. Puertas del Sol	Col. Puertas del Sol	Col. Las Pirámides	Col. Las Pirámides
Enero	1,680.00	\$5,176.60	1,167.00	\$6,329.31	531.00	\$2,380.42	382,200.00	\$878,021.95	12,600.00	\$28,626.06	2,800.00	\$7,021.76
Febrero	0.00	\$416.39	507.00	\$1,625.31	413.00	\$2,239.48	702,100.00	\$1,610,388.16	11,900.00	\$27,237.75	2,640.00	\$6,682.91
Marzo	0.00	\$418.18	1,413.00	\$3,812.72	454.00	\$2,069.02	595,700.00	\$1,376,755.91	13,300.00	\$30,194.21	2,400.00	\$6,131.06
Abril	0.00	\$419.99	2,965.00	\$7,566.49	0.00	\$417.81	650,300.00	\$1,506,029.43	10,500.00	\$24,167.19	1,920.00	\$4,979.38
Mayo	0.00	\$422.83	2,226.00	\$5,813.26	0.00	\$420.62	552,300.00	\$1,277,914.26	10,500.00	\$24,288.89	2,000.00	\$5,220.86
Junio	2,960.00	\$10,461.91	2,889.00	\$7,421.18	106.00	\$1,497.42	637,000.00	\$1,476,776.15	14,700.00	\$33,939.64	2,400.00	\$6,166.57
Julio	800.00	\$3,214.85	2,299.00	\$6,439.30	23.00	\$1,071.59	707,000.00	\$1,635,626.27	9,800.00	\$23,065.18	2,320.00	\$6,088.22
Agosto	320.00	\$2,230.97	434.00	\$1,598.67	0.00	\$426.51	690,900.00	\$1,599,834.92	9,800.00	\$23,179.00	2,080.00	\$5,461.31
Septiembre	960.00	\$3,475.71	456.00	\$1,658.08	0.00	\$428.49	690,900.00	\$1,599,586.36	9,800.00	\$23,175.71	2,000.00	\$5,325.73
Octubre	966.67	\$4,104.89	1,481.19	\$3,557.95	0.00	\$36.66	401,100.00	\$927,669.85	11,200.00	\$26,609.14	1,904.44	\$5,118.58
Noviembre	1,010.67	\$4,342.81	1,458.41	\$3,330.34	0.00	\$0.00	812,000.00	\$2,238,954.53	9,800.00	\$23,403.53	1,828.44	\$4,962.79
Diciembre	1,054.67	\$4,580.74	1,435.63	\$3,102.72	0.00	\$0.00	280,000.00	\$681,558.87	9,100.00	\$22,179.44	1,752.44	\$4,807.00
<b>TOTAL</b>	<b>9,752.00</b>	<b>\$39,265.87</b>	<b>18,731.23</b>	<b>\$52,255.33</b>	<b>1,527.00</b>	<b>\$10,988.02</b>	<b>7,101,500.00</b>	<b>\$16,809,116.66</b>	<b>133,000.00</b>	<b>\$310,065.74</b>	<b>26,045.33</b>	<b>\$67,966.18</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>812.67</b>	<b>\$3,272.16</b>	<b>1,560.94</b>	<b>\$4,354.61</b>	<b>127.25</b>	<b>\$915.67</b>	<b>620,136</b>	<b>\$1,400,759.72</b>	<b>11083.333</b>	<b>\$25,838.81</b>	<b>2170.4444</b>	<b>\$5,663.85</b>
Total Anual (kW/h)	<b>12,325,024.95</b>											
Total Anual (SkWh)	<b>\$29,995,833.18</b>											

Fuente: Estimaciones propias con base a la información proporcionada por el departamento eléctrico y electromecánico de la COMAPA de Reynosa, 2017

Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionados de la COMAPA, 2017.

**M.ANEXO:** Cálculo de Emisiones Directas-Factor proporcionado por la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CEC) 2017.

**Fórmula 3.** Cálculo de emisiones por producción de electricidad a partir de combustibles fósiles (TonCO<sub>2</sub>eq/kWh), 2017. Carboeléctrica “Carbón II” (Nava, Coahuila)

*Descripción de los datos:*

\*Factores de emisión de la carboeléctrica “Carbón II” (CEC, 2004)

CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono):  $749 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{MWh}}$  (CEC, 2004; Tabla 3.14, pág. 80);

SO<sub>2</sub> (Dióxido de Azufre):  $11.89 \frac{\text{Kg SO}_2}{\text{MWh}}$  (CEC, 2004; Tabla 3.5, pág. 34)

NO<sub>x</sub> (Óxidos de Nitrógeno):  $4.64 \frac{\text{Kg NO}_x}{\text{MWh}}$  (CEC, 2004; Tabla 3.8, pág. 52).

\*Factor de conversión de MWh a  $\frac{\text{kW}}{\text{h}}$  : 0.001; Kg a Ton: 0.001

\*Consumo energético procedente de las EBAR’s, PTAR’s y EBAT’s, 2017(ver **Anexo J**):  
12, 325,025.00 kWh/añual.

- Dióxido de Carbono:

$$\text{Factor de emisión} = 749 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{MWh}} \left( \frac{0.001 \text{ MWh}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{h}}} \right) = 0.749 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$0.749 \frac{\text{Kg CO}_2}{\text{kWh}} \left( 12,325,025.00 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) \left( \frac{0.001 \text{ Ton}}{1 \text{ Kg}} \right) = 9,231.4437 = \mathbf{9231} \frac{\text{TonCO}_2}{\text{kWh}}$$

- Dióxido de Azufre:

$$\text{Factor de emisión} = 11.89 \frac{\text{Kg SO}_2}{\text{MWh}} \left( \frac{0.001 \text{ MWh}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{h}}} \right) = 0.01189 \frac{\text{Kg SO}_2}{\text{kWh}}$$

$$0.01189 \frac{\text{Kg SO}_2}{\text{kw/h}} \left( 12,325,025.00 \frac{\text{kWh}}{\text{anuales}} \right) \left( \frac{0.001 \text{ Ton}}{1 \text{ Kg}} \right) = 146.5445 = \mathbf{147 \frac{\text{TonSO}_2}{\text{kWh}}}$$

- Óxidos de Nitrógeno:

$$\text{Factor de emisión} = 4.64 \frac{\text{Kg NO}_x}{\text{MWh}} \left( \frac{0.001 \text{ MWh}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{h}}} \right) = 0.00464 \frac{\text{Kg NO}_x}{\text{kw/h}}$$

$$0.00464 \frac{\text{Kg NO}_x}{\text{kw/h}} \left( 12,325,025.00 \frac{\text{kWh}}{\text{anuales}} \right) \left( \frac{0.001 \text{ Ton}}{1 \text{ Kg}} \right) = 57.1881 = \mathbf{57 \frac{\text{TonNO}_x}{\text{kWh}}}$$

Emisiones de GEI directas totales:

$$\mathbf{9,435 \frac{\text{TonCO}_{2\text{eq}}}{\text{kWh}}}$$

Fuente: Estimación propia con base a datos de la CEC y la COMAPA, 2017

**N. ANEXO:** Cálculo de Emisiones Indirectas. Estimaciones realizadas con el apoyo de la Herramienta ECAM Web Tool-WaCCliM.

\*Factor de emisión (México): **0.452483345kgCO<sub>2</sub>/kWh**

**INPUTS**

Description	Current value	Unit	Data quality
Resident population (ww_resi_pop)	664,994	People	Actual ▼
Population connected to sewers (ww_conn_pop)	612,923	People	Actual ▼
Serviced population (ww_serv_pop)	505,396	People	Actual ▼
Volume of collected wastewater (ww_vol_coli)	39,483,072	m3 ▼	Estimated ▼
Volume of treated wastewater (ww_vol_wwtr)	33,016,809.28	m3 ▼	Actual ▼
Energy consumed from the grid (ww_nrg_cons)	0	kWh ▼	Actual ▼
Energy costs (ww_nrg_cost)	0	MXN	Actual ▼
Total running costs (ww_run_cost)	0	MXN	Actual ▼
BOD5 load influent (ww_bod_infl)	6,682,919.9	kg ▼	Actual ▼
BOD5 load effluent (ww_bod_effl)	6,236,070.32	kg ▼	Actual ▼
BOD removed as sludge (ww_bod_slud)	0	kg ▼	Actual ▼
Number of trips to sludge disposal site (ww_num_trip)	0	Number	Actual ▼
Distance to sludge disposal site (ww_dist_dis)	8.7	km ▼	Actual ▼
Total Nitrogen load in the effluent (ww_n2o_effl)	246,457.46	kg ▼	Actual ▼
Volume of Fuel consumed (ww_vol_fuel)	0	L ▼	Actual ▼
Annual protein consumption per capita (ww_prot_con) Mexico (33.58) ▼	33.58	kg/person/year	Actual ▼
BOD5 per person per day (ww_bod_pday)	40	g/person/day	Actual ▼
CH4 emission factor (ww_ch4_etac) Minor poorly aerated zones (0.06) ▼	0.06	kgCH <sub>4</sub> /kgBOD	Actual ▼
BOD5 mass removed (c_ww_bod_rmvd)	446,849.58	kg	Calculated
Energy of fuel consumed for onsite engines (c_ww_nrg_engines)	0	TJ	Calculated
Energy of fuel consumed for sludge transport (c_ww_nrg_tsludge)	0	TJ	Calculated

OUTPUTS — Greenhouse gas emissions

Origin	KgCO <sub>2</sub>	Per year kgCO <sub>2</sub> /year	Per inhabitant kgCO <sub>2</sub> /year/inhab	Per serviced population kgCO <sub>2</sub> /year/serv.pop	Per water volume kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Per BOD removed kgCO <sub>2</sub> /kg BOD
Electricity (ww_KPI_GHG_elec)	0	0	0	0	0	0
Fuel engines (ww_KPI_GHG_ne_engines)	0	0	0	0	0	0
Sludge transport (ww_KPI_GHG_ne_sludge)	0	0	0	0	0	0
CH4 in WWTP (ww_KPI_GHG_ne_ch4_wwt)	911,573.14	914,077.47	1.37	1.81	0.03	2.04
N2O treated wastewater (ww_KPI_GHG_ne_n2o_tre)	577,062.54	578,647.88	0.87	1.14	0.02	1.29
CH4 untreated wastewater (ww_KPI_GHG_ne_ch4_unt)	3,193,809.96	3,202,584.17	4.82	NA	NA	NA
N2O untreated wastewater (ww_KPI_GHG_ne_n2o_unt)	1,854,856.58	1,859,952.34	2.8	NA	NA	NA
<b>Total GHG</b> (ww_KPI_GHG)	<b>6,537,302.22</b>	<b>6,555,261.85</b>	<b>9.86</b>	<b>2.95</b>	<b>0.05</b>	<b>3.33</b>

Fuente: herramienta WaCCliM en línea: [<http://wacclim.org/ecam/v1/configuration.php>]

Gas	kg/co2 anuales	TonCO2eq	Porcentaje equivalente
Metano (CH4) -Agua Tratada	914,077.47	914.0775	13.94%
Oxido Nitroso (N2O)-Agua Tratada	578,647.88	578.6479	8.83%
Metano (CH4) -Agua sin Tratamiento	3,202,584.17	3,202.5842	48.86%
Oxido Nitroso (N2O)- Agua sin Tratamiento	1,859,952.34	1,859.9523	28.37%
<b>Total</b>	<b>6,555,261.86</b>	<b>6,555.26</b>	<b>100.00%</b>

## O. ANEXO: Cálculo de Capacidad de Tratamiento de PTAR's

**Fórmula 4.** Cálculo de volumen de operación diario por sistema de tratamiento.

$$\text{P. T. A. R 1} = 900 \frac{\text{lbs}}{\text{seg}} = 77,760 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}, \quad \text{P. T. A. R 2} = 196 \frac{\text{lbs}}{\text{seg}} = 16,934.40 \frac{\text{m}^3}{\text{día}},$$

$$\text{P. T. A. R 3} = 2 \frac{\text{lbs}}{\text{seg}} = 172.80 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{TOTAL} = 1,098 \frac{\text{lbs}}{\text{seg}} = 94,867 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Fuente: Estimación propia con base a los datos de la COMAPA de Reynosa

**P. ANEXO: Infraestructura de la PTAR No.1**



Personal de la PTAR No.1



Caja de llegada



Pretratamiento



Desarenador tipo "Vortex"



Reactor Preanóxico



Reactor Biológico



Clarificador Secundario



Cárcamo de recirculación de lodos del clarificador No.1



Cárcamo de recirculación de lodos del clarificador No.2



Caseta de filtros banda



Tanque de contacto de cloro



Laguna de oxidación-maduración



Punto de descarga: Dren “El Anheló”

Fuente: Elaboración propia con base al trabajo de campo, noviembre-diciembre 2017.

## Q. ANEXO: Calidad del Agua Tratada de la PTAR No.1

LABORATORIO CERTIFICADO : ONSITE LABORATORIES DE MÉXICO S.A de C.V					
Fecha de muestreo: 06/04/2017					
Parámetro	Unidades	Influyente	Efluente	Metodología	NOM-001-SEMARNAT-1996*
Nitritos	mg/L	<0.2	<0.2	EPA 300.1-1993	
Nitratos	mg/L	<0.2	<0.2	EPA 300.1-1993	
Cianuros totales	mg/L	<0.02	<0.02	NMX-AA-058-SCFI-2001	1
DQO Total	mg/L	457.53	402.38	NMX-AA-030/2-SCFI-2011	
Fosforo (Total e Inorgánico)	mg/L	7.63	6.66	NMX-AA-029-SCFI-2001	20
Grasas y Aceites	mg/L	19.57	29.79	NMX-AA-005-SCFI-2005	15
Materia Flotante	mg/L	Ausente	Ausente	NMX-AA-006-SCFI-2010	
Nitrógeno Total Kjendhal	mg/L	8.16	7.43	NMX-AA-026-SCFI-2010	40
pH	UpH	7.23	7.27	EPA-150-1980	
Sólidos sedimentables	mg/L	<1	<1	NMX-AA-004-SCFI-2013	1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	116	110	NMX-AA-034-SCFI-2015	75
Temperatura	°C	27	27	NMX-AA-007-SCFI-2000	40
DBO5 total	mg/L	193	188	NMX-AA-028-SCFI-2001	75
Arsénico	mg/L	<0.001	<0.001	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.1
Cobre	mg/L	<0.05	<0.05	NMX-AA-051-SCFI-2002	4
Cromo total	mg/L	<0.05	<0.05	NMX-AA-051-SCFI-2003	0.5
Mercurio	mg/L	<0.001	<0.001	NMX-AA-051-SCFI-2004	0.005
Niquel	mg/L	<0.05	<0.05	NMX-AA-051-SCFI-2005	2
Plomo	mg/L	<0.1	<0.1	NMX-AA-051-SCFI-2006	0.2
Zinc	mg/L	0.14	0.11	NMX-AA-051-SCFI-2007	10
Cadmio	mg/L	<0.05	<0.05	NMX-AA-051-SCFI-2008	0.1
Coliformes fecales	NMP/100ml	<30	<30	NMX-AA-028-SCFI-2001	
Huevos de helminto	Huevos/L	<1	<1	NMX-AA-113-SCFI-2012	

\*Ríos (Uso Público Urbano), Valores para Promedio Mensual (P.M)

Fuente: Coordinación Integral de Saneamiento. Comapa de Reynosa, 2017

## R. ANEXO: Calidad del Lodo Residual de la PTAR No.1 y No.2

LABORATORIO CERTIFICADO : ONSITE LABORATORIES DE MÉXICO S.A de C.V					
2017					
P.T.A.R's No.1 y No.2					
Parámetros de Calidad del Lodo Residual					
Muestreo: Lagunas de Oxidación			Descripción de la muestra: Sólido negro		
Fecha y hora de muestreo: 26/04/2017, 11:20hrs					
Parámetro	Unidades	Valor obtenido	Metodología utilizada	Rango (NOM-004-SEMARNAT-2002) BUENOS	Rango (NOM-004-SEMARNAT-2002) EXCELENTES
Cromo	(mg/kg B.S)	<0.05	EPA 7190	3,000	1,000
Níquel		13.77	EPA 7520-1986	420	420
Cobre		59.1	EPA 7210	4,300	1,500
Zinc		365.94	EPA 7050	7,500	2,800
Arsénico		<0.001	EPA 7061A-1992	75	41
Cadmio		<0.05	EPA 7140-1994	85	39
Plomo		<0.1	EPA 7420-1986	840	300
Mercurio		<0.001	EPA 7470A	57	17
Humedad	%P/P B.S	98.48	NOM-021-SEMARNAT-2000		
Coliformes fecales	NMP/g B.S	4,600	NOM-004-SEMARNAT-2002, Anexo III	<2,000,000	<1,000
Salmonella	NMP/g B.S	<3	NOM-004-SEMARNAT-2002, Anexo IV	<300	<3
Huevos de helminto	Huevos/g B.S	<1	NOM-004-SEMARNAT-2002, Anexo V	<35	<1
NOTAS: (* Límite de Cuantificación. Nivel más bajo de la curva de calibración determinado a condiciones operativas del laboratorio con estándares acuosos y considerando el límite de detección del instrumento, el límite de detección del método y el tratamiento (dilución o concentración de la muestra sin considerar el efecto de la matriz).					

Fuente: Coordinación Integral de Saneamiento. Comapa de Reynosa, 2017

**S. ANEXO:** Calidad química del agua de la PTAR No.2, 2017

**PTAR No.2 (Influente), 2017**

Mes	Parámetro						
	T°	DQO	Nitratos	Fosfatos	N. Amoniacal	F. Total	DBO5
Enero	22.725	502.25		21.3			
Febrero	23.871	603.429	134	21.867			
Marzo	24.837	658.3	112.225		43.875	22.2	
Abril	26.656	378.444	58.897		33.333	12.367	
Mayo	28.885	385.692	46.41		29.233	8.675	
Junio	30.714	542.286	55.9				
Julio	31.788	662.875					48
Agosto	30.662	487.692	64.309				60
Septiembre	30.908	361.083	75.811				
Octubre	30.608	378.75	105.65				
<b>Promedio</b>	<b>28.165</b>	<b>496.080</b>	<b>81.650</b>	<b>21.584</b>	<b>35.480</b>	<b>14.414</b>	<b>54.000</b>

Fuente: COMAPA de Reynosa, 2017

**PTAR No.2 (Efluente), 2017**

Mes	Parámetro						
	T°	DQO	Nitratos	Fosfatos	N. Amoniacal	F. Total	DBO5
Enero	22.217	206.375		19.713			
Febrero	23.357	123	56.2	18.933			
Marzo	24.679	171.8	47.33		36.4	29.95	
Abril	25.956	169.889	42.333		30.522	11.522	
Mayo	27.985	167.846	21.1		24.283	10	
Junio	30.729	217.714	31.2				
Julio	28.265	226.875					100
Agosto	29.823	177.385	38.764				100
Septiembre	30.483	172.083	44.4				
Octubre	29.867	150.75	35.592				
<b>Promedio</b>	<b>27.336</b>	<b>178.372</b>	<b>39.615</b>	<b>19.323</b>	<b>30.402</b>	<b>17.157</b>	<b>100.000</b>

Fuente: COMAPA de Reynosa, 2017

\*\*\*Desglose mensual

E N E R O										
Día	T°		DQO		Fosfatos					
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente				
3	24.5	24.3	518	206	24.7	17.1				
4	24.6	24.6	***	***	***	***				
5	24.8	24.9	***	***	***	***				
6	20.9	17.3	595	287	24.7	17.8				
9	17	16	***	***	***	***				
10	22.3	22.8	123	91	19.3	17				
11	23.3	23.5	***	***	***	***				
16	23.5	24.2	519	618	17.9	26.3				
20	23.8	23.1	969	165	21.1	17.1				
23	22.5	20.8	466	105	21.1	20.4				
25	23.2	23	631	96	21.1	24.7				
31	22.3	22.1	197	83	20.5	17.3				
<b>Promedio</b>	<b>22.725</b>	<b>22.217</b>	<b>502.250</b>	<b>206.375</b>	<b>21.300</b>	<b>19.713</b>				

F E B R E R O										
Día	T°		DQO		Fosfatos		Nitratos			
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
3	21.7	20.8	868	132	16.3	19.7	***	***	***	***
7	23.8	24.1	516	133	27.2	19.9	***	***	***	***
10	22.5	22	526	212	22.1	17.2	159	42		
15	23.7	22	550	78	***	***	139	69		
17	24.3	22.6	214	90	***	***	118	65		
22	25.6	25.6	575	72	***	***	144	58		
27	25.5	26.4	975	144	***	***	110	47		
<b>Promedio</b>	<b>23.871</b>	<b>23.357</b>	<b>603.429</b>	<b>123.000</b>	<b>21.867</b>	<b>18.933</b>	<b>134.000</b>	<b>56.200</b>		

M A R Z O										
Día	T°		DQO		Nitratos		N-NH3 (Nitrógeno amoniacal)		P total (Fosforo total)	
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
1	25.9	25.5	1197	78	149	44	***	***	***	***
6	25	26	918	93	123	60	***	***	***	***
9	22.3	21.8	880	224	30.7	37.9	***	***	***	***
13	23.04	22.1	440	181	13.05	29.1	***	***	***	***
14	23.5	22.05	***	***	***	***	***	***	***	***
15	24.8	25	454	222	46	34.8	***	***	***	***
16	25	25	***	***	***	***	***	***	***	***
17	24.9	24.7	456	209	87.8	44.1	***	***	***	***
21	25	25.5	578	190	143.1	38.7	49.8	38.9	23.2	58.5
24	26	25.8	568	105	151.3	69.1	37.1	37.6	18	23.7
27	26.5	26.5	358	205	105.6	35.6	38.8	37.8	18.4	19.8
29	26.1	26.2	734	211	272.7	80	49.8	31.3	29.2	17.8
<b>Promedio</b>	<b>24.837</b>	<b>24.679</b>	<b>658.300</b>	<b>171.800</b>	<b>112.225</b>	<b>47.330</b>	<b>43.875</b>	<b>36.400</b>	<b>22.200</b>	<b>29.950</b>

**A B R I L**

Día	T°		DQO		Nitratos		N-NH3 (Nitrógeno amoniacal)		P total (Fosforo total)	
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
3	27.2	27.3	652	213	81.9	92.7	46.7	41.5	17.3	19
5	26.5	26.5	522	210	71.4	63.3	53.2	41.1	20.6	17.2
7	26.4	25.5	513	204	30.7	82.5	45.6	38.5	19.1	14.1
11	25.8	25.6	235	168	10	24	26.5	28.7	13.2	6
18	25.5	25.3	162	109	80.5	17.6	20.6	15.8	3.4	9.1
19	27	26.2	283	111	91.4	18.1	20.8	16.1	5.8	6.7
24	26.9	24.7	188	215	28.06	28.7	22.3	33.8	4.5	10.7
26	27.1	26.5	573	153	18.31	27.1	37.7	28.2	19.4	10.8
28	27.5	26	278	146	45.8	27	26.6	31	8	10.1
<b>Promedio</b>	<b>26.656</b>	<b>25.956</b>	<b>378.444</b>	<b>169.889</b>	<b>50.897</b>	<b>42.333</b>	<b>33.333</b>	<b>30.522</b>	<b>12.367</b>	<b>11.522</b>

**M A Y O**

Día	T°		DQO		Nitratos		N-NH3 (Nitrógeno amoniacal)		P total (Fosforo total)	
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
2	27.5	26.5	398	115	39.8	26.3	24.5	28.9	7.3	9.6
4	27	26.8	329	100	91	6.6	25.6	25.5	8	9.4
5	27.6	27	371	135	39.9	7.8	41	25.7	9.9	12.3
9	27.7	17.1	256	232	68.1	11.9	29.6	21.5	9.5	8.7
11	27.1	27	372	248	25.6	15.4	30.2	26.8	***	***
12	31.1	30.1	267	207	35.9	8.1	24.5	17.3	***	***
17	29.1	30.1	241	118	34.9	12.3	***	***	***	***
19	30.1	31.2	303	118	***	***	***	***	***	***
22	28.9	29.1	316	110	43.5	5.9	***	***	***	***
25	31	30.8	423	201	29.5	85.5	***	***	***	***
26	30.9	31.1	617	202	55.9	31.2	***	***	***	***
29	27.5	27.5	495	190	***	***	***	***	***	***
31	30	29.5	626	206	***	***	***	***	***	***
<b>Promedio</b>	<b>28.885</b>	<b>27.985</b>	<b>385.692</b>	<b>167.846</b>	<b>46.410</b>	<b>21.100</b>	<b>29.233</b>	<b>24.283</b>	<b>8.675</b>	<b>10.000</b>

**J U N I O**

Día	T°		DQO		Nitratos	
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
2	31.6	32	231	306	***	***
7	31.1	30.8	539	201	***	***
9	31.9	32.3	742	202	***	***
12	32	31.9	546	217	***	***
26	30.9	31.1	617	202	55.9	31.2
29	27.5	27.5	495	190	***	***
31	30	29.5	626	206	***	***
<b>Promedio</b>	<b>30.714</b>	<b>30.729</b>	<b>542.286</b>	<b>217.714</b>	<b>55.900</b>	<b>31.200</b>

---



---

**J U L I O**

---

Día	T°		DQO		DBO5	
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
2	31.6	32	231	306	***	***
7	31.1	30.8	539	201	***	***
9	31.9	32.3	742	202	***	***
12	32	31.9	546	217	***	***
21	31.6	32.1	671	196	***	***
23	32.4	32.1	846	205	***	***
28	31.6	3.12	930	215	48	100
30	32.1	31.8	798	273	***	***
<b>Promedio</b>	<b>31.788</b>	<b>28.265</b>	<b>662.875</b>	<b>226.875</b>	<b>48.000</b>	<b>100.000</b>

---



---

**A G O S T O**

---

Día	T°		DQO		Nitratos		DBO5	
	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
3	30.1	30	719	321	***	***	***	***
5	30.1	30.2	1168	212	100.4	39.5	***	***
7	29.1	28.9	367	194	141.6	27.3	***	***
10	28.9	29.1	699	163	55.2	11.5	***	***
12	28.7	27.5	405	193	78.3	39.6	60	100
14	31.2	30.4	847	198	68.7	53.2	***	***
17	31.2	29.8	323	184	28	76	***	***
19	31.2	29.4	314	198	***	***	***	***
21	31.4	29.3	190	165	98.2	98.8	***	***
24	30.8	30.1	303	132	18.4	24.4	***	***
26	31.3	29.4	317	132	20.3	24.4	***	***
28	31	30	389	119	72	16	***	***
31	33.6	33.6	299	95	26.3	15.7	***	***
<b>Promedio</b>	<b>30.662</b>	<b>29.823</b>	<b>487.692</b>	<b>177.385</b>	<b>64.309</b>	<b>38.764</b>	<b>60.000</b>	<b>100.000</b>

<b>S E P T I E M B R E</b>						
	<b>T°</b>		<b>DQO</b>		<b>Nitratos</b>	
Día	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
2	32	31.1	217	173	***	***
4	30.3	31	881	175	***	***
7	31.3	31	297	159	***	***
9	29.6	30.1	458	216	47.3	78.5
11	31.5	32.4	424	216	58.2	44.7
16	30	28.5	550	200	74.4	71
18	31.2	31.9	444	204	24.3	54.8
21	29.8	30.6	316	128	21	22.2
22	31.4	29.1	212	125	59.1	22.6
25	31.7	30.5	115	139	25.7	20.6
28	31	29.1	206	133	116.1	26.1
30	31.1	30.5	213	197	256.2	59.1
<b>Promedio</b>	<b>30.908</b>	<b>30.483</b>	<b>361.083</b>	<b>172.083</b>	<b>75.811</b>	<b>44.400</b>

<b>O C T U B R E</b>						
	<b>T°</b>		<b>DQO</b>		<b>Nitratos</b>	
Día	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente	Influyente	Efluente
1	30.9	29.8	414	188	225.4	37.2
6	32.1	32	212	212	223.4	107.2
8	29.6	29.3	801	214	214.5	75.7
11	29.5	29.2	549	203	238.6	53.9
13	29.7	29.4	379	158	46.3	31.6
15	29.8	29.5	354	129	50.3	20.2
18	31.6	30.7	448	99	32.3	18.5
20	31	29.8	298	109	76.8	18.8
22	31.4	30.6	335	120	31.1	16.4
25	29.8	28.9	272	114	44.1	15.9
27	30.8	30.2	275	126	64.4	16.9
29	31.1	29	208	137	20.6	14.8
<b>Promedio</b>	<b>30.608</b>	<b>29.867</b>	<b>378.750</b>	<b>150.750</b>	<b>105.650</b>	<b>35.592</b>

Los datos de noviembre y diciembre no fueron proporcionados.

Fuente: Comapa de Reynosa, coordinación del Programa Integral de Saneamiento (PIS), 2017.

**T. ANEXO:** Planta Tratadora de Aguas Residuales “Hyperion”-LA, CA.



Entrada principal de la PTAR “Hyperion”



Tratamiento Primario Avanzado



Gas digerido de Baja Presión



Área subterránea: digestores anaerobios



Tanques esféricos de almacenamiento de biogás



Sedimentadores secundarios

Planta Tratadora de Aguas Residuales “No.1”- Fountain Valley, CA



Dr. Reza Sobhani-Titular del área de procesamiento de sólidos



Tratamiento Primario Avanzado



Filtros percoladores



Reactores anaerobios



Reactor aerobio (Tanque de aireación)



Digestor anaerobio

Área subterránea: digestor anaerobio



Gas digerido de baja presión

Clarificador secundario



Cogeneración de energía eléctrica y calor.

Fuente: elaboración propia con base a la estancia de investigación febrero-abril 2018

**U. ANEXO: Planta Tratadora de Aguas Residuales No.4.Rancho Cucamonga,**



Entrada principal



Estudiantes de Maestría y Doctorado



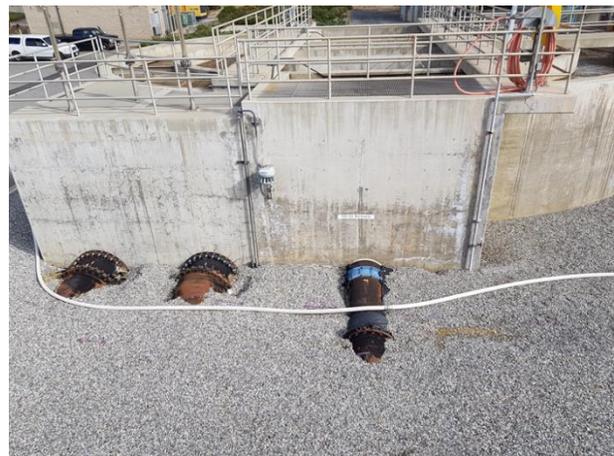
Caja de llegada



Generador eólico



Tanque de aireación



Reactor preanóxico

Fuente: elaboración propia con base a la estancia de investigación febrero-abril 2018

## ULTIMA PÁGINA

La autora es Ingeniera Química por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán. Obtuvo el 1º lugar de su generación y la Medalla al Mérito Universitario “Don Pedro Guajardo Martínez”. Durante su trayectoria académica, fue titular de diversos proyectos de investigación científica en eventos promovidos por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Entre los cuales destacan, la elaboración de Carbón Activado a partir de la Cáscara de Coco con aplicaciones en potabilización y adsorción de gases, así como, la Obtención de Películas Biodegradables a partir de la Cáscara de Naranja y Plátano con fines Agroindustriales enfocados al acolchado del suelo. En el ámbito profesional se desempeñó como Supervisora de Plantas Potabilizadoras en la Comisión Municipal de Agua potable y Alcantarillado del municipio de Reynosa, Tamaulipas (COMAPA). Así mismo, ha sido evaluador de procesos e infraestructura de las COMAPAS del estado en colaboración con la Comisión Estatal del Agua en Tamaulipas (CEAT) y de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado. Finalmente, es egresada de la Maestría en Gestión Integral del Agua por El Colegio de la Frontera Norte con sede en Monterrey, N.L.

Correo electrónico: [pmcdonald\\_02@hotmail.com](mailto:pmcdonald_02@hotmail.com), [priscilaleija@gmail.com](mailto:priscilaleija@gmail.com).

*©Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total o parcial por cualquier medio, indicando la fuente.*